<u>1</u> <u>F</u>	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	3
2 U	UNTERSUCHUNGEN ZUR PLANUNG UND AUSFÜHRUNG DER	
	ZTECHNISCHEN ANLAGEN	4
111212	ZIECHNISCHEN ANLAGEN	
2.1	ALLGEMEINE ANGABEN	4
2.2	HAUSSTATIONEN	5
2.2.1		7
2.3	AUSLEGUNG DER HEIZKÖRPER	8
2.3.1	EMPFEHLUNGEN DES HEIZTECHNISCHEN-KONZEPTS ZUR AUSLEGUNG DER HEIZFLÄCHEN	
	bei Fern- oder Nahwärme versorgten Gebäuden	9
2.3.2	ÜBERPRÜFUNG DER AUSLEGUNG DER HEIZKÖRPER	9
2.4	AUSLEGUNG DER THERMOSTATVENTILE	13
2.4.1	EMPFEHLUNGEN DES HEIZTECHNISCHEN-KONZEPTS ZUR AUSLEGUNG DER	
	THERMOSTATVENTILE BEI MIT FERN- ODER NAHWÄRME VERSORGTEN GEBÄUDEN	14
2.4.2	ÜBERPRÜFUNG DER AUSLEGUNG DER THERMOSTATVENTILE	15
2.4.3	VERSCHWENDUNGSPOTENTIAL BEI FALSCHER VOREINSTELLUNG EINES THV	22
<u>3</u> <u>Y</u>	VERGLEICH DER ANLAGENAUSFÜHRUNG MIT DEM TECHNISCHEN	
<u>LÜF</u>	TUNGSKONZEPT	25
3.1	EIGENSCHAFTEN VERSCHIEDENER LÜFTUNGSARTEN	25
3.2	EMPFEHLUNG DES LÜFTUNGSKONZEPTS ZUR AUSLEGUNG DER LÜFTUNGSANLAGE	27
3.3	AUSFÜHRUNG UND BEWERTUNG DEZENTRALER ABLUFTANLAGEN	28
3.4	AUSLEGUNG ZENTRALER ABLUFTANLAGEN	31
3.4.1	Kanalnetzberechnung	35
3.4.2	Auswertung und Ergebnisse der Volumenstrommessungen	38
<u>4</u> <u>F</u>	BEWERTUNG DER GEBÄUDE MIT ENERGIEBILANZVERFAHREN	<u>45</u>
4.1	HESSISCHER ENERGIEPAß HEIZUNG / WARMWASSER	46
4.1.1		46
4.1.2	ÜBERSICHT UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	47
4.2	DIN V 4701, TEIL 10	51
4.2.1		52
4.2.2	ÜBERSICHT UND BEWERTUNG DER ERGEBNISSE NACH DIN 4701-10	55

Felduntersuchungen Kronsberg:	Zusammenfassung begleitender	Untersuchungen und Diplomarbeite

4.3	VERGLEICH DER ENERGIEBILANZVERFAHREN	58
4.3.1	VERGLEICH BEI GLEICHER BEZUGSFLÄCHE	58
<u>5</u> <u>E</u> ]	RMITTLUNG UND AUSWERTUNG VON ENERGIEVERBRAUCHS-WERTEN	60
5.1	BEREINIGUNG DER ENERGIEVERBRÄUCHE	60
5.1.1	BERECHNUNG DES ANTEILS ZUR TRINKWARMWASSERBEREITUNG AM	
	GESAMTENERGIEVERBRAUCH	61
5.2	VERGLEICH DER ENERGIEVERBRAUCHSWERTE MIT ENERGIE-BILANZVERFAHREN	65
5.2.1	BEREINIGTER ENERGIEVERBRAUCH NACH VDI 3807 BLATT 1	65
5.2.2	BEREINIGUNG DER ENERGIEVERBRAUCHSDATEN AUF KRONSBERGSTANDARD,	
	UND ENERGIEPAß	66
5.2.3	Bereinigung der Energieverbräuche auf DIN V 4701 10	67
5.2.4	GEGENÜBERSTELLUNG DER BEREINIGTEN ENDENERGIEBEDARFSWERTE UND DER	
	BILANZVERFAHREN	68
	USWIRKUNGEN DER ERHÖHTEN VERTEILVERLUSTE AUF DIE KKOSTENABRECHNUNG	69
<u>7</u> <u>F</u> A	AZIT	70
7.1	VERTEILVERLUSTE UND UNGEREGELTE WÄRMEABGABE	71
7.2	FALSCHE REGLEREINSTELLUNG	71
<b>7.3</b>	FEHLENDER HYDRAULISCHER ABGLEICH	71
<b>7.4</b>	ERHÖHTER LUFTWECHSEL	72
<u>8</u> <u>A</u> 1	USBLICK	72
<u>9</u> Q	UELLENANGABE:	74

Anhang 1: Bestimmung des Luftwechsels und des Lüftungswärmebedarfs am Beispiel eines Mehrfamilienhauses am Kronsberg

#### **Anhang 2: Kommentar zur EnEV**

#### 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Weltausstellung Expo 2000 entstand in Hannover in unmittelbarer Nähe zum Expo-Gelände der neue Stadtteil Kronsberg. Hier sollen insgesamt 6000 Wohnungen entstehen. Diese sollten in "ökologisch vorbildlicher" Weise erstellt und betrieben werden.

Ein Ziel ist, die CO<sub>2</sub>-Emmision um 60%<sup>1</sup> zu reduzieren. Das soll einerseits durch die energetische Versorgung des Stadtteils mit BHKWs <sup>2</sup> realisiert werden. Andererseits sind die Gebäude als Niedrigenergiehäuser nach "Kronsbergstandard" gebaut. Häuser nach "Kronsbergstandard" dürfen eine Heizenergiekennzahl oder flächenbezogenen Heizwärmebedarf von 55 kWh/m²a³ bezogen auf die Wohnfläche (Energiebezugsfläche) gemäß eines speziell entwickelten Kronsbergberechnungsverfahrens nicht überschreiten.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde am Kronsberg eine Qualitätssicherung mit Zuschüssen gefördert und durchgeführt. Die Qualitätssicherung beschränkte sich hauptsächlich auf die Baukörper der Gebäude. Die Art und Ausführung der haustechnischen Anlagen wurde nicht überprüft (Ausnahme: Es ist ein Grobkonzept für die Ausführung der Lüftungsanlage vorzuweisen.). Für die Erstellung der Anlagentechnik standen den Planern der Haustechnik das von der Fachhochschule Wolfenbüttel entwickelte Heiztechnische-Konzept und das Lüftungskonzept des Ing.-Büros ebök aus Tübingen zur Verfügung.

Im Rahmen des von der deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes "Qualifizierung am Kronsberg" wurden in den letzten 3 Jahren vom Trainings- und Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel (TWW e.V.) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Heizungs- und Klimatechnik der Fachhochschule Braunscheig/Wolfenbüttel zahlreiche Untersuchungen zur Planung und Ausführung der Anlagentechnik der Raumheizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung durchgeführt.

Im Rahmen von zusätzlichen Diplom- und Studienarbeiten wurden mehrere hundert Wohneinheiten untersucht, wobei die Gebäude- und Anlagentechnik mit

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Die 60% beziehen sich auf den Normalstandard nach der Wärmeschutzverordnung (WSVO) von 1995

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Blochheizkraftwerke

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Bezogen auf die Wohnfläche.

verschiedenen Energiebilanzverfahren analysiert und nach Ablauf der zweiten Heizperiode den tatsächlichen Energieverbrauchswerten gegenübergestellt werden kann. Wesentliche Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln wiedergegeben. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sich die Untersuchungen auf einzelne Baufelder beschränken und keine generelle Aussage über die energetische Qualität der Gebäude- und Anlagentechnik am Kronsberg gemacht werden kann. Tendenzen lassen sich aber ableiten.

#### 2 Untersuchungen zur Planung und Ausführung der heiztechnischen Anlagen

Die Untersuchung zur Planung und Ausführung der heiztechnischen Anlagen wurde an mehreren Baufeldern detailliert durchgeführt. In dieser Zusammenfassung soll aber nur auf die wichtigsten Ergebnisse eingegangen werden.

#### 2.1 Allgemeine Angaben

Die Anlagentechnik aller betrachteten Gebäude ist ähnlich strukturiert. Der grundsätzliche Aufbau der Anlagen wird in diesem Abschnitt behandelt. Auf Besonderheiten und spezielle Daten wird im entsprechenden Abschnitt eingegangen. Die Angaben zu Wärmebedarf, Heizkörpern, Thermostatventilen und Lüftungsanlagen wurden aus den Unterlagen und Zeichnungen der Planungsbüros entnommen . Eine frühere Umfrage ergab, dass bei weniger als der Hälfte der Bauvorhaben am Kronsberg Fachplaner der Gebäudetechnik eingesetzt wurden. Zum Teil fanden Gespräche mit Mitarbeitern der Planungsbüros, der Stadtwerke und den Bauträgern statt, in denen weitere Fragen, z.B. zur Regelung, geklärt wurden. Die Daten der Hausstationen wurden bei einer Ortsbesichtigung aufgenommen bzw. aus entsprechenden Angaben der Stadtwerke Hannover zusammengestellt.

#### 2.2 Hausstationen

Die Gebäude werden von den Stadtwerken Hannover von einem BHKW und zwei Spitzenlastkesseln mit Nahwärme für Heizung und Warmwasser im Zweileitersystem versorgt.

Der Aufbau der Wärmeübergabestation ist in allen Häusern identisch. Es handelt sich hierbei um die Standardstation nach der TAR<sup>4</sup> Stadtwerke Hannover. Bild 2-1 verdeutlicht den Aufbau der Station.

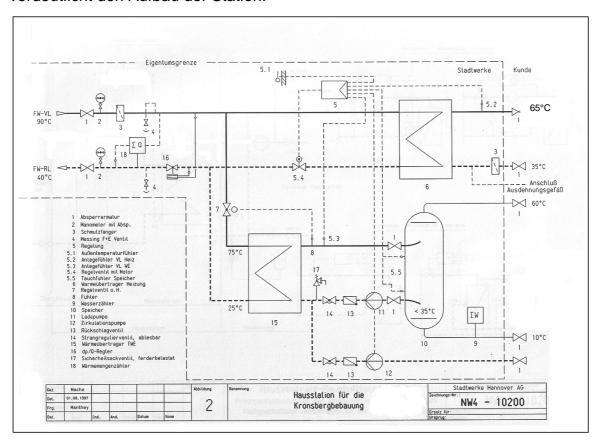


Bild 2-1: Schaltschema einer Hausstation

Die Station verfügt über einen Wärmeübertrager für Heizung (6) und einen für Warmwasser (15). Der Warmwasserspeicher (10) ist ein Ladespeicher der Firma Flamco, der unterhalb einer Temperatur von 35°C am entsprechenden Temperaturfühler wieder aufgeladen, d.h. auf Soll-Temperatur gebracht wird. Die Zirkulationsleitung umgeht den Speicher und wird direkt zum Wärmeübertrager geführt. Dadurch wird eine Abkühlung des Speichers vermieden. Der

\_

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Technische Anschlußrichtlinie für die Versorgung mit Wärme –Wohnbebauung Kronsberg-

Wärmemengenzähler (18) ist auf der Primärseite der Station angebracht. So werden alle Verbräuche der Sekundärseite und Verluste der Wärmeübertrager erfaßt.

Anmerkung: Wasserzähler (9), der eine etwaige Aufteilung Der in Warmwasserverbrauch und Heizwärmeverbrauch möglich machen würde, ist bei keiner Anlage vorhanden. In einem Gemeinschaftsprojekt von Stadwerken Hannover, Bauträgern und dem Trainings- und Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel sind diese Zähler zur Heizperiode 2001/2002 in einzelne Wärmeübergabestationen eingebaut worden, um eine genauere Analyse der Verbrauchswerte zu ermöglichen. Die Ergebnisse aus dieser Untersuchung werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Die Regelung auf der Sekundärseite der Heizungsanlage besteht aus einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung, die in die Übergabestation integriert ist und vom Wärmeversorger (Stadtwerke Hannover) betrieben und eingestellt wird. Die Laufzeiteneinstellung der Umwälzpumpen für Raumheizung und Warmwasserzirkulation kann auf der Sekundärseite der Anlage über die Regelung der Übergabestation erfolgen. Die Zirkulationspumpe (12) befand sich bei den untersuchten Anlagen im Dauerbetrieb. Sie wird nur abgeschaltet, wenn der Warmwasserspeicher mit der Ladepumpe (11) geladen wird.

Die Anschlußleistung der Stationen wird in erster Linie durch den Wärmebedarf (Heizlast) des Gebäudes bestimmt. Nach Aussagen der Stadtwerke Hannover sind die Stationen bei Bemessung nach der Raumheizlast in der Lage, den zusätzlichen Leistungsbedarf für die Warmwasserbereitstellung abzudecken. Dennoch wurden von den Planungsbüros teilweise Stationen mit etwas größerer Nennleistung bei den Stadtwerken "bestellt", um eine ausreichende Versorgung in jedem Fall sicherzustellen.



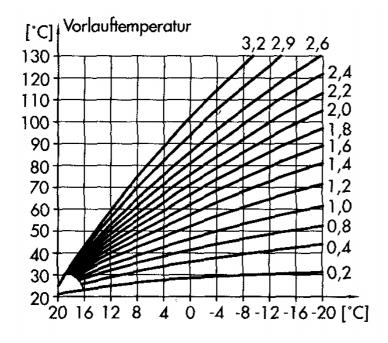
Bild 2-2: Station geschlossen



Bild 2-3: Station geöffnet

#### 2.2.1 Einstellung der Regelung

Wie oben angesprochen sind die Heizungsanlagen mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung ausgestattet. Die Regelung ordnet



Heizkennlinien

Rücklauftemperatur

Bild 2-4: Heizkennlinienfeld

dabei über eine Heizkurve (Bild 2-4) jeder Außentemperatur die vom Heizsystem benötigte Vorlauftemperatur zu. Dabei muss die Heizkurve so ausgewählt werden, dass unter Normauslegungsbedingungen (-12 °C) die Auslegungstemperaturen des Heizsystems entsprechend der Planungsvorgaben erreicht werden. Nach den Empfehlungen des heiztechnischen Konzeptes und den Planungsvorgaben der untersuchten Objekte beträgt diese Auslegungsvorlauftemperatur 65°C. Bei Stichprobenuntersuchungen in Wärmeübergabestationen verschiedener Baufelder konnte jedoch festgestellt werden, dass überwiegend Heizkurven mit Werten 2,0 oder höher eingestellt waren. Wie aus Bild 2-4 hervorgeht, bedeutet dieses Auslegungsvorlauftemperaturen von theoretisch über 90°C. Diese werden jedoch von der Primärseite nur bei sehr niedrigen Außentemperaturen zur Verfügung gestellt. Auf der Sekundärseite sind dann maximal ca. 85 °C Vorlauftemperatur erreichbar. Durch die überhöhten Vorlauftemperaturen wird ein zu hohes Leistungsangebot von bis zu 170 % an den Heizflächen zur Verfügung gestellt. Die Thermostatventile, die für die Ausregelung der inneren Lasten ausgelegt sind, können diese erhöhte Heizleistung nicht feinfühlig dosieren, so dass sich höhere Raumtemperaturen und damit ein erhöhter Energieverbrauch einstellen können.

#### 2.3 Auslegung der Heizkörper

Niedrigenergiehäusern (NEH) gilt wegen der niedrigen Heizlasten eine Schnellaufheizung nach einer Heizpause (z.B. Nachtabsenkung) als problematisch. Im Gegensatz zu Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern (MFH) wird die Leistung der Wärmeerzeugungsanlage in größeren MFH nicht mehr durch die Trinkwassererwärmung sondern durch die Raumheizung bestimmt. Eine Leistungsreserve ist somit nicht vorhanden.

Auslegungstemperaturen werden am Kronsberg mit 65/39°C angesetzt. Dadurch ergeben sich Heizkörpergrößen vergleichbar mit denen bei 55/45°C-Auslegung.

#### 2.3.1 Empfehlungen des Heiztechnischen-Konzepts zur Auslegung der Heizflächen bei Fern- oder Nahwärme versorgten Gebäuden

Eine Überdimensionierung der Heizflächen kann neben erhöhten Investitionskosten auch erhöhte Heizkosten durch Mehrverbrauch zur Folge haben. Es ist davon ein Leistungsüberangebot vom Nutzer vielfach durch auszugehen, dass Unwissenheit und eingeschränkter Regelbarkeit auch abgenommen wird. Um den erforderlichen Flächenzuschlag für den Aufheizfall zu vermeiden, sollte eine zentral gesteuerte Nachtabsenkung unterhalb einer bestimmten Außentemperatur zur Vermeidung von morgendlichen Aufheizspitzen nicht vorgenommen werden. Aufheizzuschläge für die Heizkörper sollten höchstens in Räumen vorgenommen werden, in denen durch die Nutzung (z.B. kombinierter Wohn- Schlafraum, Kinderzimmer) regelmäßiges Aufheizen zu erwarten ist.

Auch mit einem weiteren Heizkörper kann die Heizleistung im Aufheizfall vergrößert werden. Dieser Heizkörper sollte aber dann nur für diesen Fall in Betrieb genommen werden.

Im Ht-K (Heiztechnisches Konzept) wird für die Beheizung von Wohngebäuden am Kronsberg Pumpenwarmwasserheizung mit Plattenheizkörpern eine und Thermostatventilen (als proportionaler Regler ohne Hilfsenergie) empfohlen.

#### 2.3.2 Überprüfung der Auslegung der Heizkörper

Die Überprüfung der Heizkörperauslegung wurde am Beispiel eines Baufeldes mit ca. 4000 m² Nutzfläche durchgeführt. Die Heizkörperauslegung in den anderen überprüften Objekten führte zu vergleichbaren Ergebnissen.

Gemäß der Empfehlung des Heiztechnischen Konzeptes ist in den Planungsunterlagen angegeben, dass die Heizkörper ohne Aufheizzuschlag ausgelegt wurden. Für die Auslegungstemperaturen sind als Basis 65°C für den Heizungsvorlauf und 39°C für den Heizungsrücklauf angegeben. Bei den Heizkörpern handelt es sich um Plattenheizkörper mit integriertem Thermostatventil.

#### Anmerkung:

Die Auslegung der Heizkörper erfolgte so, dass in erster Linie Wert auf eine hundertprozentige Deckung des Raumwärmebedarfs (Raumheizlast) gelegt wird. In den Planungsunterlagen sind zu jedem Heizkörper Rücklauftemperaturen angegeben, die sich einstellen, wenn der Heizkörper die geforderte Leistung nach Gleichung 2-1 abgibt. Diese Temperaturen weichen nach oben nur geringfügig von 39°C ab. Die tiefsten Temperaturen liegen bei 34°C. Eine Überschreitung, der von den Stadtwerken Hannover geforderten maximalen Rücklauftemperatur 39°C, ist insgesamt auszuschließen.

Anhand von einigen Stichproben wird die Auslegung nachvollzogen. Bei den ausgewählten Räumen handelt es sich vorzugsweise um Wohn- oder Kinderzimmer, da diese am stärksten genutzt werden. Fehler bei der Auslegung machen sich beim Betrieb für die Bewohner deutlicher bemerkbar. In Tabelle 2-1 sind die Ergebnisse der Überprüfung in einer Übersicht dargestellt.

	Hau	s 11		Haus 10		
	Wohnung 40.2.1 Zimmer 2.2.1	Wohnung 40.1.1 Zimmer 1.2.6	Wohnung 17.0.3 Zimmer 0.3.3	Wohnung 17.1.2 Zimmer 1.2.1	Wohnung 17.2.2 Zimmer 2.2.8	
Heizkörpertyp	EKEc <sup>5</sup>	Ekc <sup>6</sup>	DKEKc <sup>7</sup>	EKEc	DKEKc	
Heizkörpermaße (BH/BL/BT) in mm	900/800/ 72	900/800/ 72	500/900/ 170	500/140 0/72	500/600/ 170	
Angaben vom Hersteller:						
Wärmeleistung $\dot{Q}_{\rm B}$ bei (90/70/20)°C (t <sub>\(\sigma\)</sub> /t <sub>\(\rm\)</sub> /t <sub>\(\rm\)</sub> ) in W	1920	1415	2520	2018	1680	
Heizkörperexponent n	1,34	1,29	1,32	1,31	1,32	
Angaben aus der Planung:						
Normwärmebedarf $\dot{Q}_{_{N}}$ des Raumes in W	779	563	1041	811	680	
Rücklauftemperatur t <sub>R</sub> beim Heizkörperaustritt (Auslegungstemp.) in °C	39,2	37,5	39,4	38,2	38,7	
Massenstrom durch den Heizkörper in kg/h	26,0	17,6	34,9	26,1	22,2	
Ergebnisse der Überprüfung:						
Mittlere logarithmische Übertemperatur ∆t <sub>m</sub> bei (65/t <sub>R</sub> /20)°C in K	30,43	29,12	30,43	29,61	29,95	
Wärmeleistung Q bei (65/t <sub>R</sub> /20)°C in W	778	564	1041	810	680	

Tabelle 2-1: Heizkörperüberprüfung

 <sup>&</sup>lt;sup>5</sup> EKE: Heizkörper mit zwei Platten und einem Konvektor
 <sup>6</sup> EK: Heizkörper mit einer Platte und einem Konvektor
 <sup>7</sup> DKEK: Heizkörper mit drei Platten und drei Konvektoren

Wie die Werte in der Tabelle 2-1 berechnet wurden, wird am Beispiel des ersten Heizkörpers (Haus 11, Wohnung 40.2.1, Zimmer 2.2.1) vorgeführt.

Mit folgender Gleichung wird die Leistung des Heizkörpers bei Auslegungsbedingungen bestimmt.

 $\dot{Q} = \dot{Q}_B \cdot \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{mB}}\right)^n$  [-] Gleichung 2-1

Q<sub>B</sub> Wärmeleistung des Heizkörpers bei (90/70/20°C)

Q Wärmeleistung des Heizkörpers bei Auslegungsbedingung

Δt<sub>mB</sub> Mittlere logarithmische Übertemperatur bei (90/70/20°C)

 $\Delta t_m$  Mittlere logarithmische Übertemperatur bei Auslegungsbedingung

n Heizkörperexponent

Zuvor müssen die mittleren logarithmischen Übertemperaturen nach Gleichung Gleichung 2-2 ermittelt werden.

$$\Delta t_{\rm m} = \frac{t_{\rm V} - t_{\rm R}}{\ln \frac{t_{\rm V} - t_{\rm L}}{t_{\rm R} - t_{\rm L}}}$$
 [K] Gleichung 2-2

t<sub>V</sub> Vorlauftemperatur

t<sub>R</sub> Rücklauftemperatur

 $t_L$  Raumlufttemperatur

Mittlere logarithmische Übertemperatur bei (90/70/20°C):

$$\Delta t_{mB} = \frac{t_{V} - t_{R}}{\ln \frac{t_{V} - t_{L}}{t_{R} - t_{L}}} = \frac{90^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{90^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{70^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}} = \underline{59,44\text{K}}$$

Dieser Wert für ∆t<sub>mB</sub> gilt hier für alle Heizkörper.

Mittlere logarithmische Übertemperatur bei Auslegungsbedingung

$$\Delta t_{m} = \frac{t_{v} - t_{R}}{\ln \frac{t_{v} - t_{L}}{t_{R} - t_{L}}} = \frac{65^{\circ}\text{C} - 39.2^{\circ}\text{C}}{\ln \frac{65^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{39.2^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}} = \frac{30,29\text{K}}{}$$

Dieser Wert für  $\Delta t_m$  gilt nur für den Heizkörper dieses Beispiels, da die Rücklauftemperatur bei den Heizkörpern unterschiedlich ist.

Daraus ergibt sich nach Gleichung 2-1

$$\dot{Q} = \dot{Q}_B \cdot \left(\frac{\Delta t_m}{\Delta t_{mB}}\right)^n$$

$$\dot{Q} = 1920 \text{W} \cdot \left(\frac{30,29}{59,44}\right)^{1,34} = \underline{778 \text{W}}$$

Die Leistung dieses Heizkörper stimmt mit dem Wärmebedarf  $\dot{Q}_{_{\rm N}}$  des Raumes überein. Der Heizkörper wurde somit ohne Aufschlag, wie es vom Ht-K empfohlen wird, ausgelegt.

Fazit: Aus der Tabelle 2-1 geht hervor, dass keiner der überprüften Heizkörper überdimensioniert (ohne Aufschlag ausgelegt) wurde. Die Auslegung der Heizflächen dieser Gebäude wurde nach den Empfehlungen des Ht-K durchgeführt. Dadurch geht von den Heizkörpern aufgrund ihrer Größe keine Gefahr der Energieverschwendung aus. Bei den anderen bearbeiteten Baufeldern ergaben sich ähnliche Auslegungen, wobei teilweise etwas überdimensioniert wurde. Diese Überdimensionierung befand sich jedoch im technisch vertretbarem Rahmen.

#### 2.4 Auslegung der Thermostatventile

Grundlage für eine gleichmäßige Versorgung aller Verbraucher und die damit eng in Verbindung stehende Einhaltung einer maximalen Rücklauftemperatur (wird bei Fern- und Nahwärmesystemen gefordert) ist die richtige Planung und Auslegung der Thermostatventile.

Zusammen mit Differenzdruckreglern wird mit ihnen der hydraulische Abgleich des Rohrnetzes durchgeführt.

# 2.4.1 Empfehlungen des Heiztechnischen-Konzepts zur Auslegung der Thermostatventile bei mit Fern- oder Nahwärme versorgten Gebäuden

Bei der Auswahl der Thermostatventile (THV) ist auf die Einhaltung folgender Auslegungsgrößen zu achten. Der Auslegungsproportionalbereich<sup>8</sup> (X<sub>P,A</sub>) sollte in einem praktischen Bereich von 1 bis 1,5 K liegen. Des weiteren wird eine Ventilautorität<sup>9</sup> a<sub>V</sub> von 0,5 als Zielwert gefordert. Eine Erweiterung diese Zielwertes auf eine Bandbreite von  $a_V = 0.3$  bis 0,7 ist notwendig, um auf dem Markt verfügbare THV den zu erwartenden Volumenströmen überhaupt zuordnen zu können. Die hohe Spreizung (26 K) bei den Auslegungstemperaturen des Systems (65/39°C) und die geringen Anschlußleistungen der Heizkörper bringen kleine Volumenströme mit sich. Es ist also erforderlich, THV mit dem kleinsten Durchflußkennwert<sup>10</sup> (k<sub>V</sub>–Wert) auszuwählen. Es ist aber festzustellen, dass es für diese Bedingungen auf dem Markt noch keine geeigneten THV gibt. Während der Projektbegleitung wurden mit fünf Thermostatventilherstellern Gespräche über diese Problematik geführt. Die Hersteller erkennen die Notwendigkeit des Angebotes kleinerer Thermostatventile für Niedrigenergiehäuser, können ihre Fertigung jedoch nicht von heute auf morgen entsprechend umstellen. Die Verfasser gehen davon aus, dass in Kürze Thermostatventile mit kleineren kv-Werten am Markt besser verfügbar sein werden. Das Ht-K empfiehlt weiterhin eine zentrale oder dezentrale Differenzdruckregelung. Dadurch kann der Druckverlust im THV bei gleicher Ventilautorität verringert werden. Dies verbessert das Regelverhalten der THV. Dabei ist an den Differenzdruckreglern der minimalste Sollwert (wenn möglich) einzustellen. Marktübliche Ausführungen erreichen 50 mbar. Die bislang übliche Sollwertauslegung auf 100 mbar erfordert wiederum THV mit noch kleineren kys-Werten. Bild 2-5 zeigt die hydraulische Entkopplung eines Heizkreises vom Rest der Anlage (hier Wärmeüberträger) durch einen Differenzdruckregler.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Bei der Dimensionierung von TH-V ist ein Auslegungsproportionalbereich zu wählen. Dieser gibt die Temperaturerhöhung der Raumluft an, die notwendig ist, um das Ventil aus der projektierten Zwischenstellung vollständig zu schließen.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Die Ventilautorität gibt an, mit welcher Qualität eine Hubänderung am Ventil eine Veränderung des Massenstroms bewirkt. Sie ist definiert als Verhältnis der Druckverluste über einem Regelorgan (Regelquerschnitt) im Auslegungszustand zum Gesamtdruckverlust.

 $<sup>^{10}</sup>$  Der Durchflußkennwert ist der Volumenstrom in  $m^3/h$ , der eine Druckdifferenz von 1bar über der Armatur erzeugt. Bei Regelventilen ist der  $k_V$ -Wert abhängig vom Hub, bzw. mit der praktischeren Angabe der Proportionalabweichung  $k_V$  ( $X_P$ ).

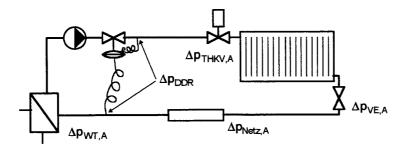


Bild 2-5: Hydraulische Entkopplung mittels Differenzdruckregler

#### 2.4.2 Überprüfung der Auslegung der Thermostatventile

Für das hier betrachtete Baufeld wurde vom Planungsbüro eine Rohrnetzberechnung durchgeführt. Leider muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass diese für eine korrekte Rohrnetzauslegung unbedingt erforderliche Planungsgrundlage bei vielen Bauvorhaben am Kronsberg nicht sofort vorhanden war. Bei den vorliegenden Unterlagen handelt es sich aber nur um Zusammenstellungen der Ventilauslegung. Diese enthalten Angaben über den Auslegungsvolumenstrom, den am Ventil erforderlichen Druckabfall und den Wert der Voreinstellung.

Wie der Objektbeschreibung erwähnt wird, sind die Stränge mit Differenzdruckreglern versehen. Diese sind auf den empfohlenen Wert von 50 mbar eingestellt.

Vorwiegend wurden Thermostatventile RA-U3 von Danfoss eingebaut. Zum Planungszeitpunkt sind es von diesem Hersteller die THV mit dem kleinsten k<sub>V</sub>-Wert. Die weitere Überprüfung der Ventilauslegung beschränkt sich auf den vom Planer angegebenen Wert der Voreinstellung<sup>11</sup> und die Ermittlung der Ventilautorität, die sich nach den vorliegenden Planungsunterlagen ergibt.

Damit alle Heizkörper mit ihrem Auslegungsvolumenstrom versorgt werden, ist es notwendig, dass in jedem Heizkreis bei Auslegung der gleiche Druckverlust herrscht (hier 50 mbar, vorgegeben durch den Differenzdruckregler). Abzüglich der Rohrreibungsverluste inkl. Rücklaufverschraubung in dem betreffenden Heizkreis ergibt sich der benötigte Druckverlust  $\Delta p_{THV}$  über dem Thermostatventil. Mit diesem Wert lässt sich der erforderliche k<sub>V</sub>-Wert des THV bestimmen.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Mit der Voreinstellung läßt sich der Widerstand des Ventils erhöhen und damit dessen k<sub>V</sub>-Wert reduzieren. Es ist somit möglich, ein Ventil auf verschiedene Nennvolumenströme anzupassen. Eine zu starke Voreinstellung beeinflußt jedoch das Regelverhalten negativ.

$$k_{_{V}} = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{_{E}} \cdot \rho}{\Delta p_{_{THV}} \cdot \rho_{_{E}}}}$$
 [m³/h] Gleichung 2-3

k<sub>V</sub> erforderlicher k<sub>V</sub>-Wert des Thermostatventils

V Auslegungsvolumenstrom des Heizkörpers in m³/h

Δp<sub>E</sub> Normdruck 1000 mbar

 $\Delta p_{THV}$  Druckverlust über dem Thermostatventil in mbar

 $\rho_E$  Normdichte des Wassers 1000 kg/m<sup>3</sup>

ρ Dichte des Wassers bei Auslegungstemperaturen

Mit dem ermittelten Wert für  $k_V$  wählt man aus den Herstellerunterlagen (siehe Tabelle 2-2) die Voreinstellung für das THV aus. Das Ventil lässt sich auch auf Zwischenstellungen wie 3,5 oder 4,5 einstellen.

k <sub>V</sub> -Werte in m³/h (Voreinstellungen 1-7, N ohne Voreinstellung)						k <sub>VS</sub>	
1 2 3 4 5 6 7 N						N	
0,04 0,05 0,07 0,09 0,13 0,18 0,24 0,34							0,55

Tabelle 2-2: k<sub>V</sub>-Werte in Abhängigkeit von der Voreinstellung (Herstellerangaben)

Für den Thermostatventiltyp, welcher der Planung zu Grunde liegt, wurde aus Angaben des Herstellers das Bild 2-6 erstellt. Es zeigt den  $k_V$ -Wert des THV bei verschiedenen Voreinstellungen in Abhängigkeit von der Proportionalabweichung  $X_P$ . Die lineare Kennlinie ist der Durchflußkennwert des Regelorgans (Regelquerschnitt des Ventils). Die Kurve "ohne Voreinstellung" enthält zusätzlich den Festwiderstand des Ventilgehäuses. Die Kurven mit Voreinstellung enthalten zusätzlich die Festwiderstände des Ventilgehäuses und der Voreinstellung. Anhand dieses Diagramms lässt sich überprüfen, ob die Ventile mit den ausgewählten Voreinstellungen den Anforderungen des Ht-K nach einem  $X_{P,A}$  von 1 bis 1,5 K entsprechen.

Bild 2-6: k<sub>V</sub> in Abhängigkeit von X<sub>P</sub> (Zwischenstellungen sind nicht eingezeichnet)

Die "ehrliche" auf den Regelquerschnitt bezogene Ventilautorität  $a_V$  des untersuchten THV wird wie folgt bestimmt:

$$a_{_{\rm V}} = \frac{\Delta p_{_{\rm THV,RE}}}{\Delta p_{_{\rm Strang}}} \tag{--} \label{eq:av}$$
 Gleichung 2-4

 $\Delta p_{THV,RE}$  Druckverlust über dem Regelquerschnitt des Thermostatventils  $\Delta p_{Strang}$  Gesamtdruckverlust im Heizkreis (Strang) hier 50 mbar

Der Druckverlust über dem Regelquerschnitt des THV wird wie folgt bestimmt:

$$\Delta p_{\text{THV,RE}} = \Delta p_{\text{E}} \cdot \frac{\rho}{\rho_{\text{E}}} \left( \frac{\dot{V}}{k_{\text{V,RE}}} \right)^{2}$$
 [mbar] Gleichung 2-5

 $\begin{array}{ll} \Delta p_{THV,RE} & Druckverlust \, \ddot{u}ber \, dem \, Regelquerschnitt \, des \, THV \\ k_{V,RE} & k_{V}\text{-Wert vom Regelquerschnitt des } THV \, abgelesen \, an \, der \\ & linearen \, Kennlinie \, im \, Bild \, 2\text{-}6 \, in \, m^3/h \end{array}$ 

V Auslegungsvolumenstrom des Heizkörpers in m³/h

Δp<sub>E</sub> Normdruck 1000 mbar

ρ<sub>E</sub> Normdichte des Wassers1000 kg/m³

ρ Dichte des Wassers bei Auslegungstemperaturen

Die Überprüfung der THV wird anhand von Stichproben durchgeführt.

#### Angaben zum ersten THV (aus Haus 10, Wohnung 17.2.2, Zimmer 2.2.1):

Die folgenden Angaben sind den Planungsunterlagen entnommen.

Angaben aus der Planung:		
Auslegungsvolumenstrom	V in l/h	23,0
Erforderlicher Druckverlust über dem THV	$\Delta p_{\mathrm{THV}}$ in mbar	32,4
Gewählte Voreinstellung		5

Nach Gleichung 2-3 ergibt sich der benötigter k<sub>V</sub>-Wert für das THV. Der Einfluß der Dichte wird vernachlässigt.

$$k_{v} = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{E}}{\Delta p_{THV}}}$$

$$k_v = 0.023 \text{m}^3 / \text{h} \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{mbar}}{32,4 \text{mbar}}} = \underline{0.128 \text{m}^3 / \text{h}}$$

Aus Tabelle 2-2 wird für  $k_V = 0,128$  m³/h die Voreinstellung 5 gewählt. Dies entspricht der Angabe in der Planung.

Im Bild 2-6 ist die Ermittlung von  $X_P$  und dem  $k_V$ -Wert für den Regelquerschnitt des THV dargestellt.

Es ergibt sich ein  $X_P$  von 1,2 K. Dieser Wert liegt im empfohlenen Bereich von 1 bis 1,5 K.

An der linearen Kennlinie wird  $k_{V,RE}$  mit 0,225 m³/h abgelesen. Nach Gleichung 2-5 ergibt sich für den Druckverlust über dem Regelquerschnitt (ohne Einfluß der Dichte):

$$\Delta p_{\text{THV,RE}} = \Delta p_{\text{E}} \cdot \left(\frac{\dot{V}}{k_{\text{V,RE}}}\right)^{2}$$

$$\Delta p_{\text{THV,RE}} = 1000 \text{mbar} \cdot \left(\frac{0.023 \text{m}^3 / \text{h}}{0.225 \text{m}^3 / \text{h}}\right)^2 = \underline{10.4 \text{mbar}}$$

Die "ehrliche" Ventilautorität wird nun nach Gleichung 2-4 ermittelt.

$$a_{v} = \frac{\Delta p_{\text{THV,RE}}}{\Delta p_{\text{Strang}}}$$

$$a_{v} = \frac{10,4\text{mbar}}{50,0\text{mbar}} = \underline{0,21}$$

Zur Übersicht sind die Ergebnisse der Überprüfung dieses Heizkreises und weiterer in Tabelle 2-3 dargestellt.

			Haus 10	Haus 11				
	Wohnung 17.2.2 Raum 2.2.1	Wohnung 17.2.2 Raum 2.2.2	Wohnung 17.2.2 Raum 2.2.3	Wohnung 17.2.2 Raum 2.2.8 Heizkörner 1	Wohnung 17.2.2 Raum 2.2.8 Heizkörner 2	Wohnung 40.2.1 Raum 2.2.1	Wohnung 40.1.1 Raum 1.2.1	Wohnung 40.1.1 Raum 1.2.2
Aus der Planung								
V in l/h	23,0	26,3	22,1	22,5	12,0	26,3	26,2	18,5
$\Delta p_{THV}$ in mbar	32,4	32,5	34,9	33,9	32,4	27,7	31,1	28,9
Voreinstellung	5	5,5	5	5	3	6	5,5	4,5
Aus der Überprüfung								
k <sub>V</sub> in m <sup>3</sup> /h	0,128	0,146	0,118	0,122	0,067	0,158	0,148	0,109
Voreinstellung	5	5,5	5	5	3	6	5,5	4,5
X <sub>P</sub> in K	1,20	1,20	0,95	1,05	0,63	1,15	1,25	0,90
k <sub>V,RE</sub> in m <sup>3</sup> /h	0,225	0,225	0,180	0,195	0,120	0,220	0,230	0,170
$\Delta p_{\mathrm{THV,RE}}$ in mbar	10,4	13,7	15,1	13,3	10,0	14,3	13,0	11,8
$a_{ m V}$	0,21	0,27	0,30	0,27	0,20	0,29	0,26	0,23

Tabelle 2-3: Überprüfung der Thermostatventile

Fazit: Die Auslegung wurde korrekt durchgeführt. Die Proportionalabweichung X<sub>P</sub> liegt bei den meisten Ventilen im empfohlenen Bereich zwischen 1 und 1,5 K. Es ist aber zu erkennen, dass X<sub>P</sub> bei Ventilen mit starker Voreinstellung geringer wird. Die geforderten Werte für die Ventilautorität av können von den ausgewählten Ventilen, bis auf eine Ausnahme, nicht eingehalten werden, da die ausgesuchten THV des Herstellers ein zu großes Spektrum abdecken sollen. Diese Tendenzen lassen sich auch gut im Bild 2-6 erkennen. Je größer die Voreinstellung des THV ist, um so größer wird die Differenz des ky-Werts des Regelquerschnitts des Ventils (lineare Kennlinie) und dem gesamten ky-Wert des THV. Dadurch wird deutlich, dass die Forderungen nach Ventilen mit kleineren kv-Werten gerechtfertigt sind. Vergleich zwischen Planung und Ausführung

Ein groß angelegter Vergleich der tatsächlich ausgeführten Anlage mit den Planungsunterlagen ist nicht möglich, da sämtliche Wohnungen bereits bezogen sind. Die Stichprobenuntersuchung beschränkte sich somit auf die Wohnung des Hausverwalters.

Hier wurden die Größen der installierten Heizkörper und die Voreinstellung der THV anhand der Planungswerte überprüft.

In de	r folgenden	Tabelle sind	l die Eraebnisse	zusammengefasst.

Haus 11	Heizkörpergröße		Voreinstellung	
Wohnung 40.1.1	geplant	tatsächlich	geplant	tatsächlich
Raum 1.2.1	EKEc 900/900	EKEc 900/900	5,5	5,5
Kinderzimmer				
Raum 1.2.2	DKc 900/600	DKc 900/600	4,5	5
Bad				
Raum 1.2.4	EKc 500/1400	EKc 500/1400	5,5	5
Schlafzimmer				
Raum 1.2.6	DKEKc 500/600	DKEKc 500/600	5,5	5,5
Wohnzimmer (Fenster)				
Raum 1.2.6	EKc 900/800	EKc 900/800	4,5	7
Wohnzimmer (Wand)				
Raum 1.2.7	EKEc 900/600	EKEc 900/600	6	4
Küche				

Tabelle 2-4: Vergleich zwischen Planung und Ausführung

In dieser Wohnung entsprechen alle Heizkörper der Planungsvorgabe. Es ist davon auszugehen, dass in den anderen Gebäuden dies ebenfalls zutrifft.

Anders sieht es bei den Voreinstellungen aus. Hier sind vier der sechs THV nicht auf den Planungswert eingestellt. Die Einstellung der THV auf Zwischenstellungen ist nicht exakt durchzuführen, da das Einstellrädchen hier nicht einrastet. Die Abweichungen um 0,5 haben aber auch keine gravierende Auswirkung auf die Hydraulik der Anlage und das Regelverhalten des Ventils (siehe Bild 2-6) und lassen sich somit vernachlässigen.

Bei zwei THV weicht die tatsächliche Voreinstellung um 2 bzw. 2,5 von den Planungswerten ab. Dafür kann es mehrere Gründe geben. Der Monteur hat sich beim Einstellen vertan, er hat Einstellwerte verwechselt oder das Rohrnetz wurde Einstellungen notwendig geändert und somit neue gemacht. wahrscheinlichen Fall, dass das Rohrnetz unverändert zur Planung geblieben ist, ergeben sich folgende Konsequenzen. Durch die Voreinstellung auf 4 anstatt auf 6 wird der Heizkörper in der Küche im Auslegungsfall unterversorgt. Das THV hat einen zu kleinen ky-Wert und der erforderliche Volumenstrom kann nicht fließen. Beim Wohnzimmerheizkörper bewirkt die Voreinstellung auf 7 anstatt auf 4,5, dass sich bei einem k<sub>V</sub>-Wert von etwa 0,1 m<sup>3</sup>/h (Auslegung) ein X<sub>P</sub> um 0,5 K anstelle von 0,9 K einstellt. Dies führt zu einem schlechten Regelverhalten. Zudem fließt wegen des zu großen ky-Wertes ein zu großer Volumenstrom durch diesen Heizkreis, was auch die nachfolgenden Heizkreise negativ beeinflußt. In Kapitel 2.4.3 wird auf das mögliche erhöhte Verschwendungspotential eingegangen, welches von dieser Fehleinstellung ausgeht.

Zusammenfassend läßt sich zu dieser Stichprobe sagen, dass die Ausführung der Heizungsanlage in der Wohnung weitgehend der Planung entspricht, wenn auch die Voreinstellung der THV nicht ganz sorgfältig durchgeführt wurde. Um den hydraulischen Abgleich einer Heizungsanlage nachvollziehen zu können, sollten die Einstellungen der Thermostatventile, der Umwälzpumpen, der Strangregler sowie der Reglereinstellung in einem Einstellprotokoll dokumentiert werden.

#### 2.4.3 Verschwendungspotential bei falscher Voreinstellung eines THV

In diesem Abschnitt wird das Verschwendungspotential einer falschen Voreinstellung unter gewissen Randbedingungen dargestellt. Dazu wird als Beispiel der Heizkörper aus Tabelle 2-4 mit der Voreinstellung 7 anstatt 4,5 verwendet.

Der Heizkörper gibt eine Leistung  $\dot{Q}_A$  von 564 W bei folgenden Auslegungsbedingungen ab (siehe auch Tabelle 2-1):

Vorlauftemperatur	t <sub>VA</sub> in °C	65
Rücklauftemperatur	t <sub>RA</sub> in °C	37,5
Innentemperatur	t <sub>iA</sub> in°C	20
Massenstrom	$\dot{m}_{_{ m A}}$ in kg/h	17,6
Heizkörperexponent	n	1,29

#### Zum THV liegen folgende Angaben vor:

Auslegungsvolumenstrom	V in l∕h	17,8
Erforderlicher Druckverlust über dem THV	$\Delta p_{THV}$ in mbar	29,1
Gewählte Voreinstellung		4,5
Benötigter k <sub>V</sub> -Wert nach Gleichung 3.3	k√ in m³/h	0,104

Durch Unachtsamkeit eines Bewohners steht ein Fenster offen und das THV ist vollständig geöffnet. Es wird nun ermittelt, welche Leistung der Heizkörper in den beiden Fällen (Fall 1: Voreinstellung 4,5 und Fall 2: Voreinstellung 7) abgibt.

#### Randbedingungen:

Der Raum nimmt wegen des offenen Fensters die gesamte angebotene Leistung des Heizkörpers auf. Es stellt sich eine Raumtemperatur  $\mathbf{t_i} = 20^{\circ}\mathbf{C}$  ein, die Pumpe erbringt die erhöhte Fördermenge, der Druckverlust über dem THV bleibt konstant bei: $\Delta p_{THV} = 29,1$  mbar. Die Vorlauftemperatur bleibt bei  $\mathbf{t_V} = \mathbf{t_{VA}} = 65^{\circ}\mathbf{C}$  konstant.

Zuerst wird aus Bild 2-6 der k<sub>V</sub>-Wert des Ventils bei vollständig geöffneten Zustand abgelesen.

**Fall 1:**  $k_V = 0.12 \text{ m}^3/\text{h}$  **Fall 2:**  $k_V = 0.30 \text{ m}^3/\text{h}$ 

Mit diesen Werten lässt sich der Volumenstrom, unter der Annahme, dass  $\Delta p_{THV}$  = 29,1 mbar konstant bleibt, bestimmen. Dazu wird die Gleichung 2-3 umgestellt und der Einfluss der Dichte vernachlässigt.

$$\dot{V} = k_{_{\rm V}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{_{\rm THV}}}{\Delta p_{_{\rm e}}}} \hspace{1.5cm} \text{[m³/h]} \hspace{1.5cm} \textbf{Gleichung 2-6}$$

Daraus ergeben sich folgende Massenströme.

Fall 1: 
$$\dot{m} = \rho_{52^{\circ}\text{C}} \cdot \dot{V}$$
 Fall 2:  $\dot{m} = \rho_{58^{\circ}\text{C}} \cdot \dot{V}$   
 $\dot{m} = 0.988 \text{ kg/l} \cdot 20.5 \text{ l/h} = 20.3 \text{ kg/h}$   $\dot{m} = 0.985 \text{ kg/l} \cdot 51.2 \text{ l/h} = 50.4 \text{ kg/h}$ 

Aufgrund des erhöhten Massenstroms durch den Heizkörper stellt sich eine zum Auslegungsfall unterschiedliche Rücklauftemperatur ein. Der Berechnung liegen die beiden folgenden Gleichungen zu Grunde.

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{A}} = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{A}} \cdot \frac{t_{V} - t_{R}}{t_{VA} - t_{RA}}$$
 [-] Gleichung 2-7

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{A}} = \left(\frac{\Delta t_{m}}{\Delta t_{mA}}\right)^{n} = \left(\frac{\frac{t_{V} - t_{R}}{\ln \frac{t_{V} - t_{i}}{t_{R} - t_{i}}}}{\frac{t_{VA} - t_{RA}}{\ln \frac{t_{VA} - t_{iA}}{t_{RA} - t_{iA}}}}\right)^{n}$$
 [-] Gleichung 2-8

Durch Gleichsetzen und Umstellung der Gleichung 2-7 und Gleichung 2-8 ergibt sich Gleichung 2-9, mit der man die neue Rücklauftemperatur t<sub>R</sub> <u>iterativ</u> ermitteln kann.

$$\left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_{A}} \cdot \frac{1}{t_{VA} - t_{RA}}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{t_{VA} - t_{RA}}{\ln \frac{t_{VA} - t_{iA}}{t_{RA} - t_{iA}}} = \frac{t_{V} - t_{R}}{\ln \frac{t_{V} - t_{i}}{t_{R} - t_{i}}} \cdot (t_{V} - t_{R})^{-\frac{1}{n}}$$
Gleichung 2-9

Fall 1: Massenströme in kg/h, Temperaturen in °C

$$\left(\frac{20,3}{17,6} \cdot \frac{1}{65 - 37,5}\right)^{\frac{1}{1,29}} \cdot \frac{65 - 37,5}{\ln \frac{65 - 20}{37,5 - 20}} = \frac{65 - t_R}{\ln \frac{65 - 20}{t_R - 20}} \cdot \left(65 - t_R\right)^{-\frac{1}{1,29}}$$

$$t_R = 39,6 \, ^{\circ}\text{C}$$

Fall 2: Massenströme in kg/h, Temperaturen in °C

$$\left(\frac{50,4}{17,6} \cdot \frac{1}{65 - 37,5}\right)^{\frac{1}{1,29}} \cdot \frac{65 - 37,5}{\ln \frac{65 - 20}{37,5 - 20}} = \frac{65 - t_R}{\ln \frac{65 - 20}{t_R - 20}} \cdot \left(65 - t_R\right)^{-\frac{1}{1,29}}$$

$$t_R = 51,5^{\circ}C$$

Setzt man diese Werte wieder in Gleichung 2-7 ein, ergibt sich die Leistung Q, die der Heizkörper bei geöffnetem Fenster abgibt.

Fall 1: 
$$\dot{Q} = \dot{Q}_A \cdot \frac{\dot{m}}{\dot{m}_A} \cdot \frac{t_V - t_R}{t_{VA} - t_{RA}}$$

$$\dot{Q} = 564 \text{ W} \cdot \frac{20.3}{17.6} \cdot \frac{65 - 39.6}{65 - 37.5}$$

$$\dot{Q} = \underline{601 \text{ W}}$$
Fall 2:  $\dot{Q} = \dot{Q}_A \cdot \frac{\dot{m}}{\dot{m}_A} \cdot \frac{t_V - t_R}{t_{VA} - t_{RA}}$ 

$$\dot{Q} = 564 \text{ W} \cdot \frac{50.4}{17.6} \cdot \frac{65 - 51.5}{65 - 37.5}$$

$$\dot{Q} = \underline{793 \text{ W}}$$

$$\frac{793 \,\mathrm{W} - 601 \,\mathrm{W}}{601 \,\mathrm{W}} \cdot 100\% = 31,9\%$$

Der Heizkörper mit der Voreinstellung 7 hat für den Fall eines geöffneten Fenster eine etwa 32% größere Leistungsabgabe als der Heizkörper mit dem richtig voreingestellten THV. Auch die Rücklauftemperatur liegt mit 51,5 °C in diesem Fall zu hoch. Dies macht deutlich, dass auf eine sorgfältige Voreinstellung der THV nicht verzichtet werden darf, wenn man dieses erhöhte Verschwendungspotential ausschließen möchte.

### 3 Vergleich der Anlagenausführung mit dem technischen Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept wurde erstellt, um Planern, ausführendem Handwerk und Investoren am Kronsberg Aufgaben, Probleme und Lösungen zum Thema Wohnungslüftung zu erläutern.

#### 3.1 Eigenschaften verschiedener Lüftungsarten

Ein wichtiger Faktor für die Behaglichkeit einer Wohnung ist die Luftqualität. Diese wird bei Wohngebäuden im wesentlichen durch den CO<sub>2</sub> – und Feuchtegehalt sowie durch Körpergerüche beeinflußt. Als Richtwerte für den hygienisch notwendigen Volumenstrom wird in der DIN 1946-6 ein Mindestzuluftvolumenstrom von 30 m³/h Frischluft je Person festgelegt. Hieraus lassen sich je nach Größe der Wohnfläche pro Person Luftwechselzahlen zwischen 0,3h<sup>-1</sup> in schwach und 0,8h<sup>-1</sup> in dicht belegten Wohnungen ableiten. Des weiteren wird bestimmten Räumen (Küchen etc.) ein Abluftvolumenstrom zugeordnet

#### Lüftungsarten:

#### 1. Fugenlüftung (freie Lüftung)

Bei der Fugenlüftung strömt durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle Luft herein oder heraus. Wind und Temperaturunterschiede sind die Antriebskräfte der freien Lüftung.

Ein hygienischer Luftwechsel wird allein durch Fugenlüftung bei den Gebäude am Kronsberg (mit einer Luftdurchlässigkeit n<sub>50</sub><sup>12</sup> von unter 1h<sup>-1</sup>) nur bei seltenen Wetterbedingungen gewährleistet.

Diese Art der Lüftung ist also im Geschosswohnungsbau nicht zu empfehlen.

#### 2. Fensterlüftung

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Die Luftdurchlässigkeit n<sub>50</sub> gibt an, wie hoch der Luftwechsel im Gebäude ist, wenn mittels eines Gebläses eine Druckdifferenz von 50 Pa über der Gebäudehülle erzeugt wird.

Die Qualität der Fensterlüftung ist stark vom Lüftungsverhalten der Bewohner abhängig.

Ein 0,5 bis 1-facher Luftwechsel pro Stunde erfordert bei "dichten" Gebäuden im Durchschnitt alle zwei Stunden das Öffnen (Stoßlüftung) der Fenster für 5 bis 10 Minuten. Dies ist schwierig einzuhalten. Die Folge mangelnder Lüftung wäre eine schlechte Luftqualität und ggf. Bauschäden (z.B. Stockflecken). Wird aus Bequemlichkeit mit den Fenstern dauerhaft gelüftet (Kipplüftung), entstehen große Lüftungswärmeverluste, die die baulichen Vorteile Niedrigenergiehauses schnell egalisieren. Bei korrekt dimensionierten Heizkörpern sinkt die Raumtemperatur. Luftwechselzahlen in Abhängigkeit der Fensterstellung finden sich in [7 Tabellenbuch].

#### 3. Mechanische Wohnungslüftung

Bei der sogenannten kontrollierten Wohnungslüftung sorgen ein oder mehrere Lüfter für einen von Witterungseinflüssen weitgehend unabhängigen und bedarfsgerechten Luftwechsel. Es stehen verschiedene Systeme zur Verfügung. Zu den Systemen die am häufigsten angewendet werden gehören die beiden folgenden:

#### Abluftanlagen mit dezentraler Zuluft:

Bei dieser Anlage wird die mit Feuchte und Gerüchen am stärksten belastete Luft aus Bad, Küche und Abstellräumen über einen zentralen oder mehrere dezentrale Ventilatoren abgesaugt und meist über Dach ausgeblasen. Die Außenluft strömt über Zuluftöffnungen (ALD: Außenluftdurchlaßelemente) in Wohn-, Schlaf-, und Arbeitszimmern sowie über letzte Undichtigkeiten in der Gebäudehülle nach. Diese dauerhafte und gerichtete Luftströmung von den Wohn- und Schlafräumen (Zuluftzonen) zu den Feucht- und Funktionsräumen (Abluftzonen) wird Querlüftung genannt. Von einer funktionierenden Querlüftung kann aber nur bei einer luftdichten Gebäudehülle ausgegangen werden. Die Abluftanlagen können auf die verschiedensten Arten realisiert werden. Auf den folgenden Bildern sind Beispiele für die Abluftführung (ohne Zuluftöffnungen) dargestellt.

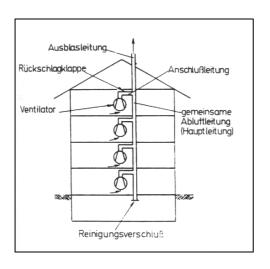


Bild 3-1: Abluftanlage mit dezentralem Lüftern

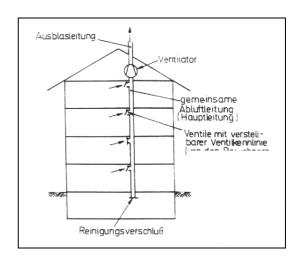


Bild 3-2: Abluftanlage mit zentralen Lüftern

#### Lüftungsanlage mit zentraler Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung:

Die Luftführung bei diesem System ist die gleiche wie bei der Abluftanlage. Hier wird aber auch die Zuluft über ein zentrales Lüftungsgerät und einem Kanalnetz verteilt. Diese Anlage verfügt zusätzlich über eine Wärmerückgewinnung (meistens ein Kreuzstrom- Plattenwärmeübertrager), welche die kalte Außenluft mit der Abluft vorwärmt, so daß der Lüftungswärmebedarf zusätzlich reduziert wird. Ein Nachteil einer solchen Anlage sind die höheren Investitions- und Betriebskosten sowie ein Mehrverbrauch bei unverändert durchgeführter Fensterlüftung.

# 3.2 Empfehlung des Lüftungskonzepts zur Auslegung der Lüftungsanlage

Im Lüftungskonzept wird für die Gebäude am Kronsberg eine mechanische Lüftungsanlage zur kontrollierten Wohnungslüftung empfohlen. Es werden Auslegungsbeispiele für Abluftanlagen und Zu/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung gegeben.

Bei der Planung beider Anlagentypen ist auf eine möglichst bedarfsabhängige Regelung, die einfach zu bedienen und selbstregelnd, z.B. nach der Feuchte sein sollte, zu achten. Die Elemente sollten manuell verschließbar sein. Dadurch können die Lüftung dem Bedarf angepaßt und der Lüftungswärmeverlust und der Stromeinsatz reduziert werden.

#### Mindestanforderung an die Einstell- und Regelbarkeit der Anlage:

Der Volumenstrom soll auf mindestens die Hälfte des Nennvolumenstroms, jedoch höchstens auf Luftvolumenströme entsprechend einem Luftwechsel von 0,3 h<sup>-1</sup> abgesenkt werden können.

Die erforderlichen Anlagenvolumenströme sollen mit einem Anlagenpflichtblatt bestimmt und dokumentiert werden. Die Erstellung dieser Anlagenpflichtblätter gehört, wie der Kronsbergnachweis zu einer Maßnahme im Rahmen der Qualitätssicherung am Kronsberg. Im Gegensatz zu anderen Maßnahmen, wie etwa einem Dichtigkeits-Nachweis der Gebäudehülle (Blower-Door Test), ist das Erstellen der Anlagenpflichtblätter aber nicht vorgeschrieben.

Speziell bei Abluftanlagen ist darauf zu achten, daß eine Querlüftung zwischen Zuund Abluftzonen, auch bei geschlossenen Türen, durch Überströmöffnungen gewährleistet wird. Dies ist für einen ausreichenden Luftwechsel und Feuchteabtransport, besonders in den Zuluftzonen (Wohn- und Schlafräume), unabdingbar.

Auch der Stromverbrauch der Anlage sollte möglichst gering sein. Es wird eine luftmengenspezifische Leistungsaufnahme der Abluftventilatoren von max. 0,25 W/(m³/h) empfohlen.

Am Kronsberg wurden fast Flächendeckend reine Abluftanlagen eingesetzt. Die sowohl als dezentrale- als auch als Zentrale Abluftanlagen ausgeführt. Aus diesem Grund wurde hier jeweils eine Zentrale- und eine Dezentrale Abluftanlage mit zentralem Lüfter bzw. mit dezentralen Einzellüftern in die Untersuchung einbezogen

#### 3.3 Ausführung und Bewertung dezentraler Abluftanlagen

Wie schon in Kapitel 2 erläutert, wurde vom Planungsbüro für die betrachteten Gebäude eine dezentrale Abluftanlage geplant, die sowohl mit dezentralen,

feuchtegesteuerten Zuluftöffnungen, als auch mit einzelnen Lüftern in den Wohnungen ausgestattet ist.

Anhand von Randbedingungen in Wohnungen verschiedener Größe wird ermittelt, ob in diesen Wohnungen die installierten Lüfter bei kleinster Betriebsstufe den Mindestluftwechsel von 0,3 h<sup>-1</sup> aufbringen können.

Aus den vorliegenden Wärmebedarfsberechnungen werden die Flächen der einzelnen Räume ermittelt und mit einer Raumhöhe von 2,5 m multipliziert. So ergibt sich das zu belüftende Volumen einer Wohnung. Die Lüfter fördern je einen Volumenstrom von ca. 30 m³/h bei kleinster Betriebsstufe. Multipliziert mit der Anzahl der Lüfter je Wohnung erhält man den Mindestvolumenstrom, den die Anlage fördert (vorausgesetzt alle Lüfter sind in Betrieb!). Der Quotient aus Volumenstrom und Volumen ergibt den Luftwechsel.

In der folgenden Tabelle 3-1sind die Ergebnisse zusammengefaßt.

Haus 1	1 Wohnung 40.	1.1	Haus 1	2 Wohnung 0.1	
Kinder		13,2 m <sup>2</sup>	Wohnen		21,9 m²
Bad		5,6 m <sup>2</sup>	WC		2,5 m <sup>2</sup>
Eltern		11,3 m <sup>2</sup>	Küche		8,7 m <sup>2</sup>
Wohnen		24,4 m²	Flur		8,6 m²
Küche		10,4 m <sup>2</sup>	Kind II		10,2 m <sup>2</sup>
Flur		2,6 m <sup>2</sup>	Kind I		10,0 m <sup>2</sup>
gesamt		67,5 m <sup>2</sup>	Bad		4,4 m²
			Flur		3,8 m <sup>2</sup>
			Eltern		12,1 m²
			gesamt		82,2 m²
2,5 m *	$67,5 \text{ m}^2 =$	168,75 m <sup>3</sup>	2,5 m *	$82,2 \text{ m}^2 =$	205,5 m <sup>3</sup>
2 Lüfter 〈	$30 \text{ m}^3/\text{h} =$	60 m³/h	3 Lüfter 〈	$30 \text{ m}^3/\text{h} =$	90 m³/h
Luftwechsel		$0.36  h^{-1}$	Luftwechsel		<u>0,44 h<sup>-1</sup></u>

Tabelle 3-1: Überprüfung des Mindestluftwechsels

Die Anforderung an den Mindestluftwechsel ist in beiden Fällen erfüllt. Dieses Ergebnis ist insoweit kritisch zu betrachten, dass die Bewohner die Möglichkeit haben, alle Lüfter - bis auf den Badlüfter - abzuschalten. Der Mindestluftwechsel ist

dann nicht mehr gewährleistet und es kann auf Dauer zu Feuchteschäden kommen, wenn die Bewohner sich auf nur einen Lüfter verlassen.

Eine Querlüftung zwischen Zu- und Abluftzonen ist in allen Wohnungen durch gekürzte Türblätter gegeben.

Die installierten Lüfter haben bei Nennbetrieb (60 m³/h / 16 W) eine luftmengenspezifische Leistungsaufnahme von 0,27 W/(m³/h). Damit liegen sie knapp über dem geforderten Maximalwert.

## Vor- und Nachteile dieses Abluftsystems im Vergleich zu einer Abluftanlage mit zentralen Ventilator :

Eine dezentrale Abluftanlage mit Ventilatoren in den Ablufträumen hat den Vorteil, dass eine aufwendige Kanalnetzberechnung entfällt. Die Gefahr zu großer oder zu kleiner Luftwechselraten durch fehlenden oder falschen Abgleich des Kanalnetzes besteht nicht. Bei zentralen Abluftanlagen mit zentralem Ventilator ist eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Wohnungen, durch Verschließen oder Entfernen der Filter der Abluftöffnungen möglich.

Dezentrale Abluftanlagen erlauben den Bewohnern, den Luftaustausch in der Wohnung bei Bedarf (z.B. rauchende Gäste in der Wohnung) manuell zu erhöhen.

Ein Nachteil dezentraler Abluftanlagen ist der Einfluß, den der Nutzer auf den Betrieb seiner Anlage hat. Durch das Ausschalten von Lüftern, ist hier der Mindestluftwechsel nicht garantiert. Für einige Bewohner ist auch das Laufgeräusch der Lüfter störend ("man hat das Gefühl, dass Strom unnütz verbraucht wird"), so dass selbst der Lüfter für die Grundlüftung durch Entfernen der Sicherung stillgelegt wurde.

Die Mehrzahl der Gebäude am Kronsberg verfügen über eine Abluftanlage mit einem zentralen Lüftungsgerät.

#### 3.4 Auslegung Zentraler Abluftanlagen

In diesem Kapitel erfolgt die Berechnung einer zentralen Abluftanlage. Das Schaubild zeigt das betrachtete Gebäude mit insgesamt 56 Wohneinheiten, wobei 10 dieser Wohnungen nachgerechnet werden.

Die selben Wohnungen werden anschließend in dem Kapitel 3.4.2.2 mit Hilfe einer Vor-Ort-Messung auf ihren tatsächlichen Luftwechsel hin überprüft.

Verwendet wurde für den Bauabschnitt 1 das System der Fa. AERECO mit zentraler Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung und mit feuchtegesteuerten Zuluftelementen in den Fenstereinlässen.

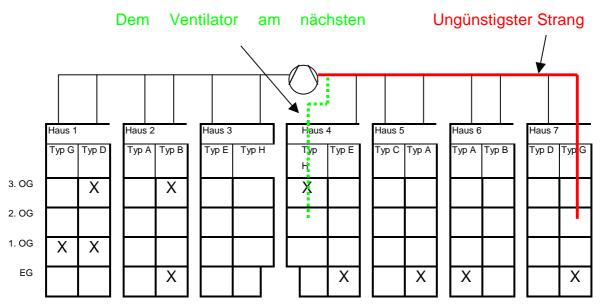


Bild 3-3: Kanalnetz der zentralen Abluftanlage

Das Lüftungstechnische Konzept, die Fa. AERECO sowie verschiedene andere Normen und Richtlinien legen Minimalwerte für Abluftmengen in einzelnen Räumen fest.

Ein Formblatt des Ing.-Büros ebök bestimmt die Abluftvolumenströme der Räume und die Anzahl der Zuluftelemente. Die ausgerechneten Abluftvolumenströme dienen später als Hilfe für die Kanalnetzberechnung, die Auswahl der Abluftventile und die Einregulierung der Volumenströme.

PFLICHTBLA Abluftanlage											
Projekt Anlage	: BAU	ABSC	#NITT	1		durchias	Plan	ungsbüro: Bearbeiter: Datum:			
	THU			76 TY				Batann			
1. Standardnutz Auslegung						ngungen					
2. Auslegungski	riterien f	ür Luftv	olumen	ströme							
Außenluftvolume	nstrom:		Richtwe	rte	Anzahl				re	sultierenc	le Startwerte
Addematevolume		Person:	30	m³/h *	4	=	120	m³/h		120	m³/h
Abluftvolumenstr		Küchen:	60	m³/h *	1	=	60	m³/h			
E	Bäder, HV			m³/h *	1	-	40	m³/h +			
	WC, Vo	rrat u.ä.:	20	m³/h *	0	Summe:		m³/h +			m³/h
						Summe:	100	mm.		100	
Startwert Nennvo Zustände mit erhö			rom:							120	m³/h
2 1								ıslegedruc	de film At D	. 10	Pa
<u>3. Luftmengenve</u> Raum		Luftvolu	maa		Valuman	strom und			1	ng der AL	
Naum	Flacine		Zone		Nennbeti		Ausleg	ung Raum			uslegedruck
in the second	m²	ZU m¹	AB m³	ÜBER	V <sub>AB</sub> m³/h	LW <sub>AB</sub>	m³/h	LW <sub>ZU</sub>	m³/h		hi dei ALD
MOHNBN	18,2	45,5			utarricolor	V.F. 1871	30	0,7	30	1	en las cades
LIND I	12,2	30,5					30	10	30	1	
41 NO 2.	10,3	25,8					30	1,17	30	1	
DIELE	8,50	.,.		213						,	
SCHLAFEN	127	31,75					30	0114	30	1	
LUCKE	10,3		25,8		60	2,3		0177		1	
BAD	8,8		13,8		60	4,3					
gesamt	77,7	133,6	79.6	21,3	120		120		120	3	
ucoalli.	-								1		
4. Abgestimmte	Volumer	nströme						Nennvolu	menstrom	: 120	m³/h
							Ausle	gungsvolu	menstrom	120	m³/h
								belüftetes		+7.7	m²
5. Regelbereich							Nen	nluftwechs	el gesami		5 1/h
	Regelbereich mindestens: 60				bi	5 120	m³/h				
6. Stromeffizien:					Maximal	e Leistung	saufnah	me bei Ne	nnbetrieb	c	W
7. Anforderunge				alldruckp	oegel der /	Anlage im	Aufenth	altsbereici	n maxima	1: 30	dB(A)
									© ebők, Ti	ibingen 199	6

Bild 3-4: Formblatt Ingenieurbüro Ebök

In der folgenden Tabelle sind die errechneten Abluftvolumenströme der Wohnungen dargestellt.

Wohnung	MinAbluftvol.	MaxAbluftvol.
Haus 1/G	60 m³/h	120 m³/h
Haus 1/D	50 m³/h	100 m³/h
Haus 1/D	50 m³/h	100 m³/h
Haus 2/B	35 m³/h	100 m³/h
Haus 2/B	35 m³/h	100 m³/h
Haus 4/H	70 m³/h	120 m³/h
Haus 4/E	60 m³/h	120 m³/h
Haus 5/A	30 m³/h	60 m³/h
Haus 6/A	30 m³/h	60 m³/h
Haus 7/G	60 m³/h	120 m³/h

Tabelle 3-2

Eine andere Variante für die Berechnung als die Personenzahl oder die Mindestabluftmenge ist die Berechnung des Abluftvolumenstroms über die bewohnte Fläche bzw. das Raumvolumen.

Beispiel: Haus 4 Typ E 3. OG

> Bewohnte Fläche 73,2 m<sup>2</sup> Raumhöhe 2,5 m Raumvolumen 183  $m^3$

Damit ergibt sich bei einer Grundlüftung von 0,3 1/h ein Volumenstrom von 55 m³/h und bei einem Luftwechsel von 0,5 1/h einen Abluftvolumenstrom von 91,5 m³/h.

Bei der Berechnung über die bewohnte Fläche (farbig dargestellt: min.=gelb, max.=grün) wird der Luftwechsel für jeden Raum gleich angenommen. Eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzung der Räume (Küche, Schlafzimmer, Bad) geschieht nicht.

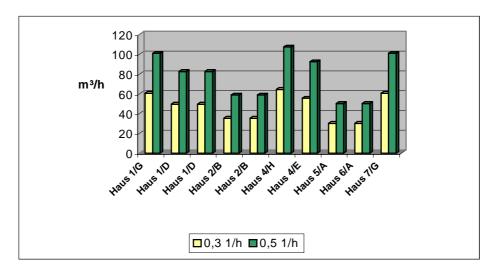


Bild 3-5: Grafische Darstellung des Abluftvolumenstroms, nach der bewohnten Fläche

Im Vergleich der beiden Berechnungsvarianten (bewohnte Fläche [Bild 3-5] zu Personen / Mindestluftmenge) unterscheiden sich die gesamten Abluftvolumenströme (max.=blau /  $0.5^{1}$ /<sub>h</sub>=grün) bis zu 50 % voneinander, (vgl. Bild 3-6).

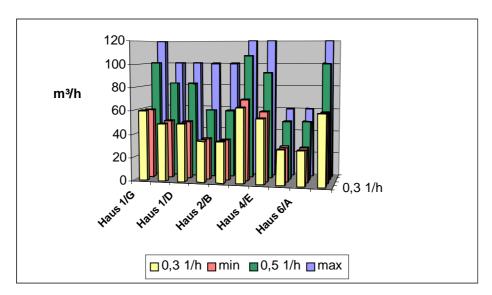


Bild 3-6: Abluftvolumenströme

Bei diesen Berechnungsverfahren ergeben sich unterschiedliche Abluftvolumenströme für die einzelnen Wohnungen. Für die Auslegung ist der Luftwechsel nach der bewohnten Fläche berechnet worden.

#### 3.4.1 Kanalnetzberechnung

Für eine einwandfreie Funktion einer zentralen Abluftanlage ist ein korrekt dimensioniertes Kanalnetz erforderlich.

Die unter 3.4 errechneten Volumenströme bilden die Grundlage für die Berechnung des Abluftkanalnetzes. Die Berechnung erfolgt für den ungünstigsten Strang, der sich im Erdgeschoß des Hauses 7 befindet. Der zentrale Abluftventilator ist in der Mitte des Mehrfamilienhauses unter dem Dach montiert.

Das Kanalnetz wird anhand der vorhandenen Ausführungszeichnungen für die Abluftanlage überprüft.

In der Tabelle 3-3 ist für das Kanalnetz eine Druckverlustberechnung durchgeführt worden.

Gesamtdruckverlust:  $p_{ges} = p_{st} + p_{dyn}$ 

132 Pa = 53,2 Pa + 78,8 Pa

Abluftventil	100 Pa
Zuluftelement	10 Pa
Druckverlust pges (Kanalnetz)	132 Pa
Druckverlust, der vom Ventilator überwunden werden muß:	242 Pa

Der eingebaute Ventilator VMF stellt eine Druckdifferenz von 130 Pa zur Verfügung. Beim Nachrechnen des Kanalnetzes für den ungünstigsten Strang ist ein Gesamtdruckverlust von 132 Pa Tabelle 3-3 ermittelt worden. D.h. der Druckverlust im Kanalnetz ist so groß, daß die vom Ventilator zur Verfügung gestellte Druckdifferenz vollständig aufgebraucht wird. Für das Abluftelement muß aber eine Druckdifferenz von 100 Pa und für das Zuluftelement eine Druckdifferenz von 10 Pa zur Verfügung stehen.

Da ein Abluftventil auch im ungünstigsten Strang einen Differenzdruck von 100 Pa benötigt, ist ein einwandfreies Arbeiten und somit ein ausreichender Luftwechsel nicht gewährleistet.

TS	l	A	V	w	p dyn		Durchm	R	l*R	Zeta	Zetat	рg	p tv
	m	m²	m³/s	m/s	Pa		mm	Pa/m	Pa		gesamt	Pa	Pa
ungü	nstigste	er Straı	ng		Abluftventil								110
1	2,75	0,02	0,014	0,7	0,29		160	0,05	0,14				0,14
					Schalld	ämpfer						2	2
					Brandso	chutz						1	1
					Bogen	90°				0,42		0,12	0,12
2	2,75	0,02	0,028	1,6	1,54		160	0,2	0,55				0,55
					T-Stück							1	1
3	2,75	0,02	0,041	2	2,4		160	0,4	1,1				1,1
					T-Stück							1	1
4	12	0,02	0,056	2,8	4,7		160	0,6	7,2				7,2
					Bogen	90°				0,42	0,84	3,9	3,9
					Schalld	ämpfer <sup>5</sup>							0
5	3,2	0,03	0,111	4,5	12,15		180	1,4	4,48				4,48
					T-Stück							1	1
6	3,2	0,04	0,157	4	9,6		250	0,8	2,56				2,56
					T-Stück							1	1
					Schalld	ämpfer							0
7	3	0,05	0,2	4,1	10,1		250	0,9	2,7				2,7
					T-Stück							1	1
					Schalld	ämpfer							0
8	8,4	0,09	0,268	3	5,8		350	0,33	2,77				2,77
					T-Stück							1	
					Schalld	ämpfer							0
9	2,5	0,09	0,32	3,5	7,7		350	0,4	1				1
					T-Stück							1	1
					Schalld	ämpfer							0
10	9,1	0,13	0,38	3	5,4		400	0,3	2,73				2,73
					T-Stück							1	1
					Schalld	ämpfer							0
11	2,5	0,15	0,46	3	5,4		450	0,23	0,6				0,6
					T-Stück							1	1
					Schalld	ämpfer							0
12	5,5	0,16	0,51	3,2	6,2		450	0,3	1,65				1,65
					T-Stück							1	1

-

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Für den Schalldämpfer ist der Druckverlust so gering, daß er durchaus vernachlässigt werden kann.

					Schalldäm	npfer						0
					Bogen 90°	0				0,43	2,63	2,63
13	6,2	0,19	0,67	3,6	7,7		500	0,3	1,86			1,86
					T-Stück						1	1
					Schalldäm	npfer						0
					Bogen 90	0				0,42	3,26	3,26

78,8 Pa 53,20

Tabelle 3-3

Für den kürzesten Abluftkanal, (direkt unter dem Ventilator, Haus 4), ist eine Druckdifferenz von 32 Pa errechnet worden.

TS	l	A	V	w	p dyn	Durchm.	R	l*R	Zeta	Zetat	рg	p v
	m	m²	m³/s	m/s	Pa	mm	Pa/m	Pa		gesamt	Pa	Pa
A	5		0,051	2,3	3,17	160	0,5	2,5				3,17
					Bögen 90°				0,42	1,26	4	4
В	4,5		0,11	2,2	2,9	250	0,25	1,1				1,1
					T-Stück						1	1
					Schalldämpfer							0
					Bögen 90°				0,43	0,86	2,5	2,5
13	6,2	0,19	0,67	3,6	7,7	500	0,3	1,9				1,86
					T-Stück						1	1
					Schalldämpfer							0
					Bogen 90°				0,42		3,3	3,26

13,8

Für dem am Ventilator nächstliegenden Strang (Haus 4) ergibt sich folgender Gesamtdruckverlust:

$$p_{ges} = p_{st} + p_{dyn}$$
  
31,7 Pa = 17,9 Pa + 13,8 Pa

Abluftventil	100 Pa
Zuluftelement	10 Pa
Druckverlust p <sub>ges</sub>	31,7 Pa
Druckverlust, der vom Ventilator überwunden werden muß:	141,7 Pa

Zwischen dem ungünstigsten Strang und dem Strang, der von dem Ventilator am nächsten liegt, ist eine Gesamtdruckdifferenz von ca. 100 Pa errechnet worden.

Aufgrund einer nicht vorhandenen Drosselklappe und dieser großen Druckdifferenz liegt die Vermutung nahe, dass das System nicht korrekt arbeitet, d.h. es können zu große und zu kleine Volumenströme entstehen.

#### 3.4.2 Auswertung und Ergebnisse der Volumenstrommessungen

Aufgrund dieser Vermutung einer nicht abgeglichenen Lüftungsanlage wurde eine Volumenstrommessung verschiedener Wohnungen vor Ort durchgeführt.

Es erfolgten zwei Messungen an zwei verschiedenen Tagen in bewohnten und in noch nicht bewohnten Wohnungen.

Die Messungen erfolgten in 8 von 56 Wohnungen stichprobenartig. Darunter wurden Wohnungen überprüft, die entweder an dem ungünstigen Strang lagen oder sich in nächster Nähe zum Ventilator befanden.

Parallel zu den Messungen fand eine Befragung der Nutzer zu ihren Erfahrungen mit der kontrollierten Lüftung statt.

Fragen an die Nutzer Antworten	JA (%)	NEIN (%)
1. Sind Sie zufrieden mit Ihrer Wohnungslüftung?	25	75
2. Haben Sie z.B. durch "frische Luft" bemerkt, daß Sie eine	80	20
Wohnugslüftung besitzen?		
3. Wissen Sie, wie die Wohnungslüftung funktioniert?	30	70
4. Lüften Sie zusätzlich mit dem Fenster?	100	0
5. Gibt es Beschwerden hinsichtlich der Lüftungsanlage?	90	0
(Lärm, Zug, Laufzeit,)		
6. Haben Sie eine Einweisung über die Anlage erhalten?	0	100
7. Wissen Sie, warum kontrollierte Lüftungsanlagen eingebaut	0	100
werden?		
8. Haben Sie versucht, Ihre Lüftungsanlage zu manipulieren ?	30	70

Tabelle 3-4:Fragen zur Lüftungsanlage

#### 3.4.2.1 Erläuterungen zu den Fragen / Antworten

Zu Frage 1. Sind Sie zufrieden mit ihrer Wohnungslüftung?

75 % der befragten Nutzer waren mit der Anlage unzufrieden.

Zu Frage 2. Haben Sie z.B. durch "frische Luft" bemerkt, dass Sie eine Wohnungslüftung besitzen?

> Vielen ist eine "frischere Luft" aufgefallen, Rauchern besonders. Zufrieden zeigten sich die Mieter v.a. über die feuchtegesteuerten Abluftventile im Badezimmer (sofern sie richtig arbeiteten).

Zu Frage 3. Wissen Sie, wie die Wohnungslüftung funktioniert?

Kaum ein Nutzer konnte die Funktionsweise der Anlage erklären.

Feuchtegesteuerte Zuluftelemente konnte ein Bewohner erläutern.

Zu Frage 4. Lüften Sie zusätzlich mit den Fenster?

Alle Bewohner waren der Meinung, die Wohnungslüftungsanlage reiche zur Lüftung der Wohnung nicht aus, sie glaubten, man müsse zusätzlich durch die Fenster lüften.

Zu Frage 5. Gibt es Beschwerden hinsichtlich der Lüftungsanlage ? (Lärm, Zug, Laufzeit, ...)

> 90 % der Befragten waren der Meinung, die Lüftungsanlage sei defekt, weil sie rund um die Uhr (24h) läuft und sich selbst nicht abschaltet (bzw. sich nicht abschalten lässt).

> Erhöhte Staubbildung, trockene Luft und kalte Zugluft gaben weiteren Anlaß zur Beschwerde.

Zu Frage 6. Haben Sie eine Einweisung über die Anlage erhalten?

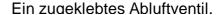
Beim Einzug in die Wohnungen wurden die Mieter darüber unterrichtet, dass es eine Lüftungsanlage gibt, mehr Informationen erfolgten nicht.

Zu Frage 7. Wissen Sie, warum kontrollierte Lüftungsanlagen eingebaut werden ?

Keiner der Bewohner ist sich über den Zweck bzw. den Nutzen einer kontrollierten Lüftung im klaren.

Zu Frage 8. Haben Sie versucht, Ihre Lüftungsanlage zu manipulieren?

Einige Nutzer waren mit der Anlage so sehr unzufrieden, daß die Abluftanlage von ihnen komplett zugeklebt wurde, und es sogar zu einer Demontage kam.





Bei der stichprobenartigen Überprüfung stellte sich heraus, dass bei 50 % der im Badezimmer montierten Abluftventile die Batterie für den Betrieb einer Stoßlüftung fehlte. Die über einen Taster zu betätigende Stoßlüftung zur beschleunigten Abfuhr war somit nicht funktionsfähig.

Weitere Fehler sind bei der Montage der Abluftventile entstanden. Ein Abluftelement wurde verkehrt herum eingebaut und dadurch seine Funktion außer Kraft gesetzt.

Ein besonderer Fall von unkorrekter Ausführung wurde bei einem Abluftelement festgestellt, bei dem neben dem Schalldämpfer auch die notwendige Brandschutzklappe fehlte.



Bild 3-7: Fehlende Brandschutzklappe

#### 3.4.2.2 Meßergebnisse der Volumenstrommessungen

Die Messung erfolgte mit einem Flügelradanemometer der Fachhochschule Wolfenbüttel. Die Strömungsgeschwindigkeiten wurden jeweils an den Abluftelementen in der Küche und im Badezimmer gemessen



Bild 3-8: Meßeinrichtung zur Volumenstrommessung

Das Flügelradanemometer hat einen Durchmesser von 10,3 cm.

$$A = \frac{d^2 * \Pi}{4} = \frac{0,103^2 * \Pi}{4} = 0,00833 \text{ m}^2$$

Mit der Formel  $V = A \bullet w$  wird der jeweilige Volumenstrom errechnet.

w = Luftgeschwindigkeit [m/s]	V = Abluftvolumenstrom [m³/h]
0,4 m/s Küche	12 m³/h
0,5 m/s Küche	15 m³/h
0,6 m/s Küche	18 m³/h
0,7 m/s Küche	21 m³/h
1,4 m/s Badezimmer	42 m³/h
1,7 m/s Badezimmer	51 m³/h
2,2 m/s Badezimmer	66 m³/h
2,8 m/s Badezimmer	84 m³/h
3,0 m/s Badezimmer	90 m³/h
3,5 m/s Badezimmer	105 m³/h

Tabelle 3-5: Gemessene Abluftvolumenströme

Aus den gemessenen Volumenströmen wurde der mittlere Luftwechsel wie folgt ermittelt:

Beispiel:	Haus 1	Typ D	3.OG
	Bewohnte Fläche	66 m²	$0.5^{1}/_{h} = 82.5 \text{ m}^{3}/h$
	Küche	0,5 m	/s = 15 m³/h
	Badezimmer	0,5 m	
	Abluft gesamt		$= 30 \text{ m}^3/\text{h}$

0,18 <sup>1</sup>/<sub>h</sub> Tatsächlicher Luftwechsel

Beispiel:	Haus 7	Typ G	3.OG
	Bewohnte Fläche	80,6 m <sup>2</sup>	$0.5^{-1}/_{h} = 100.75 \text{ m}^{3}/h$
	Küche	0,6 m/s	= 18 m³/h
	Badezimmer	3,5m/s	$= 105 \text{ m}^3/\text{h}$
	Abluft gesamt		$= 123 \text{ m}^3/\text{h}$

### Tatsächlicher Luftwechsel 0,61 <sup>1</sup>/<sub>h</sub>

Beispiel:	Haus 4 Bewohnte Fläche	Typ E 73,9 m²	EG $0.5^{1}/_{h} = 92.3 \text{ m}^{3}/h$
	Küche	0,7 m/s	$= 21 \text{ m}^3/\text{h}$
	Badezimmer	2,2 m/s	$= 66 \text{ m}^3/\text{h}$
	Abluft gesamt		$= 87 \text{ m}^3/\text{h}$



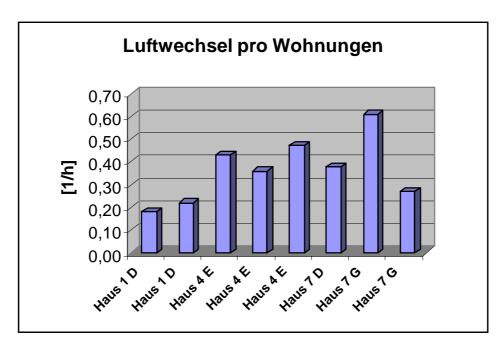


Bild 3-9: Luftwechsel der gemessenen Wohnungen

Im Bild 3-9 ist gut zu erkennen, wie unterschiedlich der Luftwechsel in den einzelnen Wohnungen aussieht.

In dieser stichprobenartigen Überprüfung liegen 3 Wohnungen unter dem geforderten Grundluftwechsel von 0,3 <sup>1</sup>/<sub>h</sub>. Eine Wohnung weist einen dauerhaften Luftwechsel von über 0,6 <sup>1</sup>/<sub>h</sub> vor. Alle anderen untersuchten Wohnungen liegen in dem Bereich zwischen 0,35 <sup>1</sup>/<sub>h</sub> und 0,50 <sup>1</sup>/<sub>h</sub>.

Diese wenigen kontrollierten Wohnungen geben zwar kein repräsentatives Bild wieder, sie geben jedoch durchaus Anlaß, in einigen Wohnungen den ungleichmäßigen Luftwechsel zu beanstanden.

Aufgrund eines nicht durchgeführten Abgleichs der Lüftungskanäle kam es z.B. in einer Wohnung in Küche und Badezimmer zu ungleichen Abluftvolumenströmen. In der Küche ist ein Abluftvolumenstrom von ca. 12 m³/h, und im Badezimmer ist ein Abluftvolumenstrom 105 m³/h gemessen worden, das heißt selbst wenn der Gesamtluftwechsel wird die nicht möglich sein erforderlichen Behaglichkeitskriterien einzuhalten.

Ungleiche Abluftvolumenströme tragen mit Sicherheit nicht zu einer Akzeptanz der Lüftungsanlage bei.

Es kann festgehalten werden, dass bei einem nicht abgeglichenen Kanalnetz die Funktion der Lüftungsanlage und der sich einstellende Luftwechsel dem Zufall überlassen bleibt.

## Bewertung der Gebäude mit Energiebilanzverfahren

Der Kronsbergnachweis, der für die untersuchten Gebäude erstellt wurde, ist vergleichbar mit dem Wärmeschutznachweis der WSVO. Diese Verfahren dienen zur Beurteilung der energetischen Qualität des Baukörpers einschließlich Luftaustausch. Kennwert wird Als der voraussichtliche Jahres-Heizwärmebedarf Energiebezugsfläche herangezogen, der die für die Raumheizung erforderliche Nutzwärme beschreibt und sich aus der Summe von standardisierten Transmissionsund Lüftungswärmeverlusten abzüglich der solaren und inneren Gewinne errechnet.

In diesem Kapitel soll zusätzlich die energetische Qualität der <u>Heizsysteme</u> der Gebäude bewertet werden. Dazu werden zwei verschiedene Bilanzverfahren verwendet, deren Ergebnisse miteinander verglichen werden sollen.

Das erste Energiebilanzverfahren ist der Energiepaß Heizung / Warmwasser vom Institut Wohnen und Umwelt (IWU) aus Hessen. Mit diesem Energiepaß wird sowohl die energetische Qualität des Baukörpers als auch des Heizsystems betrachtet.

Danach wird zum Vergleich mit der Vornorm DIN 4701 Teil 10 (02/2001) nochmals eine Bewertung des Heizsystems durchgeführt. Im Anhang findet sich die Berechnung mit einem neuen an der Fachhochschule Wolfenbüttel selbt entwickelten Gesamtbilanzverfahren für das Gebäude und die Anlagentechnik.

#### 4.1 Hessischer Energiepaß Heizung / Warmwasser

Der Energiepaß Heizung / Warmwasser läßt sich in zwei wesentliche Berechnungsvorgänge aufteilen. Zuerst wird der Energiekennwert Heizwärme bestimmt, der eine Beurteilung der energetischen Qualität des Baukörpers zuläßt. Das Verfahren ähnelt dem Wärmeschutznachweis nach WSVO 95.

Im zweiten Schritt wird die energetische Qualität des Heizsystems, unter Berücksichtigung des Energieträgers und der Anlagentechnik, in Form der Primärenergie-Heizzahl  $\eta_{a,P}$  ermittelt. Diese Zahl gibt das Verhältnis aus dem rechnerischen Wärmebedarf für Heizung / Warmwasser zum Primärenergieaufwand an. Die Größe dieses Wertes wird durch viele Faktoren beeinflußt. Das sind neben dem Heizwärmebedarf des Gebäudes zusätzlich der Primärenergiefaktor der Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung, der Nutzungsgrad der Wärmeverteilung und der Strombedarf der Elektro-Hilfsgeräte.

#### 4.1.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Ein Energiepaß wird im allgemeinen durch Einsetzen von Werten in Kalkulationstabellen erstellt. Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsgänge (inklusive Beschreibung der verwendeten Formelzeichen), auf denen die

46

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Der Primärenergiefaktor gibt den Primärenergieaufwand für die Bereitstellung des Energieträgers wieder. Er berücksichtigt sowohl den Energieinhalt des Rohstoffs als auch die zu seinem Transport und Weiterverarbeitung bis zur Lieferung an den Verbraucher aufgewendete Energie.

Kalkulationstabellen aufgebaut sind, dargestellt. Die Werte der in die Formeln einzusetzenden Kennwerte, Faktoren und Wirkungsgrade sind aus den Unterlagen zum Energiepaß oder dem Projekt zu entnehmen. Die Numerierung der Gleichungen wurde vom Energiepaß übernommen.

Der erste Schritt beim Energiepaß ist die Ermittlung der <u>Nutzenergie</u>, die das Gebäude benötigt. Unter der Nutzenergie wird zum einen der Heizwärmebedarf des Gebäudes, auch Nutzenergiebedarf Raumwärme genannt, und zum anderen der Warmwasserbedarf der in dem Haus lebenden Personen, auch Nutzenergiebedarf Warmwasser genannt, verstanden.

Der zweite Schritt ist die Ermittlung des <u>Endenergiebedarfs</u> E für Raumheizung bzw. Warmwasser. Er berechnet sich aus dem jeweiligen Nutzenergiebedarf Q und dem Nutzungsgrad  $\eta_a$  des betreffenden Systems zur Wärmebereitstellung.

Im dritten Schritt wird die <u>Umweltwirkung</u> des Gebäudes zusammen mit der Anlagentechnik beurteilt. Dies geschieht mit Hilfe von Primärenergiekennwerten und der CO<sub>2</sub> –Emission pro m² Wohnfläche.

#### 4.1.2 Übersicht und Bewertung der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Berechnung nach dem Energiepaß Heizung / Warmwasser für die betrachteten Gebäude dargestellt.

Zur Übersicht werden die Ergebnisse der einzelnen bearbeiteten Baufelder und Liegenschaften aus den Berechnungen nach dem Energiepaß in Tabellenform dargestellt. Zusätzlich werden vergleichend zu den Ergebnissen die Anforderungen für den Niedrigenergiehaus-Standard nach dem Energiepass de Institutes für Wohnen und Umwelt aufgeführt.

			$\begin{array}{c} \text{Haus 10} \\ A_{EB} = 1510 \text{ m}^2 \end{array}$	Haus 11 $A_{EB} = 1021 \text{ m}^2$	Haus 12 $A_{EB} = 906 \text{ m}^2$	NEH-Standard		
Qualität Baukörper		kennwert Heizwärme n kWh/(m² a)	59,0	60,7	63,4	max. 55,0		
tem	Primärenergie Heizzahl tatsächlich		0,893	0,869	0,892	min 0,75		
tgring Bei Prir		irenergie Heizzahl närenergiefaktor 1,07 ür Gasheizung)*	0,635	0,621	0,642	min 0,75		
	Jährlicher Bedarf für Heizung in kWh/(m² a)		64,3	67,6	69,4	-		
iebedarf	Jährlicher Bedarf für Warmwasser in kWh/(m² a)				40,1	40,9	36,6	-
Endenergiebedarf		Bedarf für Heizung und vasser in kWh/(m² a)	104,4	108,4	106,0	-		
		Bedarf für Hilfsenergie Mix) in kWh/(m² a)	2,7	3,1	4,0	-		
	gie- in a)	Heizung/ Warmwasser	77,2	80,2	78,4	-		
gur	Primärenergie- Kennwert in kWh/(m² a)	Hilfsenergie	7,9	9,2	11,8	-		
Umweltwirkung	Prim Ker kW	Gesamt	85,1	89,5	90,2	-		
Jmwel	nt ? a)	Heizung/ Warmwasser	-2,9	-3,0	-3,0			
	CO <sub>2</sub> - Äquivalent n kg/(m² a)	Hilfsenergie	1,8	2,1	2,8	-		
	CO Äqu in k	Gesamt	-1,1	-0,9	-0,2	-		

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Berechnungen nach Energiepaß für Baufeld 1

			Gebäude 20/22	Gebäude 15/17/19 (21/23/25)	NEH-Standard		
	_		$A_{EB} = 1162 \text{ m}^2$	$A_{EB} = 1156 \text{ m}^2$			
Qualität Baukörper	Energiekennwert Heizwärme in kWh/(m² a)		48	48	max. 55,0		
tem	Primärenergie Heizzahl tatsächlich		0,809	0,779	min 0,75		
Qualität Heizungssystem	Primärenergie Heizzahl Bei Primärenergiefaktor 1,07 (Für Gasheizung)*		Bei Primärenergiefaktor 1,07		0,634	0,621	min 0,75
	Jährlicher Bedarf für Heizung in kWh/(m² a)				50,7	52	-
Endenergiebedarf		Bedarf für Warmwasser n kWh/(m² a)	38,7	39,4	-		
Endenerg	Jährlicher Bedarf für Heizung und Warmwasser in kWh/(m² a)		89,4	91,3	-		
		Bedarf für Hilfsenergie Mix) in kWh/(m² a)	2,1	2,1	-		
	rgie- t in	Heizung/ Warmwasser	73,3	74,9	-		
gun	Primärenergie- Kennwert in kWh/(m² a)	Hilfsenergie	6,8	6,9	-		
Umweltwirkung	Prin Ke kV	Gesamt	80,2	81,8	-		
Jmwe]	ent 2 a)	Heizung/ Warmwasser	-3,5	-3,6	-		
1	CO <sub>2</sub> - Äquivalent in kg/(m² a)	Hilfsenergie	1,4	1,4	-		
	CO Äqu in k	Gesamt	-2,1	-2,1	-		

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Berechnungen nach Energiepaß für Baufeld 2

			V-Typ	Stadtvilla	Gebäude 5/7	NEH-Standard
	_		$A_{EB} = 1140 \text{ m}^2$	$A_{EB} = 879,8$	$A_{EB}=1470\ m^{2}$	NEH-Standard
Qualität Baukörper		kennwert Heizwärme n kWh/(m² a)	50,1	52	56,6	max. 55,0
tem	Primā	irenergie Heizzahl tatsächlich	0,962	1,169	0,750	min 0,75
Qualität Heizungssystem	Primärenergie Heizzahl Bei Primärenergiefaktor 1,07  (Für Gasheizung)*					min 0,75
	Jährlicher Bedarf für Heizung in kWh/(m² a)		52,9	55,5	60,1	-
jebedarf		Bedarf für Warmwasser n kWh/(m² a)	30,9	32,3	31,5	-
Endenergiebedarf		Bedarf für Heizung und vasser in kWh/(m² a)	83,8	87,8	91,6	-
		Bedarf für Hilfsenergie Mix) in kWh/(m² a)	1,5	1,6	1,2	-
	gie- in a)	Heizung/ Warmwasser	65,4	56,9	56,8	-
gur	Primärenergie- Kennwert in kWh/(m² a)	Hilfsenergie	4,3	9	3,6	-
Umweltwirkung	Prin Ke kW	Gesamt	69,8	65,9	60,4	-
lmwel	nt 'a)	Heizung/ Warmwasser	-8,9	-2,2	-7,7	-
	$CO_{2}$ -Äquivalent in $kg/(m^2 a)$	Hilfsenergie	1,0	2,1	0,8	-
	CO Äqt in k	Gesamt	-7,9	-0,1	-6,9	-

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Berechnungen nach Energiepaß für Baufeld 3

Teilweise entspricht die Qualität des Baukörpers nicht den Anforderungen des Energiepasses an den Niedrigenergiehaus-Standard für ein Mehrfamilienhaus.

Die Anforderung an die Primärenergie Heizzahl wurden zwar erfüllt, aber nur, weil die Gebäude durch einen Nahwärmeanschluß mit Heizenergie versorgt werden. Dieser wird im Energiepaß sehr positiv bewertet (Primärenergiefaktor 0,74 bei 60% Kraft-Wärme-Kopplung bei der Wärmeerzeugung). Wären die Gebäude jeweils mit einem zentralen Gaskessel (Primärenergiefaktor bei diesem Energieträger 1,07)

ausgestattet, hätte kein Gebäude die Anforderungen an den Niedrigenergiehaus-Standard (Primärenergie Heizzahl ≥ 0,75)erfüllt.

#### 4.2 DIN V 4701, Teil 10

Die DIN V 4701 Teil 10 ist ein Verfahren, mit dem unterschiedliche Anlagensysteme auch in Kombination energetisch bewertet werden können. Diese Norm liefert die Berechnungsgrundlage für den Entwurf der Energieeinsparveordnung, voraussichtlich 2002 in Kraft treten wird. Die hier vorgestellte Norm bildet die Bewertung der Anlagentechnik und der Bestimmung der Anlagenaufwandzahl. Die Anlagenaufwandzahl beschreibt das Verhältnis der von der Anlagentechnik aufgenommenen Primärenergie in Relation zu der von ihr abgegebenen Nutzwärme. Die primärenergetisch bezogene Anlagenaufwandzahl dient dem Vergleich unterschiedlicher Anlagen hinsichtlich ihres Energieaufwands.

Die Qualität des Baukörpers wird in dieser Norm nicht bestimmt. Der spezifische Heizwärmebedarf und die Nutzfläche eines Gebäudes werden nach Anhang 1 der EnEV Heizperiodenbilanzverfahren DIN 4108-T6 oder nach Monatsbilanzverfahren ermittelt und dienen dann als Eingabewert für die DIN V 4701-T10. Die hier erwähnte Nutzfläche unterscheidet sich aber von der im Energiepaß benutzten Energiebezugsfläche. Die DIN 4701-10 bezieht sich, wie die WSVO'95, auf die aus dem Bruttovolumen des Gebäudes ermittelte Nutzfläche. Diese ist in der Regel größer als die im Energiepaß (nach der 2. Berechnungsverordnung oder für Nichtwohngebäude nach DIN 277) angesetzte Energiebezugsfläche. Dadurch ergeben sich scheinbar günstigere spezifische Energiekennwerte.

In dieser Norm wird die Qualität des Heizungssystems bewertet, aber anders als beim Energiepaß werden im Kurzverfahren dieser Norm keine tatsächlichen Speichergrößen, wie Rohrleitungslängen oder beim Energiepaß Entscheidend für die Berechnungen sind ausschließlich die Art der Anlagen und die Größe der Gebäudenutzfläche. Dadurch läßt sich dieses Verfahren schneller und ohne detaillierte Planungs- oder Ausführungsunterlagen umsetzen.

#### 4.2.1 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Die Anlagenbewertung nach DIN 4701-10 wird wie der Energiepaß mittels einer Tabellenkalkulation durchgeführt. Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsgänge (inklusive Beschreibung der verwendeten Formelzeichen), auf denen die Kalkulationstabellen aufgebaut sind, dargestellt.

Grundidee dieses Verfahrens ist, zunächst getrennt den Energiebedarf zur Deckung des Jahres-Heizwärmebedarfs und des Trinkwasser-Wärmebedarfs zu berechnen. Mit Hilfe der Aufwandszahlen $^1$  kann der Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_{PE}$  eines Gebäudes bestimmt werden.

$$Q_P = (Q_h + Q_{tw}) \cdot e_P$$
 [kWh/a] Gleichung 4-1

Q<sub>P</sub> – Jahres-Primärenergiebedarf

Q<sub>h</sub> – Jahres-Heizwärmebedarf

Q<sub>tw</sub> – Jahres-Trinkwasser-Wärmebedarf

e<sub>P</sub> – Anlagen-Aufwandzahl

Die Berechnung von Einzelverlusten bzw. der Aufwandszahlen läßt sich jeweils in fünf Verfahrensschritte (Bilanzbestandteile) aufteilen.

- 1. Wärmeübergabe (Index ce)
- 2. Wärmeverteilung (Index d)
- 3. Wärmespeicherung (Index s)
- 4. Wärmeerzeugung (Index g)
- 5. Primärenergie-Umwandlungsfaktor f<sub>P</sub>

Mit der DIN 4701-10 ist es möglich, eine Anlage (gilt für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser) zu beurteilen, die aus verschiedenen Heizsystemen (zum Beispiel einer Gasheizung und einer Wärmepumpe) zusammengestellt wird. Auch Anlagen für kontrollierte Wohnungslüftung können in diesem Verfahren berücksichtigt werden.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Anlagenkennzahlen sind dimensionslose Kennzahlen, die die Effizienz der jeweiligen Anlage beschreiben. Sie sind der Kehrwert eines Nutzungsgrades.

Wie beim Berechnungsverfahren des IWU wird auch die elektrische Hilfsenergie in die Bilanz mit einbezogen.

# Methodik zur Berechnung von Anlagen zur Deckung des Trinkwasser-Wärmebedarfs $\mathbf{Q}_{\mathsf{tw}}$ :

Die Verfahrensschritte zur Berechnung des Primärenergiebedarfs werden in folgenden Gleichungen zusammengefaßt, wobei der Index HE für Hilfsenergie und der Index i als Platzhalter für einen Pfad (Solaranlage, Grund- und Zusatzheizung) steht.

$$\textbf{q}_{\text{TW,P}} = \left(\textbf{q}_{\text{tw}} + \textbf{q}_{\text{TW,ce}} + \textbf{q}_{\text{TW,d}} + \textbf{q}_{\text{TW,s}}\right) \cdot \textbf{e}_{\text{TW,g,i}} \cdot \alpha_{\text{TW,g,i}} \cdot \textbf{f}_{\text{P}} \\ \left[kWh/(m^2~a)\right] \qquad \text{Gleichung 4-2}$$

$$q_{\mathsf{TW},\mathsf{HE},\mathsf{P}} = \left(q_{\mathsf{TW},\mathsf{ce},\mathsf{HE}} + q_{\mathsf{TW},\mathsf{d},\mathsf{HE}} + q_{\mathsf{TW},\mathsf{s},\mathsf{HE}} + \sum_{i} q_{\mathsf{TW},\mathsf{g},\mathsf{HE},i} \cdot \alpha_{\mathsf{TW},i}\right) \cdot f_{\mathsf{P}} \qquad [kWh/(m^2\ a)] \qquad \text{Gleichung 4-3}$$

q,TW,P – spezifischer, primärenergiebezogener Jahres Wärme-energiebedarf

q<sub>tw</sub> – spezifischer Jahres-Trinkwarmwasserwärmebedarf des Gebäudes.

Standardwert: 12,5 kWh/(m² a)

q<sub>TW,ce</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmeübergabe im Raum

q<sub>TW,d</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmeverteilung

q<sub>TW,s</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmespeicherung

e<sub>TW,g,i</sub> – Aufwandszahl der Wärmeerzeugung (Kehrwert des Wirkungsgrades)

α<sub>TW,g,i</sub> – Deckungsanteil des Wärmeerzeugers

f<sub>P</sub> - Primärenergiefaktor

q<sub>TW,HE,P,</sub> – spezifischer, primärenergiebezogener Hilfsenergiebedarf

q<sub>TW,ce,HE</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmeübergabe im Raum

q<sub>TW,d,HE</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmeverteilung

q<sub>TW,s,HE</sub> – spezifischer Aufwand für die Wärmespeicherung

q<sub>TW,q,HE,i</sub> – Aufwandszahl der Wärmeerzeugung (Kehrwert des Wirkungsgrades)

α<sub>TW,g,i</sub> – Deckungsanteil des Wärmeerzeugers

f<sub>P</sub> - Primärenergiefaktor

## Methodik der Berechnung von Heizungsanlagen zur Deckung des Jahres-Heizwärmebedarfs

Die Verfahrensschritte werden in folgenden Gleichungen zusammengefaßt, wobei der Index WE für Wärmeenergie, der Index P für Primärenergie, der Index HE für Hilfsenergie und der Index i als Platzhalter für einen Pfad bei multivalenten Wärmeerzeugersystemen steht.

$$q_{\text{H,WE,P}} = \left(q_{\text{h}} - q_{\text{H,TW}} - q_{\text{h,L}} + q_{\text{H,ce}} + q_{\text{H,d}} + q_{\text{H,s}}\right) \sum_{i} e_{\text{H,g,i}} \cdot \cdot \alpha_{\text{H,g,i}} \cdot f_{\text{P,i}} \qquad [kWh/(m^2~a)] \qquad \text{Gleichung 4-4}$$

$$q_{\text{H,HE,P}} = \left(q_{\text{H,ce,HE}} + q_{\text{H,d,HE}} + q_{\text{H,s,HE}} + \sum_{i} q_{\text{H,g,HE},i} \cdot \alpha_{\text{H,g},i}\right) \cdot f_{\text{P}} \qquad [kWh/(m^2 \ a)] \qquad \text{Gleichung 4-5}$$

- spezifischer, primärenergiebezogener Jahres-Wärmeenergiebedarf  $q_{H,W,P}$ 

- spezifischer Jahres-Heizwärmebedarf des Gebäudes  $q_h$ 

- Heizwärmegutschrift Trinkwarmwasser  $q_{H,TW}$ 

- spezifische Rückwärme für Wohnungslüftungsanlagen mit WRG  $q_{h,L}$ 

 spezifischer Aufwand für die Wärmeübergabe im Raum  $q_{H,ce}$ 

- spezifischer Aufwand für die Wärmeverteilung  $q_{H,d}$ 

 spezifischer Aufwand für die Wärmespeicherung  $q_{H,s}$ 

 Aufwandszahl der Wärmeerzeugung (Kehrwert des Wirkungsgrades)  $e_{H,g,i}$ 

 Deckungsanteil des Wärmeerzeugers  $\alpha_{H,g,i}$ 

- spezifischer, primärenergiebezogener Hilfsenergiebedarf QH,HE,P,

- spezifischer Aufwand für die Wärmeübergabe im Raum **Q**H,ce,HE

spezifischer Aufwand für die Wärmeverteilung  $q_{H,d,HE}$ 

- spezifischer Aufwand für die Wärmespeicherung **Q**H,s,HE

 Aufwandszahl der Wärmeerzeugung (Kehrwert des Wirkungsgrades)  $q_{H,g,HE,i}$ 

– Deckungsanteil des Wärmeerzeugers  $\alpha_{H,g,i}$ 

- Primärenergiefaktor  $f_{P}$ 

Zur Gesamtbewertung wird die Anlagen-Aufwandszahl e<sub>P</sub> ermittelt.

$$e_{PE} = \frac{Q_P}{Q_h + Q_{TW}}$$
 mit Gleichung 4-6

Diese Aufwandszahl e<sub>P</sub> stellt das Verhältnis vom erforderlichen Primärenergieaufwand zur nutzbaren Wärme (für Raumheizung und Warmwasser) dar. Die beim Energiepaß zu ermittelnde Primärenergie-Heizzahl stellt das umgekehrte Verhältnis dar!

#### 4.2.2 Übersicht und Bewertung der Ergebnisse nach DIN 4701-10

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Berechnung nach der DIN V 4701-10 (Kurzverfahren) für die betrachteten Baufelder dargestellt.

		Haus 10	Haus 11	Haus 12
		$A_N = 1667 \text{ m}^2$	$A_N = 1062 \text{ m}^2$	$A_N = 997 \text{ m}^2$
Qualität Baukörper	Heizwärmebedarf in kWh/(m²a)	41,4	44,7	42,5
Qualität Heizungssystem	Anlagenaufwandszahl e <sub>p</sub>	1,12	1,12	1,13
darf nergie	Jährlicher Bedarf für Heizung und Lüftung in kWh/(m²a)	46,98	51,23	48,49
Endenergiebedarf inklusive Hilfsenergie	Jährlicher Bedarf für Warmwasser in kWh/(m²a)	23,73	23,98	24,08
Ender	Gesamtbedarf in kWh/(m²a)	70,71	75,21	72,57
gie- rt ²a)	Heizung / Lüftung	42,46	45,54	43,64
Primärenergie- Kennwert in kWh/(m²a)	Warmwasser	17,99	18,29	18,36
Prin X in k	Gesamt	60,45	63,83	62,00

Tabelle 4-4: Ergebnisse der Berechnungen nach DIN 4701-10, Baufeld 1

		Haus 15/17/19	Haus 20/22
		$A_N = 1350 \text{ m}^2$	$A_N = 1294 \text{ m}^2$
Qualität Baukörper	Heizwärmebedarf in kWh/(m²a)	32,3	34,4
Qualität Heizungssystem	Anlagenaufwandszahl e <sub>p</sub>	1,04	1,03
darf nergie	Jährlicher Bedarf für Heizung und Lüftung in kWh/(m²a)	35,43	37,57
Endenergiebedarf nklusive Hilfsenergie	Jährlicher Bedarf für Warmwasser in kWh/(m²a)	23,63	23,68
Enden	Gesamtbedarf in kWh/(m²a)	59,05	61,25
gie- t ²a)	Heizung / Lüftung	28,67	30,17
Primärenergie- Kennwert in kWh/(m²a)	Warmwasser	17,96	18,00
Prin K in k	Gesamt	46,63	48,17

Tabelle 4-5: Ergebnisse der Berechnungen nach DIN 4701-10, Baufeld 2

		Stadtvilla	V - Typ	Ү - Тур
		$A_N = 943 \text{ m}^2$	$A_N = 1209 \text{ m}^2$	$A_N = 1596 \text{ m}^2$
Qualität Baukörper	Heizwärmebedarf in kWh/(m²a)	40,7	39,1	36,5
Qualität Heizungssystem	Anlagenaufwandszahl e <sub>p</sub>	1,00	1,00	1,01
darf iergie	Jährlicher Bedarf für Heizung und Lüftung in kWh/(m²a)	44,23	42,39	39,55
Endenergiebedarf nklusive Hilfsenergie	Jährlicher Bedarf für Warmwasser in kWh/(m²a)	24,18	23,78	23,74
Enden	Gesamtbedarf in kWh/(m²a)	68,42	66,18	63,29
gie- t ²a)	Heizung / Lüftung	34,94	33,56	31,51
Primärenergie- Kennwert in kWh/(m²a)	Warmwasser	18,45	18,09	18,00
Prin A ni	Gesamt	53,39	51,65	49,51

Tabelle 4-6: Ergebnisse der Berechnungen nach DIN 4701-10, Baufeld 3

Bei der Bewertung der Gebäude nach DIN 4701-10 ergeben sich nur geringe Unterschiede zwischen den Kennzahlen der einzelnen Häuser. Dies ist aber auch verständlich, da in den Gebäude annährend die gleichen Anlagen installiert sind. es werden bei allen Objekten sehr niedrige Anlagenaufandzahlen erreicht. Der Grund ist die Energieerzeugung über die Kraft-Wärme-Kopplung und den dadurch erreichten Primärenergiefaktor von 0,7.

Inwieweit die berechneten Bedarfswerte der verschiedenen Bilanzverfahren mit den tatsächlichen Energieverbrauchswerten übereinstimmen soll im folgenden Kapitel genauer betrachtet werden.

#### 4.3 Vergleich der Energiebilanzverfahren

Der Vergleich der beiden Energiebilanzverfahren beschränkt sich auf die Endenergiebedarfswerte und ihre Zusammensetzung für Heizung und Warmwasser.

#### 4.3.1 Vergleich bei gleicher Bezugsfläche

Die Ergebnisse der Tabelle 4-4, Tabelle 4-5, Tabelle 4-6 sind für einen Vergleich der beiden Bilanzierungsverfahren ungeeignet, da die DIN 4701-10 sich, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, auf eine andere Nutzfläche als der Energiepaß bezieht. Daher werden die nach der DIN 4701-10 ermittelten spezifischen Endenergiebedarfswerte mittels einer Flächenkorrektur auf die Flächen des Energiepasses bezogen.

Die Flächenkorrekturfaktoren für die Umrechnung der DIN 4701-10 Werte geben das Verhältnis der in den beiden Verfahren benutzten Bezugsflächen an. Beispiel

Faktor für Haus 
$$10 = \frac{A_N}{A_{EB}} = \frac{1667 \text{ m}^2}{1510 \text{ m}^2} = 1,104$$

		Endenergie-	Endenergie-	Flächen-	Endenergie-	Endenergie-
		bedarf	bedarf	korrektur-	bedarf	bedarf
	Gebäude	WW	Heizung	faktor	WW	Heizung
		bezogen auf A <sub>N</sub>	bezogen auf A <sub>N</sub>		bezogen auf A <sub>EB</sub>	bezogen auf A <sub>EB</sub>
		in kWh/(m²a)	in kWh/(m²a)		in kWh/(m²a)	in kWh/(m²a)
	10	23,13	42,82	1,104	25,5	47,2
	11	26,14	47,03	1,041	24,28	48,9
	12	23,44	44,26	1,101	25,79	48,74
4701	15/17/19	23,10	35,89	1,168	26,98	41,90
DIN 4701	20/22	23,06	38,12	1,114	25,69	42,45
	Stadtvilla	23,53	43,50	1,072	25,22	46,62
	V-Typ	23,15	40,70	1,061	24,56	43,19
	Y-Typ	23,14	37,89	1,086	25,13	41,15
	10	-	-	-	40,1	64,3
	11	-	-	-	40,9	67,6
	12	-	-	-	36,6	69,4
Energiepaß	17/19/20	-	-	-	39,4	52
nerg	20/22	-	-	-	38,7	50,2
I	Stadtvilla	-	-	-	32,3	55,5
	1V-Typ	-	-	-	30,9	52,9
	Y-Typ	-	-	-	31,5	60,1

Tabelle 4-7: Auf gleiche Flächen bezogene Endenergiebedarfswerte aller untersuchter Baufelder

Wie aus der Tabelle 4-2 hervorgeht, sind die spezifischen Bedarfswerte des Energiepasses für die Trinkwarmwasserbereitung sowie für die Raumheizung höher als beim Kurzverfahren nach DIN V 4701-10. Die Unterschiede sind im wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- der Energiepass geht von einem höherem Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung aus.
- der für die Berechnung des Heizwärmebedarfes zugrundegelegte Gradtagzahlfaktor nach EnEV ist kleiner als im Ansatz nach Energiepass.

## 5 Ermittlung und Auswertung von Energieverbrauchswerten

Um einen Vergleich der verschiedenen Bilanzverfahren mit den tatsächlichen Energiebedarf der Gebäude durchführen zu können, wurden die Energieverbrauchswerte der Heizperiode des Jahres 2000 herangezogen. Für die Bilanzierung wurde der Energieverbrauch am Hauptzähler der Stadtwerke in der jeweiligen Übergabestation ausgewertet.

Gebäude	Haus 10	Haus 11	Haus 12	Haus 15/17/19	Haus 20/22	Haus 21/23/25
Abrechnungs-	01.01.00-	01.01.00-	01.01.00-	15.10.99-	15.10.99-	15.10.99-
zeitraum	01.01.01	01.01.01	01.01.01	16.10.00	16.10.00	16.10.00
Energieverbrauch	127.862	83.001	83.070	110.122	96.876	102.502
in kWh/a	127.002	03.001	03.070	110.122	30.070	102.502
Energieverbrauch						
bezogen auf A <sub>EB</sub>	84,67	81,29	91,69	95,26	83,37	88,67
in kWh/m²a						
Energieverbrauch						
bezogen auf A <sub>N</sub>	76,70	78,16	83,32	81,57	74,87	75,93
in kWh/m²a						

Tabelle 5-1: Endenergieverbrauch für Raumwärme und Trinkwarmwasser

## 5.1 Bereinigung der Energieverbräuche

Um die Bedarfswerte aus den Bilanzverfahren der DIN 4701, T10 mit den Verbrauchswerten vergleichen zu können, muß der Witterungseinfluß in der betrachteten Heizperiode auf den Wärmeverbrauch für Raumheizung berücksichtigt werden. Um eine Heizgradtagbereinigung durchführen zu können, müssen die Verbrauchswerte für die Raumheizung vorliegen. Da die von den Stadtwerken gelieferten Verbrauchsdaten jedoch den Gesamtenergieverbrauch für

Trinkwarmwasser und Raumheizung beinhalten, muss zuerst die Energiemenge zur Trinkwarmwasserbereitung aus dem Warmwasserverbrauch errechnet werden. Die einzelnen Schritte zur Ermittlung des Energieverbrauchs Trinkwarmwasser werden in diesem Kapitel für ein Gebäude beispielhaft durchgeführt.

# 5.1.1 Berechnung des Anteils zur Trinkwarmwasserbereitung am Gesamtenergieverbrauch

Da die Verbrauchsdaten für die betrachteten Baufelder in unterschiedlicher Form vorlagen, wird die Berechnung des Warmwasseranteils an der Gesamtwärmemenge mit zwei verschieden Methoden durchgeführt.

1. Für das Baufeld 1 standen für die Verbrauchsauswertung lediglich die monatlichen Verbrauchswerte am Wärmemengenzähler der Stadtwerke zur Verfügung. Der Warmwasserverbrauch der Wohnungen konnte nicht ermittelt werden, da die Abrechnung über den Bauträger zum Zeitpunkt dieser Auswertung noch nicht zur Verfügung stand. Aus den Temperaturaufzeichnungen für das Abrechnungsjahr konnte ermittelt werden, dass über die Monate Juni, Juli und August 2000 bezogen auf eine Heizgrenze von 12 °C lediglich 0,3 Heiztage gemessen wurden. Es kann also annähend davon ausgegangen werden, dass der Wärmeverbrauch in diesen Monaten ausschließlich auf die Warmwasserbereitung plus zusätzlichen Verlusten der Heizwärmeverteilung zurückzuführen ist.

Gebäude	Haus 10	Haus 11	Haus 12
Endenergieverbrauch Trinkwarmwasser In kWh/a	63.912	38.052	42.542
Endenergieverbrauch bezogen auf A <sub>N</sub> In kWh/(m²a)	38,34	35,83	42,69
Endenergieverbrauch bezogen auf A <sub>EB</sub> In kWh/(m²a)	42,33	37,27	46,98

Tabelle 5-2: Endenergieverbrauch Trinkwarmwasser Baufeld 1(aus Verbrauch 06.2000-08.2000)

2. Für die Liegenschaften im Baufeld 2 lag der Wärmeverbrauch am Wärmemengenzähler der Stadtwerke lediglich als Jahresverbrauch vor. Eine Ermittlung der Energiemenge für die Trinkwarmwasserbereitung wie unter 1 deshalb nicht Bilanz war möglich. Die wurde nach folgendem Berechnungsschema durchgeführt.

#### Warmwassernutzenergie

Aus der Abrechnung der Stadtwerke ergibt sich für Gebäude 15/17/19 ein Warmwasserverbrauch von 389,4 m³. Unter Berücksichtigung einer Temperaturerhöhung von 40K (10°C auf 50°C) entspricht dies einem Warmwassernutzen von:

$$Q_w = 18093 \frac{kWh}{a}$$

#### Verluste und Jahresenergie der Warmwasserbereitung

Die Verluste der Warmwasserverteilung wurden mit Hilfe des ausführlichen Berechnungsverfahrens der DIN V 4701-10 berechnet. Die Länge der Rohrleitungen für die Warmwasserverteilung wurden mit Hilfe der Ausführungspläne ermittelt. Die Randbedingungen für die Berechnung der Verluste der Warmwasserverteilung sind in Tabelle 5-3gegeben.

Bereich V	U=0,2W/mK; t=8760h/a
(unbeheizt)	L=104m; $\vartheta_i$ =50°C; $\vartheta_U$ =13°C; z=0,84 und
	L=52m; $\vartheta_i$ =32°C; $\vartheta_U$ =13°C; z=0,16
Bereich S	U=0,2W/mK; t=8760h/a
(beheizt)	L=84m; $\vartheta_i$ =50°C; $\vartheta_U$ =20,3°C; z=0,84 und
	L=42m; $\vartheta_i$ =32°C; $\vartheta_U$ =20,3°C; z=0,16
Bereich SL	U=0,2W/mK; t=8760h/a
(beheizt)	L=186m; ϑ <sub>i</sub> =32°C; ϑ <sub>U</sub> =20,9°C; z=1,0

Tabelle 5-3: Randbedingungen für die Warmwasserverteilung (für 1999/2000 nach Gesamtbilanz)

Damit betragen die Gesamtverluste der Warmwasserverteilleitungen:

$$Q_{d,W,Q} = 13711 \frac{kWh}{a}.$$

Der Wärmeverlust eines außerhalb der thermischen Hülle aufgestellten Warmwasserspeichers mit 750 I Fassungsvermögen wird analog zur DIN V 4701-10 ermittelt:

$$Q_{s,W,Q} = 1162 \frac{kWh}{a}.$$

Die Nahwärmeübergabestation ist alleiniger Wärmeerzeuger für die Warmwasserbereitung:

$$\alpha_{\rm g} = 1.0.$$

Die Aufwandszahl zu Berücksichtigung der Übergabeverluste wird in Anlehnung an DIN 4701 T10 bestimmt.

Damit ist die mittlere jährliche Aufwandszahl

$$e_{g,W} = 1,05$$

Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung für die Abrechnungsperiode 1999/2000 beträgt:

$$\begin{split} Q_{W,Q} &= (Q_w + Q_{d,W,Q} + Q_{s,W,Q}) \cdot \sum_i (e_{g,i} \cdot \alpha_{g,i}) \\ &= (18093 + 13711 + 1162) \cdot (1,04 \cdot 1) \frac{kWh}{a} \\ &= 33012 \frac{kWh}{a} \end{split}$$

Gebäude	Endenergie Trinkwarmwasser	Endenergieverbrauch	Endenergieverbrauch
	kWh/a	bezogen auf A <sub>N</sub>	bezogen auf A <sub>EB</sub>
		kWh(m²a)	kWh(m²a)
Haus 15/17/19	33082	24,5	28,6
Haus 21/23/25	25901	19,2	22,4
Haus 20/22	42052	32,5	36,2

Tabelle 5-4: Endenergieverbrauch Trinkwarmwasser Baufeld 2

Wie aus Tabelle 5-2 und Tabelle 5-4 hervorgeht, ist der Trinkwarmwasserverbrauch sehr stark Nutzerabhängig. Auffällig ist, dass der aus dem Sommerverbrauch berechnete Warmwasseranteil fast doppelt so hoch ist wie der Anteil in den Liegenschaften bei denen der WW-Anteil aus dem Warmwasservolumen berechnet wurde. Es wird vermutet das durch fehlerhafte Reglereinstellung (zu hohe Heizkurve und fehlende Sommer-Winter-Umschaltung) auch während der Sommermonate erhebliche Verluste durch die Verteilung für Raumheizung entstehen. Um die Energieanteile für die Trinkwassererwärmung genauer erfassen zu können, werden zur nächsten Heizperiode in den betrachteten Liegenschaften zusätzliche Wärmemengenzähler in den Warmwasserkreis der Wärmeübergabestationen eingebaut, um so eine genauere Analyse der Energieströme zur Heizwärme- und Trinkwarmwasserbereitung zu ermöglichen.

Gebäude	Enden	Endenergiebedarf Raumwärme		Endenergiebedarf Warmwasser		
		A <sub>N</sub>	A <sub>EB</sub>		A <sub>N</sub>	A <sub>EB</sub>
	kWh	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh	kWh(m²a)	kWh(m²a)
Haus 10	63950	38,36	42,34	63912	38,34	42,33
Haus 11	44949	42,33	44,02	38052	35,83	37,27
Haus 12	40529	40,65	44,71	42542	42,69	46,98
Haus 15/17/19	77040	57,06	66,64	33082	24,50	28,60
Haus 21/23/25	70975	56,74	66,26	25901	19,20	22,4
Haus 20/22	60450	42,37	47,18	42052	32,50	36,2

Tabelle 5-5: Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf Raumheizung und Trinkwarmwasser

## 5.2 Vergleich der Energieverbrauchswerte mit Energiebilanzverfahren

#### 5.2.1 Bereinigter Energieverbrauch nach VDI 3807 Blatt 1

Der Energieverbrauch für die Gebäudebeheizung ist von verschiedenen Einflußgrößen abhängig. Einen wesentlichen Einfluß hat die Witterung. In vergleichsweise milden Jahren (wie 2000) liegt auch ein geringerer Energieverbrauch vor. Um eine Aussage über einen über mehrere Jahre durchschnittlichen Verbrauch treffen zu können, ist eine Korrektur mit für diesen Standort typischen Klimadaten nötig. Bei dieser Bereinigung des Heizenergieverbrauchs wird der Witterungseinfluss über die Heizgradtage erfasst. Abweichend zur VDI 3807 Blatt 1 [10 VDI 3807] wird die Heizgrenztemperatur nicht bei 15°C sondern bei 12°C mit einer Raumtemperatur von 20°C angesetzt.

$$E_{v} = E_{vg} \cdot \frac{G_{12m}}{G_{12}}$$
 [kWh/(m² a)] Gleichung 5-1

E<sub>V</sub> – bereinigter Endenergieverbrauch

E<sub>Vq</sub> – gemessener Endenergieverbrauch für Heizen

G<sub>12</sub> – Heizgradtage bei Heizgrenztemperatur 12°C

G<sub>12m</sub> – mittlere Heizgradtage bei Heizgrenztemperatur 12°C

Zur Berücksichtigung der inneren und solaren Wärmegewinne ist in der VDI 3807 vorgeschrieben, die Bereinigung des Heizenergie<u>verbrauchs</u> nicht mit der sonst üblichen Gradtagszahl<sup>14</sup> G<sub>t</sub>, sondern mit den Heizgradtagen G<sub>12</sub> durchzuführen. Bei der Auswertung von Wetterdaten wird meistens die Gradtagszahl angegeben, aus der sich dann, bei bekannter Anzahl der Heiztage<sup>15</sup>, die Heizgradtage berechnen lassen.

 $G_{12} = G_{112} - (20 - 12)K \cdot z$  [K d/ Zeitraum] Gleichung 6.2

<sup>14</sup> Die Gradtagzahl ist die Summe der Differenzen der mittleren Raumtemperaturen (20°C) und den Tagesmitteln der Außentemperaturen über der Anzahl der Heiztage des betrachteten Zeitraums (üblicherweise ein Jahr)

<sup>15</sup> Ein Heiztag ist ein Tag, an dem das Tagesmittel der Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt.

65

- Gradtagszahl in (K d/Zeitraum) bei 12°C Heizgrenztemperatur

Z Anzahl der Heiztage in (d/Zeitraum)

	Gradtagzahl G <sub>t12</sub>	Heiztage	Heizgradtage G <sub>12</sub>
	Kd/a	Kd/a	Kd/a
Energiepaß	3500	225	1700
Kronsbergstandard	3618	229	1785
Zeitraum 01.01.00-01.01.01	2774	197	1198
Zeitraum 15.10.99-16.10.00	2929	199	1337

Tabelle 5-6: Heizgradtage

## 5.2.2 Bereinigung der Energieverbrauchsdaten auf Kronsbergstandard, und **Energiepa**ß

Mit der oben beschriebenen Methode zur Bereinigung der Energieverbräuche ergeben sich für das Standardjahr folgende Verbrauchswerte

Gebäude	Gemessener Energieverbrauch			Bereinigter Energieverbrauch		
	WW	Heizung	Gesamt	WW	Heizung	Gesamt
	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)
Haus 10	42,33	42,34	84,67	42,33	63,05	105,38
Haus 11	37,27	44,02	81,29	37,27	65,59	102,86
Haus 12	46,98	44,71	91,69	46,98	66,61	113,59
Haus 15/17/19	28,60	66,64	95,24	28,60	88,97	117,59
Haus 21/23/25	22,4	66,26	88,67	22,4	88,46	110,87
Haus 20/22	36,2	47,18	83,37	36,2	62,99	99,18

Tabelle 5-7: Auf Kronsbergstandard bereinigter Energieverbrauch

Gebäude	Gemessener Energieverbrauch			Bereinigter Energieverbrauch		
	WW	Heizung	Gesamt	WW	Heizung	Gesamt
	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)
Haus 10	42,33	42,34	84,67	42,33	60,08	102,4
Haus 11	37,27	44,02	81,29	37,27	62,46	99,73
Haus 12	46,98	44,71	91,69	46,98	63,44	110,42
Haus 15/17/19	28,60	66,64	95,24	28,60	84,63	113,20
Haus 21/23/25	22,4	66,26	88,67	22,4	84,22	106,63
Haus 20/22	36,2	47,18	83,37	36,2	59,97	96,16

Tabelle 5-8: Auf Energiepass bereinigter Energieverbrauch (bezogen auf A<sub>EB</sub>)

#### 5.2.3 Bereinigung der Energieverbräuche auf DIN V 4701 10

Bei der Bereinigung der Energieverbräuche zum Vergleich mit dem Bilanzverfahren der DIN V 4701-10 müssen andere Randbedingungen als bei der Berechnung nach Energiepass oder Kronsbergberechnungsverfahren berücksichtigt werden. Da die DIN V 4701-10 von einer Heizgrenze von 10 °C und einer Rauminnentemperatur von 19 °C ausgeht, ergeben sich eine kleinere Heizgradtagzahl und eine kürzere Heizperiode als bei den oben genannten Verfahren. Folgende Randbedingungen wurden für die Verbrauchsbereinigung zugrunde gelegt.

	Gradtagzahl G <sub>t10</sub>	Heiztage	Heizgradtage G <sub>10</sub>
	Kd/a	Kd/a	Kd/a
DIN 4701-10	2900	185	1235
Zeitraum 01.01.00-01.01.01	2326,5	166	832,5
Zeitraum 15.10.99-16.10.00	2526,6	174	960,6

Tabelle 5-9: Heizgradtage G<sub>10</sub>

Für einen realistischen Vergleich wurden auch die bereinigten Verbräuche nach DIN 4701, Teil 10 auf die Energiebezugsfläche AEB bezogen.

Gebäude	Gemessener Energieverbrauch			Bereinigter Energieverbrauch			
	WW	Heizung	Gesamt	WW	Heizung	Gesamt	
	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	kWh(m²a)	
Haus 10	42,33	42,34	84,67	42,33	62,81	105,14	
Haus 11	37,27	44,02	81,29	37,27	65,30	102,57	
Haus 12	46,98	44,71	91,69	46,98	66,33	113,31	
Haus 15/17/19	28,60	66,64	95,24	28,60	85,67	114,27	
Haus 21/23/25	22,4	66,26	88,67	22,4	85,15	107,55	
Haus 20/22	36,2	47,18	83,37	36,2	60,63	96,82	

Tabelle 5-10: Auf DIN V 4701-10 bereinigter Energieverbrauch (bezogen auf  $A_{\text{EB}}$ )

# 5.2.4 Gegenüberstellung der bereinigten Endenergiebedarfswerte und der Bilanzverfahren

	Endenergie nach DIN V 4701-10						
	Bereinigter Verbrauch			Bedarf			
	kWh(m²a)			kWh(m²a)			
	Warmwasser	Heizung	Gesamt	Warmwasser	Heizung	Gesamt	
Haus 10	42,33	62,81	105,14	25,50	47,27	72,81	
Haus 11	37,27	65,30	102,57	24,28	48,92	73,20	
Haus 12	46,98	66,33	113,31	25,79	48,72	74,51	
Haus 15/17/19	28,60	85,67	114,27	26,98	41,91	68,89	
Haus 21/23/25	22,4	85,15	107,55	26,98	41,91	68,89	
Haus 20/22	36,2	60,63	96,82	25,69	42,45	68,13	

Tabelle 5-11: Verbrauchs- und Bedarfswerte bezogen auf DIN V 4701-10 und AEB

	Endenergie nach Energiepass des IWU						
	Bereinigter Verbrauch			Bedarf			
	kWh(m²a)			kWh(m²a)			
	Warmwasser	Heizung	Gesamt	Warmwasser	Heizung	Gesamt	
Haus 10	42,33	62,81	105,14	40,1	64,3	104,4	
Haus 11	37,27	65,30	102,57	40,9	67,6	108,5	
Haus 12	46,98	66,33	113,31	36,6	69,4	106	
Haus 15/17/19	28,60	85,67	114,27	39,4	52	91,4	
Haus 21/23/25	22,4	85,15	107,55	39,4	52	91,4	
Haus 20/22	36,2	60,63	96,82	38,7	50,7	89,4	

Tabelle 5-12: Verbrauchs- und Bedarfswerte bezogen auf Energiepass des IWU und AEB

Wie aus den Tabellen Tabelle 5-11 und Tabelle 5-12 hervorgeht, sind die Bedarfswerte der DIN 4701 erheblich kleiner als die sich tatsächlich einstellenden bereinigten Energieverbräuche. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verluste der Anlagentechnik und insbesondere die Verluste des Verteilnetzes, im Kurzverfahren der DIN V 4701-10 sehr "optimistisch" abgeschätzt werden.

Die Bedarfswerte des Energiepasses bieten teilweise gute Übereinstimmung mit den bereinigten Verbrauchswerten. Leider bleibt bei der Aufteilung der Verbrauchswerte und Raumheizung eine Warmwasserbereitung Unsicherheit, Wärmemengen nicht einzeln erfasst werden können. Um die Energieströme für Raumheizung und Trinkwarmwasser genauer analysieren zu können, werden in Folgeprojekt einige Wärmeübergabestationen mit einem zusätzlichen Wärmemengenzählern für die Trinkwarmwasserbereitung ausgestattet. Ergebnisse dieser Untersuchungen können jedoch erst nach Ablauf der Heizperiode 2001/2002 ausgewertet werden.

## 6 Auswirkungen der erhöhten Verteilverluste auf die Heizkostenabrechnung

Auf der Grundlage der von den Stadtwerken Hannover durchgeführten Abrechnung wurde für 6 Wohnblocks die Heizkostenabrechnung des Jahres 2000 untersucht und analysiert. Die Auswertung ergab, dass in den 6 untersuchten Liegenschaften 46 und 77 % der Raumwärme als geregelte und mit der zwischen Heizkostenerfassung erfassbare Wärme abgegeben wird. Dieser Sachverhalt eines hohen Anteils der ungeregelten Wärmeabgabe führt im Zusammenspiel mit anderen Einflussfaktoren wie der Lage der Wohnung zu einer ungerechten Heizkostenabrechnung. Wird weiterhin berücksichtigt, das s zwischen 17 % und 26 % der über die Heizkostenverteiler abgerechneten Kosten durch die Miete der Wärmeerfassungsgeräte selbst verursacht werden, muss die Heizkostenerfassung gemäß derzeit gültiger Verordnungslage grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Eine weiteres Problem liegt in der gerechten Kalkulation von Wärmepreisen für NEH-Gebäude theoretischer ferwärmeversorgte auf Basis bzw. realer Verbrauchswerte

#### Beispiel:

einem Wärmepreis von 100 DM/MWh und einem der zugrundeliegendem Verbrauchswert von 60 kWh/(m²a) für Raumheizung ergibt sich eine Aufteilung in 25 DM/MWh verbrauchsabhängige und 75 DM/MWh kapitalgebundene Kosten. Tritt nun, wie in realisierten Projekten geschehen, ein deutlicher Mehrverbrauch von beispielsweise 40 % auf und müssen keine anlagentechnischen oder sonstigen Neuinvestitionen getätigt werden, dann wird der nicht die veränderten Wärmepreis üblicherweise an tatsächlichen Kalkulationsparameter angepasst. Die Mieter zahlen dann einen zu hohen Preis für die Verbrauchte kWh und das Energieversorgungsunternehmen erzielt ursprünglich nicht geplante Zusatzgewinne. Die folgende Vergleichsrechnung verdeutlicht die Kostenproblematik aus Mietersicht:

theoretisch: 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) \* 120 m<sup>2</sup> \* 0,1 DM/m<sup>2</sup> 720 DM/a tatsächlich 1,4 \* 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) \* 120 m<sup>2</sup> \* 0,1 DM/m<sup>2</sup> 1008 DM/a

Bei Anwendung einer Gleitformel:

(1,4 \* 0,025 DM/kWh +0,075 DM/kWh)/1,4 =0.079 DM/kWh ergibt sich eine Belastung von:

> 1,4 \* 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) \* 120 m<sup>2</sup> \*0,079 DM 796 DM/a

Die Aufnahme einer Preisgleitklausel in das Vertragswerk mit dem Versorger könnte hier mehr Gerechtigkeit und Akzeptanz bewirken.

#### 7 Fazit

Als Fazit kann festgehalten werden, dass der angestrebte Niedrigenergiehaus-Standard bei den untersuchten Gebäuden nicht erreicht werden konnte. Nach Meinung der Autoren ist dieses nicht auf eine einzelne Ursache sondern auf das Zusammenspiel mehrerer Faktoren zurückzuführen . Im einzelnen sind dieses:

#### 7.1 Verteilverluste und ungeregelte Wärmeabgabe

Die Wärmeverteilung der untersuchten Systeme erfolgt über eine horizontale Kellerverteilung und über eine wohnungsweise Verteilung im Estrichfußboden der einzelnen Wohnungen. Bei dieser heute üblichen Verteilungsart wurden in den untersuchten Objekten Rohrleitungslängen von ca. 1,3 m Rohrlänge pro m² (A<sub>EB</sub>) Wohnfläche gemessen. Diese Rohrleitungslängen würden sich bei optimierter Verlegeweise um ca. 40 % reduzieren. Die Wärmeabgabe der Rohrleitungen im Fußbodenaufbau der Wohnungen wird in den gängigen Bilanzverfahren zum großem Teil als Wärmegewinn für die Raumheizung angenommen. Nach Meinung der Autoren kann dieses Energiepotential aber zum überwiegenden Teil nicht genutzt werden, da es weitgehend nicht beeinflusst werden kann und somit ungeregelt abgegeben wird. Die dadurch entstehende erhöhte Raumtemperatur kann vom Nutzer lediglich durch vermehrtes Öffnen der Fenster reguliert werden.

#### 7.2 Falsche Reglereinstellung

Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, wurden die Regler in den Übergabestationen teilweise nicht den Vorgaben der Planung entsprechend eingestellt. So führen die durch falsche Heizkurveneinstellung verursachten Verluste zu einer Erhöhung der ungereglten Wärmeabgabe des Verteilnetzes und der Heizflächen. Überhöhte Vorlauftemperaturen führen weiterhin zu einer wesentlichen Verschlechterung des Regelverhaltens der Thermostatventile und damit verbunden zu überhöhten Raumtemperaturen.

Heizgrenztemperaturen Zu hohe am Regler eingestellte einigen Übergabestationen war eine Heizgrenztemperatur von 25 °C eingestellt) führen zu einer ganzjährigen Heizbereitschaft mit erheblichen Anlagenverlusten und einem dauernden "Verschwendungspotential" der Heizung.

## 7.3 Fehlender Hydraulischer Abgleich

Durch einen fehlenden Hydraulischen Abgleich des Rohrnetzes wird das Regelverhalten der Heizungsanlage verschlechtert. Dem Nutzern wird teilweise ein erhöhtes Wärmeangebot zur Verfügung gestellt, während es in anderen Gebäudebereichen zur Unterversorgung mit Raumwärme kommen kann. Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, ist es mit den marktüblichen Thermostatventilen sehr schwierig, die Heizungsanlage so auszulegen, dass sich eine gute Regelgüte (ausreichend große Ventilautorität) einstellt.

#### 7.4 Erhöhter Luftwechsel

Im Kronsbergberechnungsverfahren wird von einem Luftwechsel von 0,3 h<sup>-1</sup> ausgegangen. Dieser Luftwechsel ist nach Meinung der Autoren viel zu klein angenommen. Eine detaillierte Untersuchung zur Bestimmung des Luftwechsels an einem Objekt am Kronsberg (wird diesem Bericht als Anhang beigefügt) ergab einen tatsächlichen Luftwechsel von 0,49 h<sup>-1</sup>. Andere Untersuchungen gehen sogar von Luftwechselraten von 0,6 h<sup>-1</sup>-0,8 h<sup>-1</sup> aus. Durch die Erhöhung des Luftwechsels um 0,1 h<sup>-1</sup> wird ein zusätzlicher Energieverbrauch von ca. 7 kWh/(m²a) verursacht.

#### 8 Ausblick

Nur durch eine zukünftig erweiterte Qualitätssicherung der Heiz- und Lüftungsanlagentechnik und durch ergänzende Schulungen des ausführenden Handwerks können die Anforderungen eines lüftungstechnischen als auch eines heiztechnischen Konzepts sichergestellt werden.

Ein nachträgliches "Ausbessern" bei nicht ordnungsgemäß geplanten und/oder ausgeführten und/oder einregulierten Anlagen ist durch Schulungen nicht möglich! Hier kann, wenn überhaupt, nur eine aufwendige Einzelfalllösung ggf. Abhilfe schaffen. Ausschlaggebend ist die Beantwortung der Frage: "Wurde eine Planung und Ausführung mit Dokumentation der Plandaten realisiert?" Eine z.T. schon in einigen Bundesländern eingeführte Fachunternehmererklärung würde den Prozess der Qualitätssicherung wesentlich unterstützen.

Maßnahmen der Qualitätssicherung können nur bei nachvollziehbar geplanten und ausgeführten Anlagen sinnvoll greifen. Mindestens die "üblichen" Planberechnungen

(Wärmebedarfsberechnung, Heizkörperauslegung, Rohrnetzberechnung mit Plandaten für den hydraulischen Abgleich) müssten vorliegen! Einer Qualifizierung müsste einer Qualitätssicherung vorausgehen.

## 9 Quellenangabe:

- 1. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV)-Referentenentwurf Stand 29.11.2000
- 2. DIN V-4701-10 Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- 3. DIN V-4108-6 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresenergiebedarfs
- 4. Institut für Wohnen und Umwelt: Energiepass Heizung/Warmwasser, Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem
- 5. Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 2000, R. Oldenbourg Verlag, München
- 6. Bauen Am Kronsberg, Hinweise zur Realisierung des Niedrigenergie-Standards, Heiztechnisches Konzept, Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz
- 7. Bauen Am Kronsberg, Hinweise zur Realisierung des Niedrigenergie-Standards, Lüftungskonzept, Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz