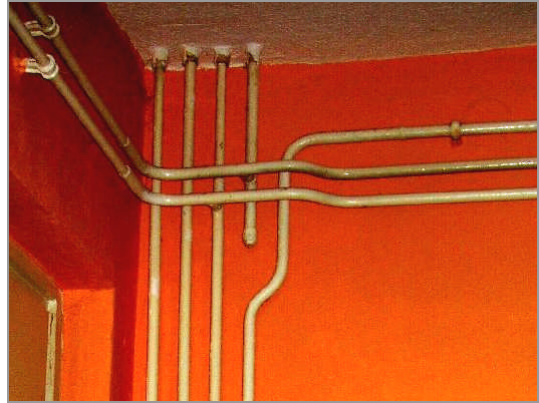


Projektbericht



Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern. Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen

Verteilnetze bei der Modernisierung

Das Projekt wurde gefördert durch



Der Bericht wurde erstellt von /
Das Projekt wurde bearbeitet von:

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Gunnar Eikenloff
Kati Jagnow
Dedo von Krosigk
Jan-Peter Niemann
Stefan Mewes
Kerstin Wähning
Dieter Wolff

Impressum:

Wolff, D., von Krosigk, D. et al; Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern. Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen; Projekt im Auftrag des proKlima enercity-Fonds; Hannover/Braunschweig/Wolfenbüttel, 2012.

Förderung:

proKlima - Der enercity-Fonds
Glockseestraße 33
30169 Hannover
proklima@enercity.de
www.proklima-hannover.de

Bearbeitung:

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Campus Wolfenbüttel
Fakultät Versorgungstechnik
Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel
d.wolff@ostfalia.de
www.ostfalia.de

e4-Consult
Walderseestraße 7
30163 Hannover
post@e4consult.de
www.e4consult.de

Ingenieurbüro für Energieberatung
Albertstraße 3
38124 Braunschweig
info@delta-q.de
www.delta-q.de

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Aufgaben- und Problemstellung	10
2.1	Ziele der Untersuchung.....	10
2.2	Definition der Problemfelder.....	10
2.3	Vorgehensweise.....	12
2.4	Verwendete Praxisprojekte.....	12
3	Systemvergleich	15
3.1	Definitionen.....	15
3.2	Versorgungssysteme und Verteilernetztypen.....	16
3.2.1	Heizung.....	17
3.2.2	Trinkwarmwasserversorgung.....	21
3.2.3	Kombinierte Netze.....	23
3.2.4	Sonderbauformen.....	25
3.2.5	Häufigkeit des Vorkommens von Versorgungs- und Netztypen.....	25
3.3	Energetische Betrachtungen	26
3.3.1	Verteilverluste Heizung.....	26
3.3.2	Verteilverluste Trinkwarmwasser.....	30
3.3.3	Speicherverluste.....	34
3.3.4	Erzeugereffizienz und Gesamtvergleiche.....	35
3.3.5	Nutzereinflüsse.....	36
3.4	Investitions-, Modernisierungs- und Wartungskosten	37
3.4.1	Kosten der Modernisierung.....	37
3.4.2	Kosten der Energieträger- und Systemveränderung.....	38
3.4.3	Laufende Kosten für Wartung und Unterhaltung.....	39
3.5	Heizkostenabrechnung	39
3.6	Sonstige Merkmale	41
3.7	Vor- und Nachteile der Systeme im Vergleich	43
4	Energetische Bewertung von Netzen	46
4.1	Verteilverluste in Regelwerken	46
4.1.1	Bewertung nach DIN V 4701-10.....	46
4.1.2	Bewertung nach DIN V 18599.....	48
4.1.3	Richtlinien und andere Regelwerke.....	50
4.1.4	Ingenieurmäßige Bewertung.....	52
4.2	Abschätzung von Leitungslängen	52
4.2.1	Bewertung nach DIN V 4701-10.....	52
4.2.2	LEG bzw. IWU.....	53
4.2.3	Studie des BBSR für DIN V 18599.....	54
4.2.4	Ingenieurmäßige Herangehensweise.....	57
4.3	Messungen zu Verteilverlusten	57
4.3.1	Jahresmessungen.....	57
4.3.2	Erweiterte Analyse mit der E-A-V.....	62
4.3.3	Theoretische Betrachtungen mit dem Hilfsmittel E-A-V.....	63

5	Erkenntnisse aus Praxisprojekten	67
5.1	Konventionelle Vierleiternetze	67
5.1.1	Hannover Kronsberg, Papenkamp	67
5.1.2	Berlin Kaulsdorf, Boizenburger Straße	69
5.1.3	Braunschweig Lehdorf, Mettlacher Straße	71
5.1.4	Braunschweig Südstadt, Behringstraße	76
5.1.5	Braunschweig Heidberg, Stettinstraße	80
5.2	Ehemalige Schwerkräftheizungen	84
5.2.1	Neuerkerode, Wohnhaus I	84
5.2.2	Aschersleben, Salzkoth	90
5.3	Anlagen mit Solareinbindung	94
5.3.1	Hannover Döhren, Olbersstraße	95
5.3.2	Braunschweig Wenden, Allensteinstraße	97
5.3.3	Braunschweig Gartenstadt, Wurmbergstraße	99
5.4	Gebäude mit Einrohrheizung	102
5.4.1	Wunstorf, Barnestraße	102
5.4.2	Braunschweig Weststadt, Emsstraße	108
5.4.3	Berlin Kaulsdorf, Ein- und Zweirohrheizung im Vergleich	110
5.5	Hannover, Concerto act 2	113
5.6	Weitere Projekte	123
5.6.1	Halberstadt, Breiter Weg	123
5.6.2	Wolfenbüttel, Ahlumer Siedlung	126
5.6.3	Kennwerte für Warmwasser- und Heiznetze	128
5.7	Zusammenfassung der Praxisprojekte	132
6	Untersuchungen zu De/zentralisierung	135
6.1	Ziel und Vorgehensweise	135
6.2	Definition eines Typgebäudes	135
6.2.1	Geometrie	135
6.2.2	Daten-Eingabe	136
6.2.3	Daten-Ausgabe	138
6.3	Festlegung von Variationsparametern	140
6.4	Ergebnisse und Erkenntnisse für einzelne Systeme	141
6.5	Verallgemeinerungen	145
7	Untersuchung zur Überwärmung	148
7.1	Bilanz der Räume einer Typwohnung	148
7.1.1	Aufteilung der Gebäudebilanz auf Raumbilanzen	148
7.1.2	Raumweise Heizgrenztemperatur	150
7.2	Festlegung von Variationsparametern	152
7.3	Ergebnisse	152
8	Empfehlungen	156
9	Fazit, Ausblick und Nachfolgeprojekte	157
10	Quellen	159

1 Zusammenfassung

Die Wärme- und Trinkwarmwasserversorgung von Mehrfamilienwohnhäusern kann vollzentral, teilzentral, wohnungszentral oder dezentral erfolgen. Es gibt diverse Kombinationen, die mehr oder weniger häufig auftreten. Eine Übersicht mit grob eingeschätzter Häufigkeit des Auftretens im Mehrfamilienhaus zeigt Tabelle 1, nähere Erläuterungen siehe Kapitel 2.

		Trinkwarmwasserbereitung		
		gebäudezentral	wohnungszentral	dezentral
Heizung	gebäudezentral	konventionelles 4-Leiternetz	2-Leiternetz mit wohnungsweiser Auskopplung von TWW	konventionelles 2-Leiternetz / Durchlauferhitzer
		sehr häufig	selten	häufig
	wohnungszentral	kommt praktisch nicht vor	klassische Gasetagenheizung	wohnungsweise Gaskessel / Durchlauferhitzer
			häufig	eher selten
	dezentral	kommt praktisch nicht vor	Elektrospeicherheizung / zentraler Elektrospeicher	Elektrospeicherheizung / Durchlauferhitzer
			sehr selten	selten

Tabelle 1 Typische Versorgungssystem im Mehrfamilienhaus

Zentrale Systeme benötigen Verteilnetze, die zusätzliche Wärmeverluste bedeuten. Im Falle der Trinkwarmwasserbereitung kommen das wohnungszentrale und dezentrale System in der Regel ohne Zirkulation aus. Die gebäudezentrale Lösung hat im Mehrfamilienhaus eine Zirkulation (bzw. sehr selten eine elektrische Begleitheizung).

Ob dies gleichbedeutend mit höheren Energiekosten oder Umweltbelastungen ist, hängt vom Preis bzw. Tarifunterschieden sowie den Emissionsfaktoren der verwendeten Energieträger ab. Darüber hinaus ist der Effizienzunterschied zwischen dem zentralen und dezentralen Erzeuger maßgeblich. Zentrale Systeme kommen mit wenigen, dafür größeren Umwälzpumpen aus als dezentrale bzw. wohnungszentrale Systeme. Die Auswirkungen auf den Stromverbrauch hängen vom Standard der Pumpen – in Gegenwart und Zukunft nur noch Hocheffizienzpumpen als Standard – und der Betriebsweise, im Falle der Warmwasserbereitung auch von der Notwendigkeit von Zirkulationsleitungen ab. Hinsichtlich des Stromverbrauchs für den Standby-Betrieb (Regelung etc.) sowie ggf. Abgasventilatoren schneidet ein zentraler Kessel i. d. R. günstiger ab als eine Vielzahl kleinerer dezentraler Geräte

Hinsichtlich der Installations- bzw. Kapitalkosten sind üblicherweise die dezentralen elektrischen Warmwassererzeuger – trotz der benötigten weit größeren Stückzahl – die kostengünstigste Lösung. Es handelt sich um einfache Technik (elektrische Widerstandsheizung – heute standardmäßig elektronisch geregelte Durchlauferhitzer); es fallen keine Netzkosten an. Werden dezentrale Gasgeräte und Elektrodurchlaufsysteme verglichen, schneiden hinsichtlich der Verbrauchskosten Gasgeräte besser ab.

Die investitionskostenintensivste Lösung sind häufig wohnungszentrale Systeme für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung, im Komfortfall mit Kleinspeicher. Es werden technisch höherwertige Erzeuger verwendet, deren Einzelkosten nahe an denen eines Zentralerzeugers liegen. Ein Großteil der Kosten für Netz und Übergabe sind ebenso vorhanden.

Die gebäudezentralen Lösungen sind nur dann teurer in der Anschaffung, wenn auf innovative Erzeuger zurückgegriffen wird, die als wohnungsweise Geräte nicht in Frage kommen (BHKW, Erdreichwärmepumpen, Solarthermie).

Alle Systeme unterscheiden sich in den Abrechnungs- und Messkosten sowie Anschlussgebühren, wobei hier Tendenzen gegenläufig sind. Die Abrechnungskosten (Heizkostenabrechnung) sind bei dezentralen und wohnungsweisen Systemen nicht notwendig. Dagegen sind Anschlusskosten bei gebäudezentralen Lösungen günstiger.

Die Zentralisierung von Wärmeversorgung und Trinkwarmwasserbereitung ist zwangsläufig mit zusätzlichen Verteilverlusten verbunden. Der Vorteil einer Zentralisierung liegt darin, dass durch sie eine Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger wie Biomasse oder auch Solarenergie ermöglicht wird. Auch der Einsatz von BHKW ist bei heute marktreifer Technik nur gebäudezentral, nicht wohnungsweise, möglich. Darüber hinaus ist nur in der Zentralvariante eine Versorgung per Fern- oder Nahwärme möglich.

In den letzten Jahren werden mit steigender Tendenz kombinierte Heizungs- und Trinkwarmwassernetze verlegt. Der Anteil solcher Versorgungssysteme im Bestand ist insgesamt – nach Einschätzung der Autoren – jedoch noch sehr gering.

Von einer Heizungszentrale werden nicht 4 Leitungen für Heizung und Trinkwarmwasser getrennt in die Wohnungen geführt, sondern nur 2. Die Auskopplung von Heizwärme erfolgt entweder in den Wohnungen direkt oder mit Übergabestation. Das Trinkwarmwasser wird per Übergabestation mit einem Plattenwärmeübertrager bereitet. Das System hat in der Regel keine wohnungsweisen Speicher und es gibt in der Wohnung keine Zirkulation.

Mit diesem System ist – ebenso wie bei klassischen 4-Leiter-Systemen – die Nutzung regenerativer Energien, z.B. einer thermischen Solaranlage möglich.

Je nach System bestehen unterschiedliche (zusätzliche) Verteilverluste. Heute noch üblich ist der Betrieb des Zentralnetzes auf Temperaturen von über 65°C zur Erzielung ausreichend hoher Trinkwarmwassertemperaturen. Nachteilig sind hierbei ganzjährig hohe Vorlauftemperaturen für die Regelqualität nach geschalteter Thermostatventile bzw. Einzelraumregler. Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf zentrale Zweileiternetze konzentrieren, deren Vorlauftemperatur witterungsgeführt wird, die zentral mit kostenloser Solarwärme gespeist werden können und bei denen die Nacherwärmung für Trinkwarmwasser direkt elektrisch (eventuell zukünftig auch aus Photovoltaik mit Wohnungsweisen Kleinspeicher) erfolgt. Diese neu zu entwickelnden Systeme stehen im Wettbewerb zu rein dezentralen Systemen.

Die in der Studie vorgestellten Systeme wurden in den vergangenen 10 ... 15 Jahren konsequent mit dem Verfahren der "Energieanalyse aus dem Verbrauch E–A–V" analysiert. Die Anwendung dieses Verfahrens wird konsequent vor umfassenden Modernisierungsvorhaben empfohlen. Nachfolgend sind die wichtigsten Systemergebnisse zusammengefasst.

Gebäude- oder wohnungszentrale Versorgung

Die wohnungszentrale Installation neuer Brennwertgeräte hat auch auf der Grundlage jüngst veröffentlichter Studien sowie nach Vergleichsrechnungen auf Basis anerkannter technischer Richtlinien in vielen Fällen energetische Vorteile gegenüber einer ebenfalls neuen gebäudezentralen Versorgung. Diese Verschiebung in der Aussage ergibt sich, weil der Effizienzunterschied heutiger Wohnungs- gegenüber Gebäudekessel kleiner ist als noch vor 10 Jahren.

Die "gefühlte Unabhängigkeit der Nutzer" spielt eine entscheidende Rolle, da jeder Bewohner seine Gasabrechnung selbst "kontrollieren" kann. Außerdem entfällt für den Vermieter die Heizkostenabrechnung. Die Beibehaltung eines Konzepts mit Etagenheizung ist im Modernisierungsfall mit höheren Investitions- und Wartungskosten verbunden. Bei vorhandenen Gasetagenheizungen ist die Sanierung der Gasverteilung und der Schornsteinzüge zu prüfen.

Im Falle einer Zentralisierung von Etagenheizungen kann sich das genannte Verhältnis aus Endenergiebedarf und Kosten umkehren. Bei einer Umstellung von Etagen- auf Zentralheizungen sind Verteil- und Steigeleitungen nachzurüsten.

Eine Studie [6] kommt zu dem Ergebnis, dass es sinnvoll ist, bereits bestehende Bedingungen zu belassen. Bereits zentralisierte Gebäude sollten belassen werden, da ein Rückbau unwirtschaftlich und nicht sinnvoll wäre. Gebäude mit Etagenheizungen können ebenfalls die bisherige Art der Beheizung beibehalten. Beide Varianten unterscheiden sich aus wirtschaftlicher Sicht kaum. Zum Vergleich der Varianten unter nicht-monetären Gesichtspunkten wird in dieser Untersuchung eine ausführliche Bewertungsmatrix präsentiert.

In jedem Fall werden Anlagen mit Brennwertechnik und mit Hocheffizienzpumpen empfohlen. Solarwärme soll erst im Zuge einer kompletten Anlagenmodernisierung eingebaut werden (grenzwirtschaftlich). Aktuell am Markt als Stand der Technik angebotene BHKW-Module werden nur nach einer Modernisierung und mit einer Voruntersuchung zum Strom- und Wärmebedarf empfohlen.

Setzt man eine nicht geförderte Investition zugrunde und zielt daher auf wirtschaftlich notwendige lange BHKW-Laufzeiten ab, sollte die Wärmegrundlast des BHKW ständig abgenommen werden. Als Abnehmer kommt das Trinkwarmwassernetz in Frage. Je Person können einerseits ca. 50 ... 60 W Dauerleistung für Warmwassernutzen sowie ca. 40 ... 60 W anteilige Dauerleistung für die Verteilverluste im Trinkwarmwassernetz angesetzt werden. Andererseits beansprucht jede Person ca. 35 bis 40 m² Wohnfläche. Ein BHKW-Modul mit 10 kW thermischer Leistung liefert die Dauerwärmeleistung – entsprechende Speicher vorausgesetzt – für ca. 100 Personen oder ca. 3500 m² Wohnfläche.

Heizung

Die Heizungsanlagen wurden unter der Maßgabe betrachtet, ob sich im Falle baulicher Änderungen (Verbesserung des Wärmeschutzes auf Niedrigenergieniveau) noch akzeptable Versorgungszustände einstellen. Nicht akzeptabel wären lokale oder großflächige Überverordnungen der Räume allein aufgrund der Wärmeabgabe der Rohrnetze. Eine Gegenmaßnahme wäre die Leitungsdämmung, alternativ der Rückbau.

Für die untersuchten **ehemaligen Schwerkraftheizungen** mit großen Leitungsquerschnitten ergab sich in beiden Fällen eine Empfehlung zum Rückbau, wenn das Gebäude modernisiert wird. Es ergeben sich bereits im Bestand sehr große ungerichtete Wärmemengen der ungedämmten Leitungen. Dieser Effekt verschärft sich nach einer baulichen Modernisierung. Die ungerichtete Wärmeabgabe ließe sich durch Wärmedämmmaßnahmen an Steigesträngen und Anbindeleitungen begrenzen. Jedoch ist die bauliche Umsetzung in beiden Fällen fragwürdig. Außerdem ergeben sich auch mit wärmegeprägten Rohren keine optimalen Verhältnisse.

Für die untersuchten Gebäude mit **Einrohrheizung** wird empfohlen, die Leitungen in den Wohnungen nachzudämmen. Da in beiden Fällen bereits eine bauliche Modernisierung stattgefunden hat, ist die geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen extrem klein und die Rohrwärmeabgabe hoch. Es kommt zu Überwärmung und Mehrverbrauch aufgrund von Ablüften der Überschüsse. Die Dämmung der Ringleitung (mit kleinem Durchmesser) auf der Sockelleiste im einen Fall bzw. der größer dimensionierten Steigeleitungen in den Raumecken im anderen Fall lässt sich baulich realisieren.

Für die untersuchten Gebäude mit klassischer **2-Rohrheizung als Etagenringtyp** ergab sich zweimal die Empfehlung zum Nachdämmen der Steigeleitungen in Bädern, Küchen oder Fluren, damit es nicht zur lokalen Überwärmung kommt. Nur einmal – bei einer extrem hohen Verlegedichte von 1,08 m/m² im beheizten Bereich – wurde eine Dämmempfehlung für alle Etagenleitungen ausgesprochen.

Ebenfalls häufig tritt die **2-Rohrheizung als Steigestrangtyp** in der Praxis auf. Hier wurde für den Fall einer Gebäudemodernisierung auch empfohlen, die Steigestränge auf 100 % zu dämmen. Das gilt in jedem Falle für Leitungen in Bädern und Küchen bzw. andere Räume mit einer hohen Verlegedichte von Rohren (auch in Schächten). Bei einer Verlegedichte von mehr als 0,5 m/m² im beheizten Bereich werden alle Leitungen zur Nachdämmung empfohlen. Sofern die Leitungen unter Putz in der Konstruktion liegen und wenigstens 25 % Dämmdicke aufweisen, kann das Netz so belassen werden. Ist es ungedämmt unter Putz verlegt, was eher selten vorkommt (Ummantelung der Rohre mit diversen Stoffen zur Schallentkopplung bzw. gegen Einfrieren in Außenwänden), wird es vermutlich so belassen und die energetisch negativen Konsequenzen akzeptiert.

Die Verlegung von **2-Rohrheizungen mit Estrichverteiler** kam nur in zwei der untersuchten Praxisanlagen vor. Es handelt sich um ein typisches Nebausystem. Die Leitungsverlegedichte ist hoch und die Leitungen nicht mehr zugänglich. Modernisierungen wurden hier daher nicht empfohlen. Allerdings sind bei künftigen Projekten insbesondere in Fluren, Bädern und Küchen (Ablufträume, Räume mit wenig Bedarf) auch die Anbindeleitungen im Estrich zu dämmen. Es kommt zu lokaler Überwärmung und auch Mehrenergiebedarf.

Generell wird eine Anpassung der Heizkurve auf möglichst geringe Werte – je nach Dimensionierung der Heizflächen im Verhältnis zur Heizlast des Baukörpers – empfohlen. Dies gilt auch bei Fernwärmeversorgung mit ganzjährig hohen angebotenen primären Vorlauftemperaturen.

Trinkwarmwasserbereitung

Die endenergiebezogenen Nutzungsgrade bei den zentralen Warmwassernetzen liegen in allen Projekten bei etwa 50 %. Dieser Wert lässt sich durch Leitungsdämmung kaum verbessern. Nur in seltenen Fällen bei Gebäuden mit großer Höhe ergeben sich bessere Werte (über 60%). Fehlt die entsprechende Nutzerstruktur (Abnahme) ergeben sich Werte auch sehr weit unter 50 %.

Es zeigt sich, dass die Empfehlung zur Umstellung auf elektrische Warmwasserbereitung trotzdem selten vorkommt. Tritt dies auf, handelt es sich um relativ flache (max. 3 Wohnschosse), lang gestreckte (mindestens 4 Hauseingänge) Wohnblöcke. Alternativ ergibt sich diese Empfehlung bei Nutzungen, die stark vom Wohnbau abweichen und zu deutlich weniger Nutzwarmwasserabnahme führen.

Es kann die allgemeine Empfehlung zur Nachdämmung von Leitungen ausgesprochen werden. Das betrifft zuerst die Leitungen im Keller, danach Steigestränge. In beiden Fällen sollten mindestens 100 % Dämmdicke erreicht werden. Bei den Steigesträngen werden Überwärmungseffekte in Bädern und Küchen hierdurch vermindert.

Das Nachdämmen nicht zirkulierender Leitungsteile wird auch empfohlen, wobei klar ist, dass der nächste allgemeine Sanierungszyklus dafür genutzt werden muss, wenn die Leitungen unter Putz liegen.

Die Zirkulationstemperaturen und -zeiten sollten so weit reduziert werden, wie das unter dem Gesichtspunkt der Legionellenprophylaxe zulässig ist. Die gilt v. a. bei Fernwärmeversorgung mit ganzjährig hohen, zur Verfügung stehenden primären Vorlauftemperaturen.

Solarthermie

Bei den drei Anlagen mit solarer Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung konnte festgestellt werden, dass die solaren Beiträge zur Trinkwarmwasserbereitung eher gering ausfallen. Es darf daher vermutet werden, dass die Kollektorfelder so klein sind, dass der Beitrag zur Heizungsunterstützung praktisch nicht vorhanden ist.

Rückblickend betrachtet ist die solare Heizungsunterstützung mit den Anschaffungs- und laufenden Energiekosten (ca. doppelt so große Kollektorflächen mit anteilig höheren Speicher- und Netzverlusten, zusätzlicher Verrohrungs-, Regelungs- und Pumpenstromaufwand) fragwürdig. In zwei der drei Fälle wäre eine reine solare Trinkwarmwasserunterstützung empfehlenswert, in der dritten Anlage ein System ohne jegliche Solarthermie (elektrische Durchlauferhitzer).

Empfehlungen

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass nur Einzelanalysen im zu modernisierenden Gebäudebestand – am besten nach einer mindestens einjährigen Energieanalyse aus dem Verbrauch – zu seriösen und langfristig effektiven Handlungsempfehlungen führen. Die zu empfehlende Vorgehensweise soll in einem Nachfolgeprojekt an konkreten Gebäuden und Anlagen weiter erarbeitet werden.

Mit zusätzlichen Messungen könnten dann auch die Hypothesen zu den unerwartet hohen Verlusten in den untersuchten Objekten des Concerto-Projekts in Hannover verifiziert werden.

2 Aufgaben- und Problemstellung

Der vorliegende Abschnitt erläutert die Aufgabenstellung. Es wird eine Abgrenzung der bearbeiteten Themengebiete vorgenommen.

2.1 Ziele der Untersuchung

Gegenstand der Untersuchung sind die Verteilnetze für Wärme und Trinkwarmwasser und deren Einfluss auf die Energiebilanz und die Gesamtkostenbilanz von Gebäuden. Die Studie beschränkt sich auf bestehende Mehrfamilienwohngebäude. Der Schwerpunkt liegt bei der Fragestellung, welche Netzarten zu bestimmten baulichen Modernisierungsstandards der Gebäude passen bzw. in Kombination mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern sinnvoll sind. Es sollen Empfehlungen erarbeitet werden, inwieweit diese Netze nachträglich neu installiert werden, erweitert werden, modernisiert werden oder ganz bzw. teilweise rückgebaut werden.

2.2 Definition der Problemfelder

Mit dem Verteilnetz als Bindeglied zwischen der Nutzenübergabe (Wasserhahn, Heizfläche) und dem Erzeuger verbinden sich verschiedene Problemaspekte, die nachfolgend einzeln beleuchtet werden.

Verteilverluste im unbeheizten Bereich von Gebäuden

Generell sind mit der Installation von Verteilnetzen Wärmeabgaben der warmgehenden Leitungsteile verbunden. Liegen diese Leitungen im unbeheizten Bereich des Gebäudes, werden aus den Wärmeabgaben nicht nutzbare Wärmeverluste. Diese sind zu begrenzen, da sie energiekosten- und umweltrelevant sind. Jede zusätzliche Installation erhöht den Energieverbrauch, jeder Rückbau mindert ihn. Die Netzteile lassen sich im Bestand häufig verbessern (wärmedämmen).

Für den konzeptionellen Umgang mit diesen Leitungsteilen stellt sich vor allem die Frage: welchen Effizienz- und Kostenvorteil muss ein Zentralerzeuger mindestens haben, damit die Investition in ein zentrales Netz gerechtfertigt ist? Oder im Umkehrschluss: welchen Effizienz- und Kostennachteil dürfen dezentrale Erzeuger maximal haben, damit der Weiterbetrieb von Zentralanlagen im Vergleich zu einer Dezentralisierung sinnvoll bleibt?

Die Beantwortung der Frage hängt u. a. vom Verbrauchsniveau des Gebäudes ab, aber auch vom gewählten Brennstoff und dessen Preis und ökologischer Bewertung.

Verteilverluste im beheizten Bereich von Gebäuden

Liegen warmgehende Leitungsteile in den beheizten Bereichen eines Gebäudes, erweitert sich die Fragestellung. Die Wärmeabgabe des Netzes ist einerseits Wärmeverlust (des Anlagentechniksystems) und andererseits Wärmeeintrag (in die beheizten Räume). Die Wärmeabgabe erfolgt meist ungerichtet (Beispiel: Wärmeabgabe einer Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitung), manchmal auch gerichtet (Wärmeabgabe von Anbindeleitungen eines Heizkörpers in den zu beheizenden Raum).

Es muss geklärt werden, ob die Wärmeeinträge durch das Leitungsnetz und alle anderen internen und solaren Quellen geringer oder größer sind als die Wärmeverluste des Raumes. Dies hängt u. a. vom Dämmniveau der Netze, deren Temperaturen, der Leitungsverlegedichte, der Verlegeorte der Netze im Gebäude (Außenwände, Schächte, auf Putz, unter Putz,...) sowie dem baulichen Zustand und der Nutzung des Gebäudes (Transmission, Lüftung) ab.

Für den konzeptionellen Umgang mit diesen Leitungsteilen stellt sich die Frage: welche Gesamtwärmeeinträge der Leitungsnetze sind aufgrund des baulichen Zustandes und der Nutzung der Räume zu tolerieren? Müssen Verteilnetze im Zuge von Wärmebedarfsminderungen gleichzeitig modernisiert werden, teilweise oder ganz rückgebaut werden?

Die mögliche Überversorgung der Räume ist hinsichtlich der Energiebilanz der Räume unabhängig vom gewählten Energieträger. Sie führt zu einem Mehrverbrauch an Energie. Inwieweit der Mehrverbrauch sich in den Energiekosten niederschlägt, hängt vom Energieträgerpreis ab. In jedem Fall sind mögliche unbehagliche Raumzustände zu erwarten.

Die Überwärmungsproblematik im Sommerfall soll nicht weiter untersucht werden.

Verteilverluste außerhalb von Gebäuden

Eine weitere Problemstellung ist die Zentralisierung mehrerer Gebäude zu einem Nahwärmeverbund. Dieses Thema wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht behandelt. Es wird auf die Literatur, z.B. [37] verwiesen.

Speicherverluste

Die Systemfrage – zentrale oder dezentrale Versorgung – schließt häufig auch die Wahl eines bestimmten Speichersystems mit ein. Es ergeben sich Betrachtungen wie bei den Leitungsnetzen als solches: die Speicherverluste nehmen prinzipiell mit der Speichergröße zu; mehrere kleine Speicher haben größere Verluste als ein großer. Darüber hinaus hat selbstverständlich auch die Speicherdämmung einen Einfluss; jedoch sind bei den am Markt verfügbaren Speichern keine großen Variationen der Dämmdicken festzustellen. Je nach Aufstellort des Speichers, d.h. dem beheizten oder unbeheizten Bereich des Gebäudes, sind ausschließlich Wärmeverluste zu verzeichnen oder gleichzeitig Wärmeeinträge, die zu lokaler Überwärmung führen können.

Speicherverluste werden im Rahmen dieser Studie nicht separat untersucht. Speicher bilden einen Teil des Versorgungssystems. Es werden Systemempfehlungen ausgesprochen.

Hinsichtlich der Problematik der Pufferspeicherbemessung und der Einbindungen in das Gesamtsystem muss auf die Literatur verwiesen werden bzw. auf spätere bzw. parallel laufende Untersuchungen, z. B. des ISFH.

Weitere Aspekte

Weitere Aspekte beim Vergleich von Systemen sind der Hilfsstromverbrauch (Pumpen), gesetzliche Anforderungen (Heizkostenverordnung, Trinkwasserverordnung in Verbindung mit DVGW-Merkblättern zur Legionellenprophylaxe) sowie der Abrechnungsaufwand.

Sonderfragestellungen

Gesondert wird in dieser Studie die Thematik der wohnungsweisen Versorgung mit Übergabestationen untersucht. Es handelt sich um eine Zwischenlösung (2-Leiter-Netz) zwischen rein wohnungsweiser Versorgung (ohne Gebäudenetz) und rein zentraler Versorgung (4-Leiter-Netz). Bei den 2-Leiter-Systemen treten zusätzliche Verluste durch die wohnungsweisen Übergabestationen auf, deren Wärmeübertrager zur Warmwasserbereitung ganzjährig durchströmt werden und häufig nicht oder nur mangelhaft gedämmt sind. Hierbei können der Einsatz solarer Wärme oder auch anderer regenerativer oder Abfall-Wärmequellen zukünftig an Bedeutung gewinnen.

Es wird keine Untersuchung zu Rohr-in-Rohr-Leitungsnetzen vorgenommen. Hier muss ebenfalls auf die Literatur oder spätere Untersuchungen verweisen werden.

2.3 Vorgehensweise

Die definierten Fragestellungen zur Wärmeverteilung werden mit verschiedenen Lösungsansätzen geklärt:

- aus ausgewählten Literaturquellen, die sich ebenso mit der Thematik befassen, werden bereits vorhandene Empfehlungen wiedergegeben;
- aus vorliegenden Messtechnikuntersuchungen früherer Projekte der Autoren werden Rückschlüsse hinsichtlich des Umgangs mit den Netzen (unverändert belassen, modernisieren, rückbauen, ausbauen) gezogen; sofern verallgemeinerbar möglich, werden Empfehlungen abgeleitet;
- aus dem vorhandenen Messtechnikdatenbestand heraus wird im Rahmen dieses Projektes auch eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie die Auswertung der Verbrauchswerte mit einer detaillierten Energieanalyse (EAV) erfolgen kann; das Verteilnetz und sein Einfluss auf die Energiebilanz werden dabei sichtbar gemacht;
- anhand von Literaturlauswertungen sowie einer Befragung verschiedener Gebäudeeigentümer im Großraum Hannover wird statistisch geklärt, welche Netztypen, Dämmstandards und Verlegeorte der Leitungen häufig vorkommen; so können Empfehlungen gezielt ausgesprochen werden;
- anhand von Typgebäuden (Mehrfamilienwohnhaus, unterschiedliche Dämmstandards) werden Empfehlungen hinsichtlich der Zentralisierung oder Dezentralisierung von Netzen gegeben; dabei werden unterschiedliche Wärmeerzeuger und Energieträger unterschieden
- anhand von Typgrundrissen (Wohnräume, Küche usw.) in Gebäuden unterschiedlichen Dämmstandards werden Empfehlungen zu Dämmung oder Rückbau von Netzen gegeben, sofern die Überwärmungsproblematik dies erforderlich macht

Für den Einzelfall wird eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie die Entscheidungsstrategie für oder gegen eine Netzänderung, den Erhalt oder Rückbau ablaufen kann.

2.4 Verwendete Praxisprojekte

Aus früheren Praxisprojekten können Daten verschiedener Detaillierung entnommen werden. Einerseits liefern Messungen, vor allem mit Unterzählern für die Wärmemengen, Erkenntnisse zur realen Größenordnung der Wärmeabgaben von Verteilsystemen. Anhand von monatlichen oder wöchentlichen Messdaten kann auch ein Einfluss der Netze auf die Heizgrenze festgestellt werden.

Andererseits helfen detaillierte Energiebilanzen der Baukörper das Netz im Verhältnis zu den sonstigen Wärmeverlusten einzuordnen. Hier lassen sich zudem Grenzbetrachtungen für sanierte Netze vornehmen und Fragestellungen einer sinnvollen Netzänderung ablesen.

Nachfolgende Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der Praxisprojekte. Die einzelnen Gebäude, die in den jeweiligen früheren Projekten Untersuchungsgegenstand waren, werden für das vorliegende Projekt erneut in Hinblick auf die Verteilnetze ausgewertet bzw. es wird das Ergebnis der früheren Untersuchung wiedergegeben. Je nach Datenlage wird eine Einschätzung des konkreten Bestandes, ggf. auch mögliche Änderungen im Falle von baulichen Modernisierungen vorgenommen.

Projekt	Zeitraum	Standort	Inhaltliche Beschreibung, Besonderheiten
Kronsberg [38]	2000 – 2001	Hannover	mehrere Mehrfamilienwohngebäude als Niedrigenergiestandard; Anschluss an Nahwärme, teilweise Wohnungslüftung; beide Netze zentral; Besonderheit: Überwärmung der Wohnungsinneflure
Kaulsdorf [24]	2001 – 2002	Berlin	große Anzahl von Plattenbauten; nur baulich saniert auf nahezu Niedrigenergieniveau; Anschluss an Nahwärme; beide Netze zentral, Heizung teilweise als Einrohrheizung; Besonderheit: Zwangswärmekonsum im Falle der Einrohrheizung wegen starker Überwärmung
BBR Lüftung [38]	2002 – 2003	Hannover, Berlin	3 Mehr- und ein Einfamilienhaus; teilweise neu, teilweise saniert auf Niedrigenergieniveau; alle Netze zentral; Schwerpunktmäßige Untersuchung der Rückkopplung von Anlagentechnikausstattung (u. a. Leitungsnetze) auf das Lüftungsverhalten
Optimus [36]	2003 – 2005	Braunschweig	ca. 90 Gebäude zur hydraulischen Optimierung; zentrale oder wohnungszentrale Heizung; zentrale oder dezentrale Trinkwarmwasserbereitung; keine detaillierte Untersuchung der Leitungsnetze hinsichtlich der Wärmeabgaben; hier: Messwerte für ein Mehrfamilienhaus mit Einrohrheizung
Kronsberg neu [32]	2004 – 2005	Hannover	4 Mehrfamilienwohngebäude in Niedrigenergiestandard; Anschluss an Nahwärme, teilweise Wohnungslüftung; beide Netze zentral; Auswertung von Messwerten nach dem Schema der Energieanalyse aus dem Verbrauch sowie Bestimmung von geregelter und unregelter Wärmeabgabe durch Verteilnetze
Einrohr Wunstorf [19]	2005	Wunstorf	mehrere Mehrfamilienhäuser aus den 1960er Jahren; mit Kessel, teilweise Solarthermie, beide Netze zentral; unsanierte und undämmte Einrohrheizung; Besonderheit: Zwangswärmekonsum wegen starker Überwärmung
Nibelungen MFH [7] [20]	2005 – 2006	Braunschweig	etwa 20 Mehrfamilienwohngebäude, Baujahre ab ca. 1930, teils modernisiert; Versorgung wohnungsweise oder zentral, teilweise elektrische Warmwasserbereitung; Energiebilanz mit Leitungslängenermittlung und Abgleich mit Verbrauchsdaten
Concerto act2 [26]	2006 – 2012	Hannover	diverse bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude mit Sanierung auf EnEV-Neubau-Standard und/oder Umstellung auf regenerative Versorgung; verschiedene Verteilnetzvarianten; theoretische Energiebilanz und Auswertung der Messwerte; hier: Messwerte für 28 Mehrfamilienwohngebäude der Baujahre 1955-1963 mit Umstellung auf Fernwärmeversorgung, teilweise mit 2-Leitersystem
DBU Aschersleben [13]	2006 – 2007	Aschersleben	Wohnheim aus den 1920er Jahren unsaniert; zentrale Heizung und Warmwasserbereitung; Kessel; Erstellung eines Energiekonzeptes; Besonderheit: ehemalige Schwerkraftheizung
Nibelungen Passivhaus [34]	2008	Braunschweig	Verbesserung von 2 Mehrfamilienwohnhäusern im Bestand auf Passivhausniveau; Machbarkeitsstudie mit verschiedenen Energieträgern; beide Netze zentral; theoretische Energiebilanz und Auswertung der Messwerte und Finanzierungsplanung; Besonderheit: Passivniveau
Wobau [6]	2008	Wolfenbüttel	ca. 70 kleine und mittlere Mehrfamilienwohnhäuser; baulich unsaniert im Bestand; gemischt vollzentrale und wohnungszentrale Versorgung; Untersuchungen zur Wärmeversorgung mit Nahwärme, neuen zentralen oder wohnungszentralen Erzeugern
Neuerkerode [10]	2007 – 2012	Sickte	ca. 50 Wohn- und Nichtwohngebäude, überwiegend Pflegegebäude; unterschiedliche Baujahre; zentrale Heizung; zentrale oder dezentrale Trinkwarmwasserbereitung; hier: Untersuchung von einigen kleineren Gebäuden mit Wohnnutzung und üblicher Netzstruktur
BMU Kessel Solar [33]	2009 – 2012	Hannover Braunschweig	Mehrfamilienhäuser im Bestand; beide Netze zentral; mit Kessel; detaillierte Auswertung der Verbrauchsdaten möglich; Besonderheit: Messprogramm für Solarthermie

Tabelle 2 Übersicht konkreter Praxisprojekte

Darüber hinaus liefern zwei Projekte einen Querschnitt typischer Netze, siehe Tabelle 3. Die Erkenntnisse dieser Projekte werden zur Verallgemeinerung der Problematik herangezogen.

Optimus [36]	2003 – 2005	Niedersachsen	ca. 90 Wohngebäude; zentrale oder wohnungszentrale Heizung; zentrale oder dezentrale Trinkwarmwasserbereitung; hier: Ermittlung von typischen Eigenschaften von Heizungsanlagen, inkl. Leitungsnetz und Reglereinstellung
BBR Leitungsnetz [17]	2009 – 2010	Deutschland	ca. 75 Wohn- und Nichtwohngebäude; alle Netzarten; Erfassung von verlegten Leitungslängen und Typisierung von Netzen

Tabelle 3 Queruntersuchungen zum Netzbestand

3 Systemvergleich

Der erste inhaltliche Abschnitt dient der Darstellung von unterschiedlichen Versorgungssystemen und Verteilnetztypen für die Heizung und Trinkwarmwasserversorgung, inklusive der sich daraus ergebenden energetischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteile. Die Abhandlung wird möglichst auf Aspekte beschränkt, die unmittelbar mit der Thematik "Verteilnetze in der energetischen Modernisierung" verknüpft sind.

3.1 Definitionen

Vor dem Systemvergleich von Netzen und Versorgungstypen sollen in den nachfolgenden zwei Tabellen die wichtigsten Begrifflichkeiten erläutert werden.

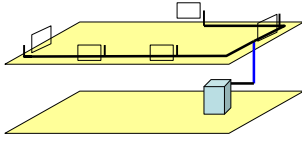
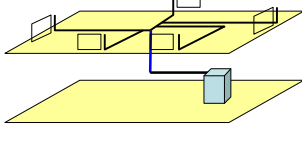
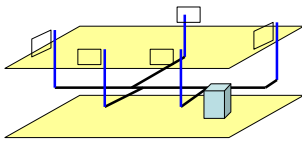
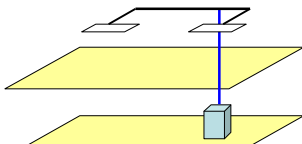
Bezeichnung	Kürzel nach DIN V 18599 [4]	Kürzel nach BBSR Bericht [17]	Bild	Grundprinzip	Definitionen	Ein/Zweirohrheizung	
						gebäude-	wohnungszentral
Etagenringtyp	I	A		Verteilung entlang des Gebäudeumfangs	<ul style="list-style-type: none"> Verteilung: waagerechte Ebene ab Erzeuger sowie waagerechte Ebene aller Etagen Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe Anbindeleitung: Leitungen ab dem Etagenring 	E Z	g w
Etagenverteiltertyp	II	B		Verteilung über lokale Verteiler	<ul style="list-style-type: none"> Verteilung: waagerechte Ebene ab Erzeuger Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe Anbindeleitung: Leitungen ab dem zentralen Verteil- und Sammelpunkt 	Z	g w
Steigestrangtyp	III	C		Verteilung über Steigestränge an der Fassade	<ul style="list-style-type: none"> Verteilung: waagerechte Ebene ab Erzeuger Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe Anbindeleitung: Leitungen ab dem Steigestrang 	E Z	g
Strahlungs- und Luftheizung	IV	D		Anschluss von Umluftgeräten oder Deckenstrahlungsheizungen	<ul style="list-style-type: none"> Verteilung: waagerechte Ebene in der Decke Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe Anbindeleitung: Leitungen mit denen die Einzelabnehmer an die waagerechte Ebene angeschlossen sind 	Z	(g) (w)

Tabelle 4 Definitionen Heiznetztypen

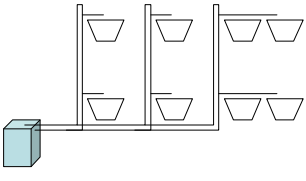
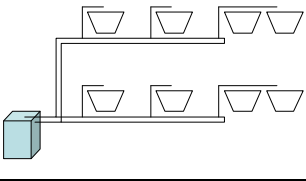
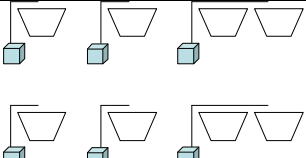
Bezeichnung	Kürzel nach DIN V 18599 [4]	Kürzel nach BBSR Bericht [17]	Bild	Grundprinzip	Definitionen	gebäude-/wohnungszentral
Steigestrangtyp	I	R		horizontaler Zusammenschluss von baugleichen Etagen	<ul style="list-style-type: none"> Verteilleitung: waagerechte Ebene ab Erzeuger Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe sowie ggf. waagerechte Rohrstücke hinter dem Steigestrang mit Zirkulation Anbindeleitung: Leitungen ab dem Steigestrang (ohne Zirkulation) 	g
Ebenen-typ	II	S		waagrecht, ebene-weiser Zusammenschluss	<ul style="list-style-type: none"> Verteilleitung: waagerechte Ebene ab Erzeuger sowie in den Ebenen Steigestränge: senkrechte Leitungen zur Überwindung der Geschosshöhe Anbindeleitung: Netz ab der Verteilenebene (ohne Zirkulation) 	(g) w
Dezentrale Versorgung	III	T		wenige Zapfstellen pro Erzeuger	<ul style="list-style-type: none"> es gibt nur Anbindeleitungen 	w

Tabelle 5 Definitionen Warmwassernetztypen

3.2 Versorgungssysteme und Verteilnetztypen

Die Wärme- und Trinkwarmwasserversorgung von Mehrfamilienwohnhäusern kann vollzentral, teilzentral, wohnungszentral oder dezentral erfolgen. Es gibt diverse Kombinationen, die mehr oder weniger häufig auftreten. Eine Übersicht mit grob eingeschätzter Häufigkeit des Auftretens im Mehrfamilienhaus zeigt Tabelle 6.

		Trinkwarmwasserbereitung			
		gebäudezentral	wohnungszentral	dezentral	
Heizung	gebäudezentral	konventionelles 4-Leiternetz	2-Leiternetz mit wohnungsweiser Auskopplung von TWW	konventionelles 2-Leiternetz / Durchlauferhitzer	
		sehr häufig	selten	häufig	
	wohnungszentral	kommt praktisch nicht vor	klassische Gasetagenheizung		wohnungsweise Gaskessel / Durchlauferhitzer
			häufig		eher selten
	dezentral	kommt praktisch nicht vor	Elektrospeicherheizung / zentraler Elektrospeicher		Elektrospeicherheizung / Durchlauferhitzer
			sehr selten		selten

Tabelle 6 Typische Versorgungssysteme im Mehrfamilienhaus

Die zentralen Systeme benötigen Verteilnetze, die zusätzliche Wärmeverluste bedeuten. Im Falle der Trinkwarmwasserbereitung kommen das wohnungszentrale und dezentrale System in der Regel ohne Zirkulation aus. Die gebäudezentrale Lösung hat im Mehrfamilienhaus eine Zirkulation (bzw. sehr selten eine elektrische Begleitheizung).

Ob dies gleichbedeutend mit höheren Energiekosten ist, hängt vom Preis bzw. Tarifunterschieden der verwendeten Energieträger ab. Darüber hinaus ist der Effizienzunterschied zwischen dem zentralen und dezentralen Erzeuger maßgeblich. Zentrale Systeme kommen mit wenigen, dafür größeren Umwälzpumpen aus als dezentrale bzw. wohnungszentrale Systeme. Die Auswirkungen auf den Stromverbrauch hängen vom Standard der Pumpen und der Betriebsweise, im Falle der Warmwasserbereitung auch von der Notwendigkeit von Zirkulationsleitungen ab.

Hinsichtlich der Installations- bzw. Kapitalkosten sind üblicherweise die dezentralen Warmwassererzeuger – trotz der benötigten weit größeren Stückzahl – die kostengünstigste Lösung. Es handelt sich um einfache Technik (elektrische Widerstandsheizung); es fallen keine Netzkosten an.

Die investitionskostenintensivste Lösung sind häufig wohnungszentrale Systeme. Es werden technisch höherwertige Erzeuger verwendet, deren Einzelkosten nahe an denen eines Zentralerzeugers liegen. Ein Großteil der Kosten für Netz und Übergabe sind ebenso vorhanden.

Die gebäudezentralen Lösungen sind nur dann teurer in der Anschaffung, wenn auf innovative Erzeuger zurückgegriffen wird, die als wohnungsweise Geräte gar nicht in Frage kommen (BHKW, Erdreichwärmepumpen, Solarthermie).

Alle Systeme unterscheiden sich in den Abrechnungs- und Messkosten sowie Anschlussgebühren, wobei hier Tendenzen gegenläufig sind. Die Abrechnungskosten (Heizkostenabrechnung) sind bei dezentralen und wohnungsweisen Systemen nicht notwendig. Dagegen sind Anschlusskosten bei gebäudezentralen Lösungen günstiger.

3.2.1 Heizung

Die Netze im Bestand sind überwiegend Zweirohrheizungen mit unterer Verteilung. Seltener kommen in Mehrfamilienhäusern Einrohrheizungen vor, siehe Tabelle 7. Hier ist eine Befragung von Heizungsbauern aus dem Jahr 2001 wiedergegeben [28].

Gebäudetyp und Baujahr		Einheit	Kleine Mehrfamilienhäuser				Große MFH und Hochhäuser	
			bis 1957	1957-77	1977-95	1995-heute	1977-95	1995-heute
Dimension	3/8"	m	57,5	102,5	100,0	97,5	182,5	307,5
	1/2"	m	167,5	152,5	161,3	396,3	1.537,5	1.137,5
	3/4"	m	107,0	102,5	110,5	67,5	267,5	195,0
	1"	m	90,0	75,0	80,0	67,0	212,5	172,5
	1 1/4"	m	46,3	28,8	55,0	37,5	125,0	75,0
	1 1/2"	m	25,0	20,0	20,0	17,5	62,5	57,5
	2"	m	13,8	18,8	13,8	6,8	75,0	52,5
	2 1/2"	m	3,0	5,0	3,0	0,0	17,5	27,5
Kennwerte für Längen	Rohrlänge Heizung pro m ²	m/m ²	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,6
	Rohrleitungslänge pro HK	m/HK	7,3	7,0	6,6	8,4	8,1	1,8
Zweirohrheizung	Zweirohrheizung	%	89	91	96	95	90	94
	obere Verteilung	%	7	7	5	11	35	35
	untere Verteilung	%	93	93	95	89	65	65
Einrohrheizung	Einrohrheizung	%	11	9	4	5	10	6
	vertikale Verteilung	%	82	82	80	45	90	90
	horizontale Verteilung	%	18	18	20	55	10	10

Tabelle 7 Kennwerte für Netztypen und Verlegungsarten in Mehrfamilienhäusern [28]

Ein- und Zweirohrheizungen

Bei der Zweirohrheizung steht allen Heizkörpern die gleiche Vorlauftemperatur zur Verfügung (Parallelschaltung), siehe Bild 1. Es können alle übereinander liegenden Räume über einen Strang versorgt werden (vertikale Verteilung, Steigestrangtyp) oder je Etage Leitungsringe aufgebaut werden (horizontale Verteilung, Etagenringtyp). Es können auch Wohnungsweise Estrichverteiler installiert werden, an welche die Heizkörper einzeln oder in Gruppen angeschlossen sind (Etagenverteiltertyp).

Es ist mit etwas mehr Material- und Installationsaufwand bei der Errichtung zu rechnen. Da keine Überströmung vom Vor- und Rücklauf vorhanden sind, ergibt sich eine insgesamt geringere mittlere Netztemperatur.

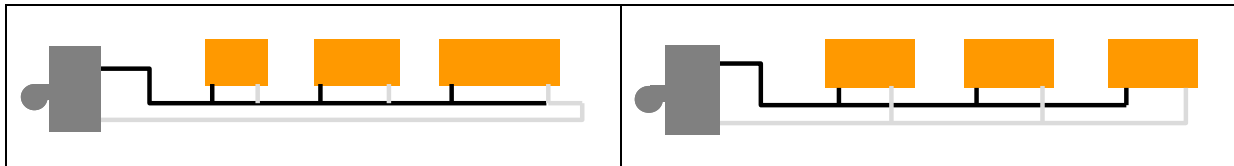


Bild 1 Ein- und Zweirohrheizung (schematisch)

Der Aufbau der Einrohrheizung ist sehr einfach gehalten. Der Rücklauf des ersten Heizkörpers ist gleichzeitig der Vorlauf des zweiten Heizkörpers (Reihenschaltung), siehe Bild 1. In einem Mehrfamilienhaus würden z.B. alle Räume übereinander über einen Strang versorgt werden (vertikale Verteilung, Steigestrangtyp) oder je Etage Leitungsringe verlegt sein (horizontale Verteilung, Etagenringtyp).

Die Größe der Heizflächen steigt mit abfallender Temperatur des Vorlaufes, also in Fließrichtung. Vorteilhaft ist ein geringerer Material- und Installationsaufwand bei der Errichtung, wenn auch die Leitungsquerschnitte insgesamt größer sind als bei einer Zweirohrheizung. Durch den Nebenschluss (Bypass) fließt das Heizwasser, wenn das Heizkörperventil geschlossen ist, so dass insgesamt eine höhere mittlere Netztemperatur zu erwarten ist.

Flächenheizung

Flächenheizungen werden als Zweirohrheizungen ausgeführt. Die Heizkreise sind häufig parallel an einen zentralen Verteiler und Sammler angeschlossen. Die Verlegung erfolgt in Wand-, Decken- oder überwiegend Fußbodenflächen. Es tritt eine zusätzliche unregelmäßige Wärmeabgabe an unten liegende beheizte Räume bzw. zusätzliche Wärmeverluste an unbeheizte Räume oder an das Erdreich auf.

Die Netztemperaturen sind geringer, die Leitungsteile, die dem Versorgungsnetz zugeordnet werden können (Verteilung, Steigestänge), sind vergleichsweise kurz. Die Rohrleitungen der geregelten wärmeabgebenden Fläche zählen nicht als Verteilnetz.

Da diese Art des Heizsystems eher unüblich in bestehenden Mehrfamilienhäusern ist (unter 10 %, [28]), werden sie hier nicht weiter behandelt.

Verlegeorte

Für eine Modernisierung von Netzen ist es entscheidend, ob Leitungen frei zugänglich, bedingt zugänglich oder nicht zugänglich sind. Eine Befragung von Heizungsbauern [28] ergibt, dass bei typischen Mehrfamilienhäusern:

- ca. 55 – 65 % des Netzes im Altbau, aber nur 20 – 30 % bei neueren Gebäuden frei zugänglich unter Kellerdecken, vor Wänden oder als Sockelleisten verlegt sind und somit problemarm geändert bzw. nachträglich gedämmt werden könnten
- ca. 10 – 15 % des Netzes in Schächten, abgehängten Decken oder Bodenkanälen liegen und damit bedingt zugänglich für eine Modernisierung sind
- ca. 20 – 25 % des Netzes im Altbau, aber 55 – 60 % bei neueren Gebäuden in der Konstruktion, d.h. Decken, Böden oder Wänden liegen und praktisch nicht zugänglich sind.

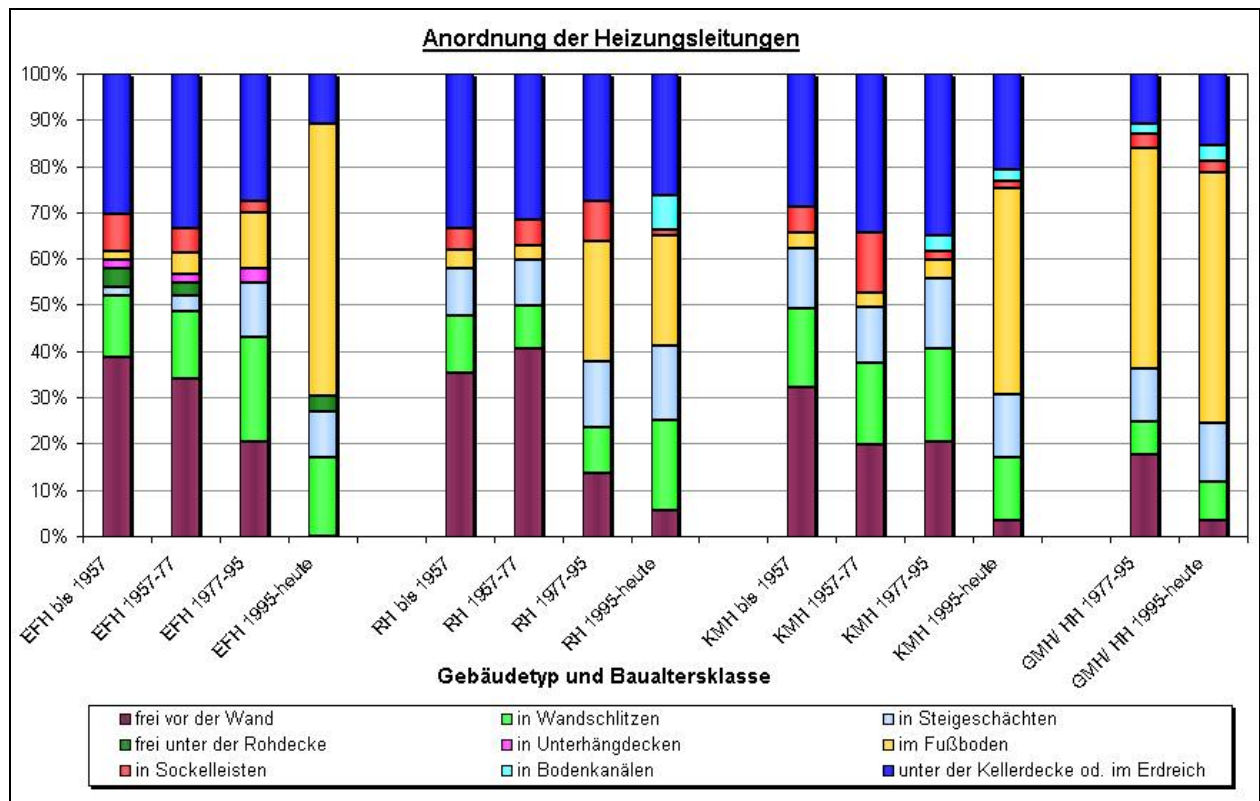


Bild 2 Anordnung von Heizungsleitungen [28]

Dimensionen

Um abzuschätzen, welche Wärmeverluste Leitungen in unbeheizten Räumen haben bzw. welche internen Wärmeeinträge aus den Netzteilen innerhalb der beheizten Räume resultieren, werden die Dimensionen von Leitungen benötigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass bei Zweirohrheizungen:

- im beheizten Bereich die Leitungsteile überwiegend in Durchmessern zwischen ½ " (DN 15) und 1 " (DN 25) ausgeführt werden,
- im unbeheizten Bereich die Leitungsteile mit größeren Durchmessern zwischen 1 " (DN 25) und 2 " (DN 54) installiert sind.

Bei Einrohrheizungen sind die Leitungsquerschnitte insgesamt größer:

- im beheizten Bereich liegen die typischen Durchmesser zwischen ¾ " (DN 20) und 2 " (DN 54),
- im unbeheizten Bereich werden die Leitungen mit Durchmessern zwischen 1 ½ " (DN 42) und 3 " (DN 80) ausgeführt.

Bild 3 zeigt das Ergebnis einer Befragung von Heizungsbauern aus dem Jahre 2001 [28].

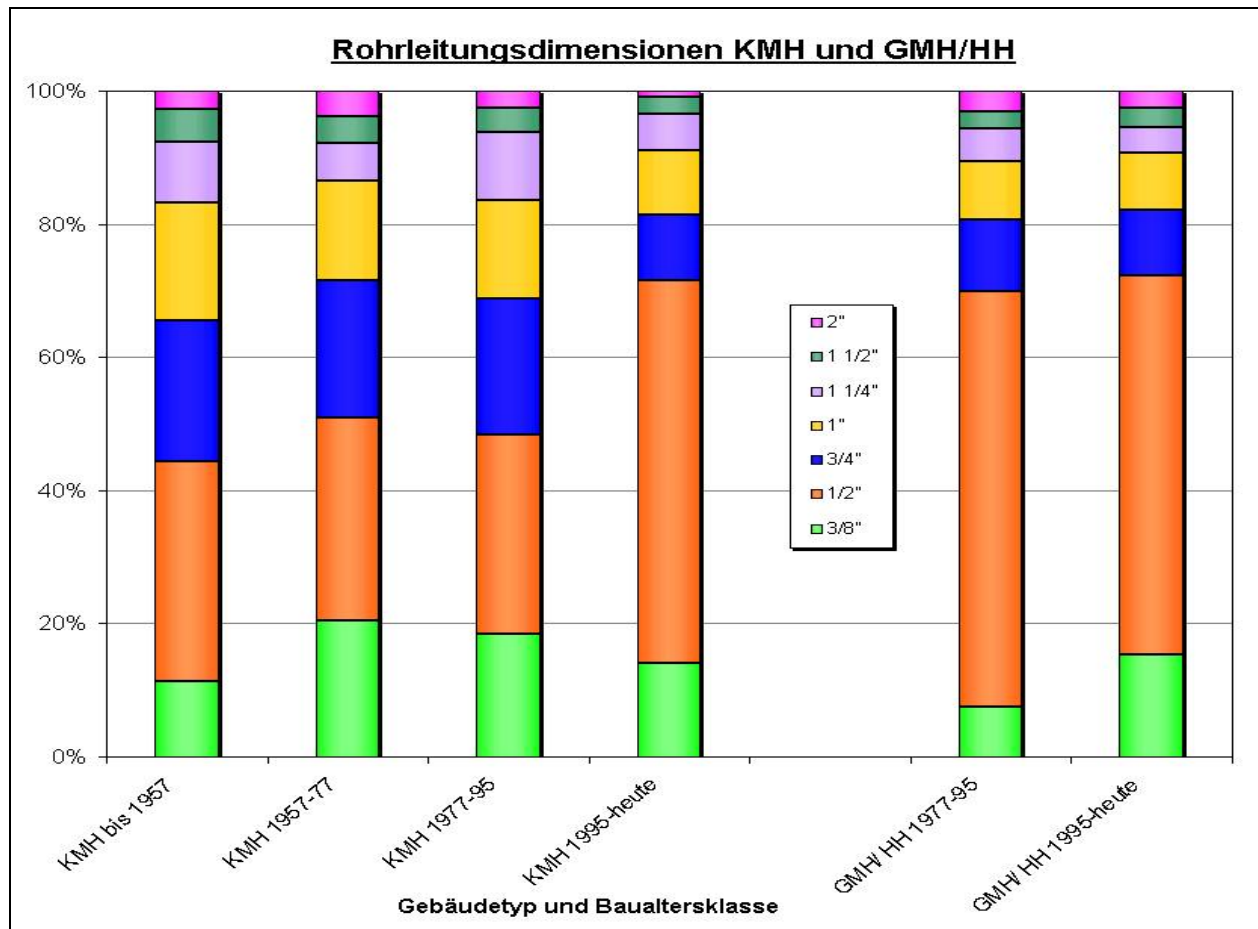


Bild 3 Typische Dimensionen von Heizungsleitungen [28]

Überschlägige Schätzung von Gesamtleitungen der Zweirohrnetze

Für eine überschlägige Abschätzung der Längen auf Basis der Nettogrundfläche können die Ansätze in Tabelle 8 dienen. Es ist die beheizte Nettogrundfläche entweder des Gebäudes oder einer Wohnung einzusetzen. Die Prozentangaben betreffen die Anteil von Anbindeleitungen (A), Steigesträngen (S) und Verteilungen (V).

I Etagenringtyp (waagerechte Leitungsringe)	II Etagenverteiltertyp (Netz mit Etagenverteiler)	III Steigestrangtyp (vertikale Verteilung)
$1,57 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{0,90}$	$1,08 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{0,97}$	$1,63 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{0,88}$
A: 40 % S: 3 % V: 57 %	A: 81 % S: 6 % V: 13 %	A: 49 % S: 28 % V: 24 %

Tabelle 8 Formeln für Gesamtleitungslängen Heizung [17]

Für ein 1000 m² großes Mehrfamilienhaus ergeben sich Gesamtlängen von 790 m, 880 m und 710 m für die drei Netztypen. Das entspricht einer Verlegedichte von 0,71 ... 0,88 m/m².

Wenn sich im Gebäude 10 Wohnungen mit wohnungswiseiser Versorgung befinden, ergeben sich zusammen 990 m bzw. 940 m für die Netztypen I und II. Der Steigestrangtyp kommt nicht vor. Die Verlegedichte beträgt 0,94 ... 0,99 m/m².

3.2.2 Trinkwarmwasserversorgung

In Mehrfamilienhäusern sind zu ca. 80 - 90 % gebäude- und wohnungszentrale und 10 – 20 % dezentrale Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung vorhanden. Eine Markteinschätzung zeigt Bild 4 [28].

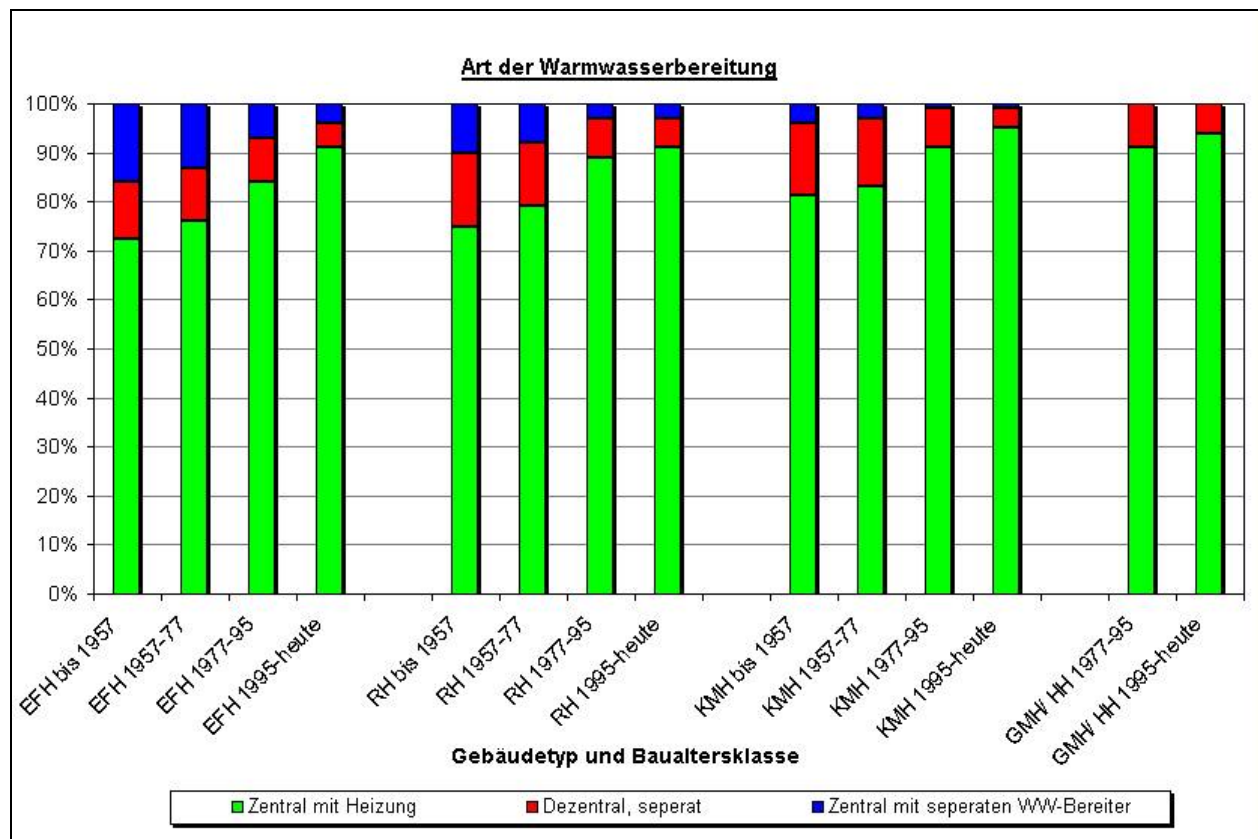


Bild 4 Häufigkeit der Systeme zur Trinkwarmwasserbereitung [28]

Gebäude- und wohnungszentrale Systeme

Bei der zentralen Trinkwarmwasserbereitung wird das Trinkwasser in einem Speicher oder zentralen Durchlaufwasserheizer erwärmt und dann über Warmwasserleitungen im Gebäude bzw. der Wohnung verteilt. Um einen gewissen Komfort zu gewährleisten und Wartezeiten an den Zapfstellen zu vermeiden, werden im Mehrfamilienhaus bei gebäudezentraler Versorgung Zirkulationsleitungen installiert. Außerdem wird durch die Zirkulation des Wassers Stagnation vermieden und somit der Keimbildung im Netz vorgebeugt.

Der Nachteil der zentralen Systeme sind höhere Installations- und Materialkosten sowie Verteilverluste und ggf. Speicherverluste. Die Beheizung bei indirekt beheizten Speichern oder Wärmeübertragern zur Warmwasserbereitung kann praktisch durch eine beliebige Kesselanlage oder sonstige Wärmequelle realisiert werden. Hierin besteht auch der besondere Vorteil – jedoch nur der gebäudezentralen Warmwasserbereitung – die Nutzung von Solarenergie, Biomasse oder auch Fernwärme als Wärmequelle.

Dezentrale Systeme

Bei der dezentralen Trinkwarmwasserbereitung erhält ein Verbraucher bzw. eine kleine Gruppe an Verbrauchern einen Kleinspeicher oder Durchlauferhitzer in dem das Trinkwarmwasser erwärmt wird. Energieträger ist in der überwiegenden Zahl der Fälle Strom, seltener Gas.

Der Vorteil dieser Anlagenkonzeption liegt darin, dass es nur minimale Speicher- und Verteilnetzverluste gibt. Die Installation ist günstiger. Nachteilig ist die derzeit meist nicht vorhandene Möglichkeit, Solarthermie, Fernwärme oder biogene Brennstoffe als Energieträger zu verwenden.

Verlegeorte

Für eine Modernisierung von Netzen ist es entscheidend, ob Leitungen frei zugänglich, bedingt zugänglich oder nicht zugänglich sind. Eine Befragung von Heizungsbauern [28] ergibt, dass bei typischen Mehrfamilienhäusern:

- ca. 25 – 35 % des Netzes frei zugänglich unter Kellerdecken oder vor Wänden liegen und somit problemarm geändert werden könnten,
- ca. 25 – 35 % des Netzes in Schächten, abgehängten Decken oder Bodenkanälen liegen und damit bedingt zugänglich für eine Modernisierung sind,
- ca. 40 – 50 % des Netzes im Altbau, aber 60 – 70 % bei neueren Gebäuden in der Konstruktion, d.h. Decken, Böden oder Wänden liegen und praktisch nicht zugänglich sind.

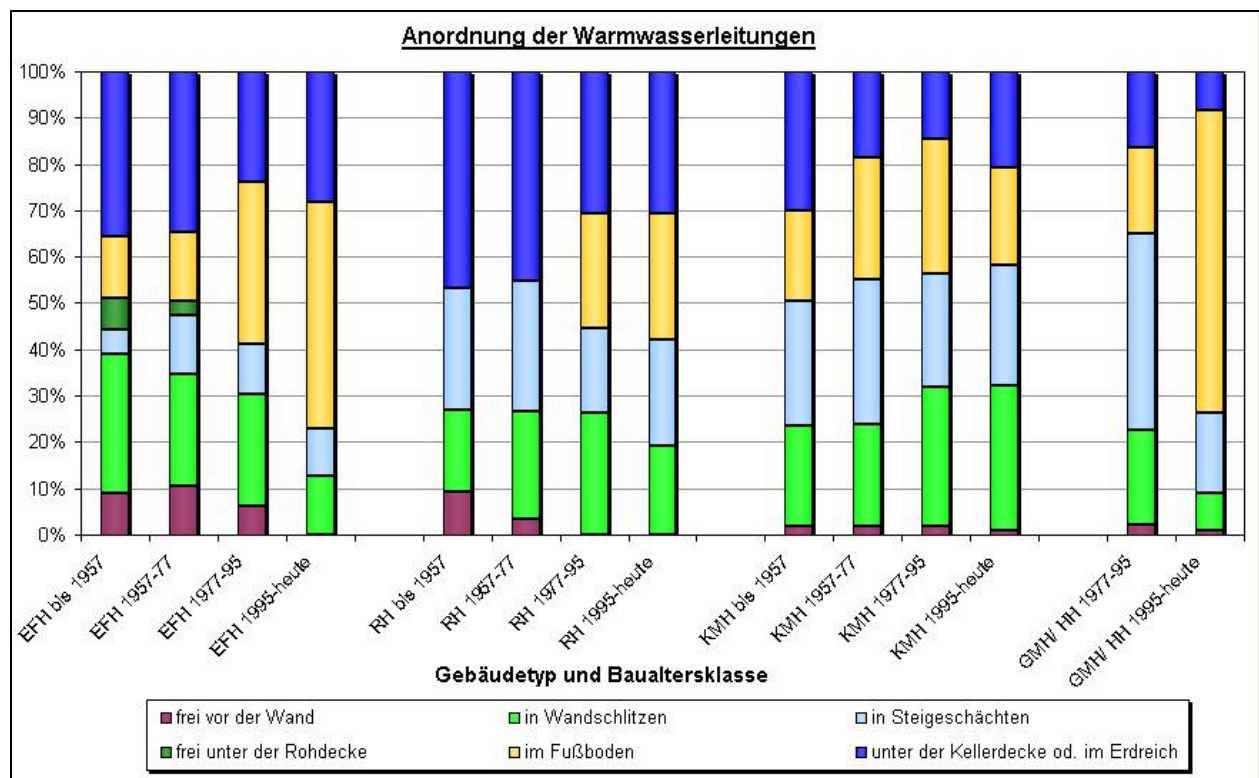


Bild 5 Anordnung von Trinkwarmwasserleitungen [28]

Dimensionen

Um abzuschätzen, welche Wärmeverluste Leitungen in unbeheizten Räumen haben bzw. auch welche internen Wärmeeinträge aus den Netzteilen innerhalb der beheizten Räume resultieren, werden die Dimensionen von Leitungen benötigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass bei zentralen Trinkwarmwasseranlagen in Mehrfamilienhäusern:

- die Sticleitungen überwiegend in Durchmessern zwischen $\frac{3}{8}$ " (DN 10) und $\frac{3}{4}$ " (DN 20) ausgeführt werden,
- die Steigeleitungen und Verteilleitungen in Dimensionen zwischen $\frac{3}{4}$ " (DN 20) und $1 \frac{1}{4}$ " (DN 35), jeweils mit Zirkulationsleitungen eine Dimension geringer zwischen $\frac{1}{2}$ " (DN 15) und 1 " (DN 28), ausgeführt werden.

Überschlägige Schätzung von Gesamtleitungen

Für eine überschlägige Abschätzung der Längen auf Basis der beheizten Nettogrundfläche können die Ansätze in Tabelle 9 dienen. Die Prozentangaben betreffen die Anteile von Anbindeleitungen (A), Steigesträngen (S) und Verteilleitungen (V).

I Steigestrangstyp (überwiegend vertikale Verteilung)	II Ebeneverteiltertyp (je Etage waagerechte Verteilung)	III Dezentral (wohnungszentrale Systeme)
$0,44 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{0,98}$	$0,21 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{1,09}$	$0,09 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}}/\text{m}^2]^{1,00}$
V: 30 % S: 35 % A: 35 %	V: 66 % S: 2 % A: 32 %	A: 100 %

Tabelle 9 Formeln für Gesamtleitungslängen Trinkwarmwasser mit Zirkulation [17]

Für ein 1000 m² großes Mehrfamilienhaus ergeben sich Gesamtlängen von 380 m und 390 m, wenn eine gebäudezentrale Versorgung unterstellt wird. Das entspricht einer Verlegedichte von 0,4 m/m² bei den Zentralnetzen.

Bei wohnungszentraler Versorgung von 10 Wohneinheiten á 100 m² ergeben sich in Summe 90 m, also knapp 0,1 m/m². Die echte dezentrale Versorgung mit mehreren Durchlauferhitzern direkt an der Zapfstelle hat praktisch kein Netz.

3.2.3 Kombinierte Netze

In den letzten Jahren werden mit steigender Tendenz kombinierte Heizungs- und Trinkwarmwassernetze verlegt. Der Anteil solcher Versorgungssysteme im Bestand ist insgesamt – nach Einschätzung der Autoren – jedoch sehr gering.

Von einer Heizungszentrale werden nicht 4 Leitungen für Heizung und Trinkwarmwasser getrennt in die Wohnungen geführt, sondern nur 2, siehe Bild 6. Die Auskopplung von Heizwärme erfolgt entweder in den Wohnungen direkt oder mit Übergabestation. Das Trinkwarmwasser wird per Übergabestation bereit. Das System hat in der Regel keine wohnungsweisen Speicher und es gibt in der Wohnung keine Zirkulation.

Eine umgekehrte Auskopplung von Heizwärme aus dem Trinkwarmwasserkreislauf wird in der Praxis nicht gebaut. Es ist rechtlich unklar, ob dies zulässig wäre. Trinkwasser ist nur als Lebensmittel zu verwenden, nicht für andere Zwecke – zum Beispiel als Wärmeträger.

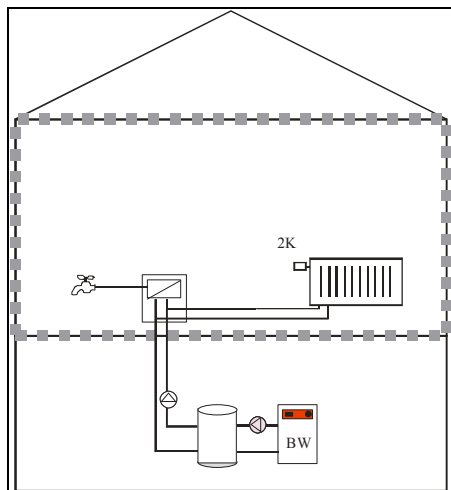


Bild 6 Schema einer kombinierten Versorgung mit 2-Leiter-Netz

Mit dem System ist die Nutzung regenerativer Energien, z.B. einer thermischen Solaranlage möglich.

Temperaturniveaus und Betriebsweisen

Es sind verschiedene Betriebsweisen denkbar, wobei jeweils die Warmwasserbereitung dezentral durch einen Plattenwärmeübertrager erfolgt:

- ganzjähriger Betrieb des Zentralnetzes auf ca. 65°C mit Auskopplung von Trinkwarmwasser in den Wohnungen, keine witterungsgeführte Regelung der Heizung,
- ganzjähriger Betrieb des Zentralnetzes auf ca. 65°C mit Auskopplung von Trinkwarmwasser in den Wohnungen, witterungsgeführte Regelung der Heizung je Wohneinheit,
- witterungsgeführter Betrieb des Zentralnetzes mit Auskopplung von Trinkwarmwasser in den Wohnungen sowie zusätzlicher elektrischer Nachheizung in der Übergabestation,
- witterungsgeführter Netzbetrieb sowie reine Solareinspeisung im Sommer mit Auskopplung von Trinkwarmwasser in den Wohnungen sowie zusätzlicher elektrischer Nachheizung in der Übergabestation.

Je nach System bestehen unterschiedliche (zusätzliche) Verteilverluste. Heute noch üblich ist der Betrieb des Zentralnetzes auf Temperaturen von über 65°C zur Erzielung ausreichend hoher Trinkwarmwassertemperaturen. Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf solche zentralen Zweileiternetze im Wettbewerb mit rein dezentralen Systemen konzentrieren.

Veränderung der Leitungsverluste

Das System weist eine geringere Anzahl von Steigesträngen und Verteilleitungen im unbeheizten Bereich auf. Es kann geschätzt von einer Halbierung dieser Leitungsteile ausgegangen werden (2- statt 4-Leiternetz).

Die vorhandenen Steigestränge und Verteilleitungen im unbeheizten Bereich sind jedoch um ein bis zwei Rohrdimensionen größer als üblich. Dies ergibt eine Erhöhung des längenbezogenen U-Wertes um ca. 5 – 20 % (gleiche Dämmung vorausgesetzt). Besser ist daher eine erhöhte Dämmung (Dämmdicke > Nenndurchmesser).

Insgesamt ergibt sich eine mögliche Verminderung der Wärmeverluste. Die Einsparung hängt von der Art der Betriebsführung (Temperaturen, Abschaltzeiten) und der Einbindung lokaler Nacherwärmung (elektrisch) ab. Das Potenzial durch eine optimierte Betriebsweise ist dabei im Vergleich zum 4-Leiternetz größer, da die Temperaturen deutlich geringer sein können. Während die TWW-Zirkulationstemperaturen im 4-Leiternetz aus Gründen der Legionellenprophylaxe auf mindestens 55°C gehalten werden müssen, entfällt diese Anforderung hier. Praxiserfahrungen aus Hannover zeigen, dass bei entsprechender Auslegung der Heizflächen in Kombination mit einer Volumenstromregelung Spreizungen von 55/35°C mit Nachtabsenkungen von 5 K auch für die TWW-Bereitung ausreichen.

Die Messergebnisse aus dem Concerto-Projekt (siehe Kapitel 5.5) decken sich jedoch nicht mit den theoretischen Analysen und ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen Objekten mit 2- und 4-Leitersystem, obwohl sich die Gebäude hinsichtlich Größe, Dämmstandard und Mieterklientel nicht nennenswert unterscheiden. Über die Ursachen (unzureichende Regelung mit überhöhten Vorlauftemperaturen, Unterschiede in der Bauausführung, ggf. auch Verluste der Fernwärmeübergabestation) können zurzeit nur Vermutungen angestellt werden. Eine genauere zeitliche Auswertung der Verluste, die Aufschluss über die genauen Ursachen geben könnte, war nicht möglich, da Tageswerte zu den Temperaturen und Wärmemengen nur für die zentrale Fernwärmestation, nicht aber für die Wohnungsstationen verfügbar sind.

3.2.4 Sonderbauformen

Als Sonderausführung, die im Bestand nur in seltenen Fällen anzutreffen ist, soll die Rohr-in-Rohr-Installation ergänzend erwähnt werden. Sie wird für die Trinkwarmwasserversorgung, v. a. im mehrgeschossigen Mehrfamilienwohnbau eingesetzt. In einem Doppelmantelrohr strömen das Warmwasser (inneres Rohr) und das Zirkulationswasser (Mantelrohr) im Gegenstromprinzip.

Es ist von einer Halbierung der vertikal verlegten Verteilleitungen und Steigestränge im Gebäude auszugehen. Die längenbezogenen Wärmeverluste steigen jedoch bei nicht angepasster Dämmdicke an, da das Rohr einen größeren Querschnitt hat.

Insgesamt ergibt sich eine Verminderung der Wärmeverluste um ca. 20 – 30 % bei ansonsten gleichen Randdaten.

Auch die elektrische Begleitheizung ist als Sonderbauform zu nennen. Der Wärmeverlust eines solchen Systems ist etwa 30 - 50 % geringer als bei Einsatz von Zirkulation, da ein Rohr (allerdings das mit dem geringeren Durchmesser) entfällt. Rohrbegleitheizungen kommen im Wohnbau praktisch nicht vor.

Beide Systeme werden im Rahmen des Berichtes nicht weiter verfolgt. Die Rohr-in-Rohr-Installation wurde allerdings in den Steigesträngen des TWW-Netzes bei den Concerto-Objekten (vgl. Kap. 5.5) eingesetzt, ohne jedoch näher analysiert zu werden.

3.2.5 Häufigkeit des Vorkommens von Versorgungs- und Netztypen

Über die Relevanz der unterschiedlichen Wärmeversorgungs- bzw. Verteilsysteme finden sich in der Literatur nur vereinzelt Angaben. Es wurde daher unter fünf großen Wohnungsunternehmen in Hannover eine Umfrage durchgeführt und mit Hilfe der Stadtwerke Hannover die Zählerstruktur analysiert, um daraus Aussagen zum Anteil zentral bzw. dezentral beheizter Mehrfamilienhäuser abzuleiten.

Die Ergebnisse sind im Vergleich mit Literaturangaben ([21], [31]) in Tabelle 10 dargestellt. Die betrachteten Wohnungsunternehmen repräsentieren bezogen auf die Zahl der Wohnungen rd. 12 % des hannoverschen Mehrfamilienhausbestandes bzw. bei einem geschätzten Anteil privater Vermieter bzw. Wohnungseigentümergeinschaften von 50-60 % etwa 25-30 % des Bestandes hannoverscher Wohnungsbaugesellschaften.

	Zentrale Heizung und TWW-Bereitung	Zentrale Heizung, wohnungszentrale bzw. dezentrale TWW-Bereitung	Wohnungszentrale Heizung
Spar- und Bauverein	19%	7%	74%
Gundlach	30%	49%	21%
GBH		70%	30%
meravis		95%	5%
ZVK		55%	45%
VdW Niedersachsen		87%	13%
Deutschland	60%	26%	15%

Tabelle 10: Beheizungsstruktur im Mehrfamilienhausbestand

Während für Deutschland ein Anteil von 85 % des Wohnungsbestandes angegeben wird, die zur Wärme- bzw. TWW-Versorgung mit einem Verteilnetz von der Heizzentrale zu den Wohnungen geleitet wird, liegt dieser Anteil bei den ausgewerteten Wohnungsbaugesellschaften in Hannover im Durchschnitt bei lediglich 60 %. Die teilweise extremen Unterschiede zwischen den einzelnen Gesellschaften zeigen, dass der Versorgungstyp offenbar weniger von regionalen Besonderheiten als durch unternehmensspezifische "Philosophien" geprägt wird.

Hinsichtlich der verschiedenen Netztypen sowie deren Zugänglichkeiten und Dämmstandard lassen sich folgende Angaben machen:

- Insgesamt dominiert offenbar der Etagentyp mit 65-95 % [28], wobei der Anteil bei kleineren und neueren Mehrfamilienhäusern steigt. Bei den befragten hannoverschen Unternehmen gibt es große Unterschiede: beim Spar- und Bauverein dominiert ebenfalls der Etagentyp mit rd. 80 % (je zur Hälfte stern- bzw. ringförmige Verteilung), während bei Gundlach über 90 %, der Wohnungen über Steigestränge zu den Heizkörpern erschlossen werden, die übrigen Unternehmen konnten keine Angaben machen.
- Das 2-Leitersystem hat eine untergeordnete Bedeutung: ca. 10 % bei Gundlach, kein Einsatz beim Spar- und Bauverein
- Die Verteilleitungen sind noch zu rd. 85 % nicht nach den gültigen Vorschriften gedämmt [21] [31] und nur zu 55-65 % (bei neueren Gebäuden nur zu 20-30 %) auf Putz bzw. in Schächten bzw. Kanälen verlegt und damit für eine nachträgliche Dämmung zugänglich [28]. Die beiden hannoverschen Unternehmen geben einen Anteil von 80-90 % nicht zugängliche Leitungen außerhalb bzw. 60-95% in den Wohnungen an.

3.3 Energetische Betrachtungen

Anhand von Kennwerten zur verlegten Leitungslänge und zu längenbezogenen Wärmeverlusten können Wärmeverluste an den unbeheizten Bereich und Wärmeeinträge in den beheizten Bereich abgeschätzt werden. Darüber hinaus wird für den energetischen und wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Verteilnetzlösungen auch die Effizienzbewertung des Wärmeerzeugers benötigt.

3.3.1 Verteilverluste Heizung

Die Verteilleitungslängen von Heizungsleitungen in Mehrfamilienhäusern können mit Verlegedichten nach Bild 7 abgeschätzt werden. Für unterschiedliche Gebäudetypen mit 4 bis 48 Wohneinheiten ergeben sich Verlegedichten für die zentralen Zweirohrheizungen zwischen 0,5 ... 0,9 m/m². Die wohnungswise Verlegung erhöht die Leitungsdichte auf 1,1 ... 1,5 m/m². Bei Einrohrheizungen ist sie mit 0,4 ... 0,5 m/m² deutlich geringer. Die zugrunde liegenden Zahlen entstammen der Felduntersuchung zu Verteilnetzen [17].

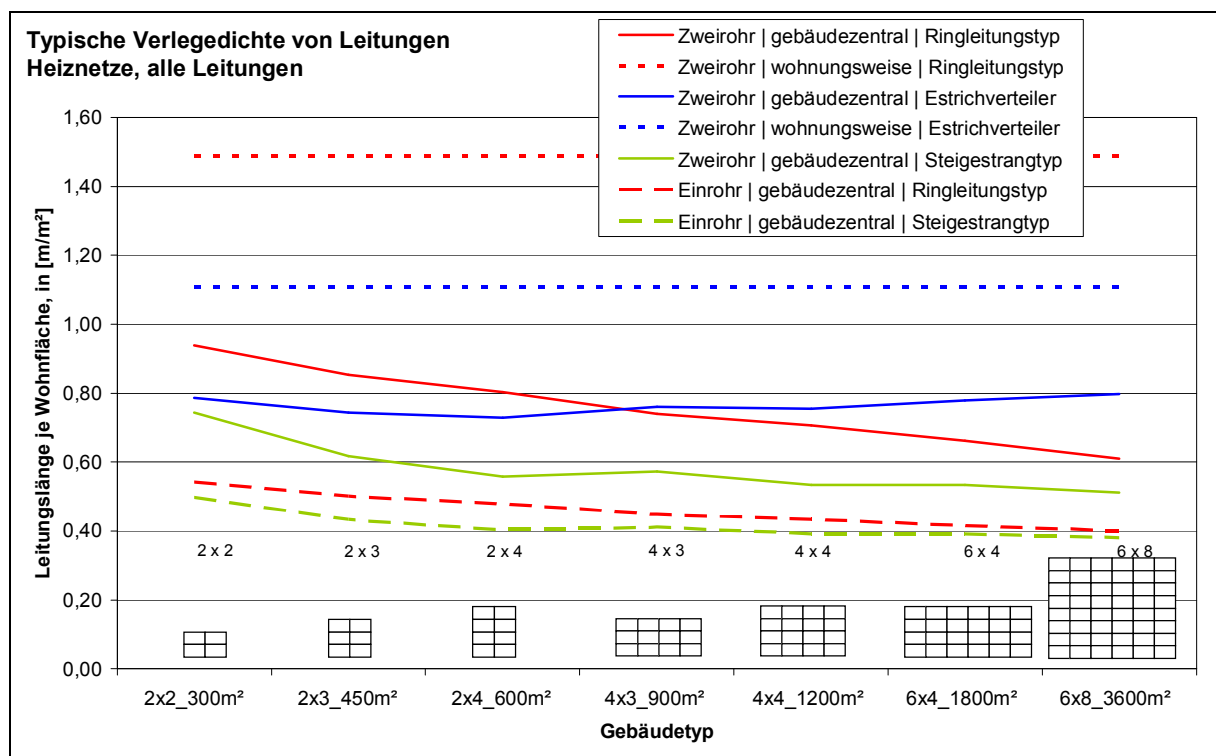


Bild 7 Typische Verlegedichte von Heizungsleitungen

Bild 8 zeigt die Leitungen im unbeheizten Bereich, Bild 9 die Verlegedichte im beheizten Bereich. Wenn die Netze als klassischer Steigestrangtyp ausgeführt sind, liegt viel Rohr im unbeheizten Bereich. Bei kleinen Gebäude und bei geringer Geschosshöhe 30 ... 40 %. Der Wert nimmt mit steigender Gebäudegröße und -höhe ab auf unter 20%.

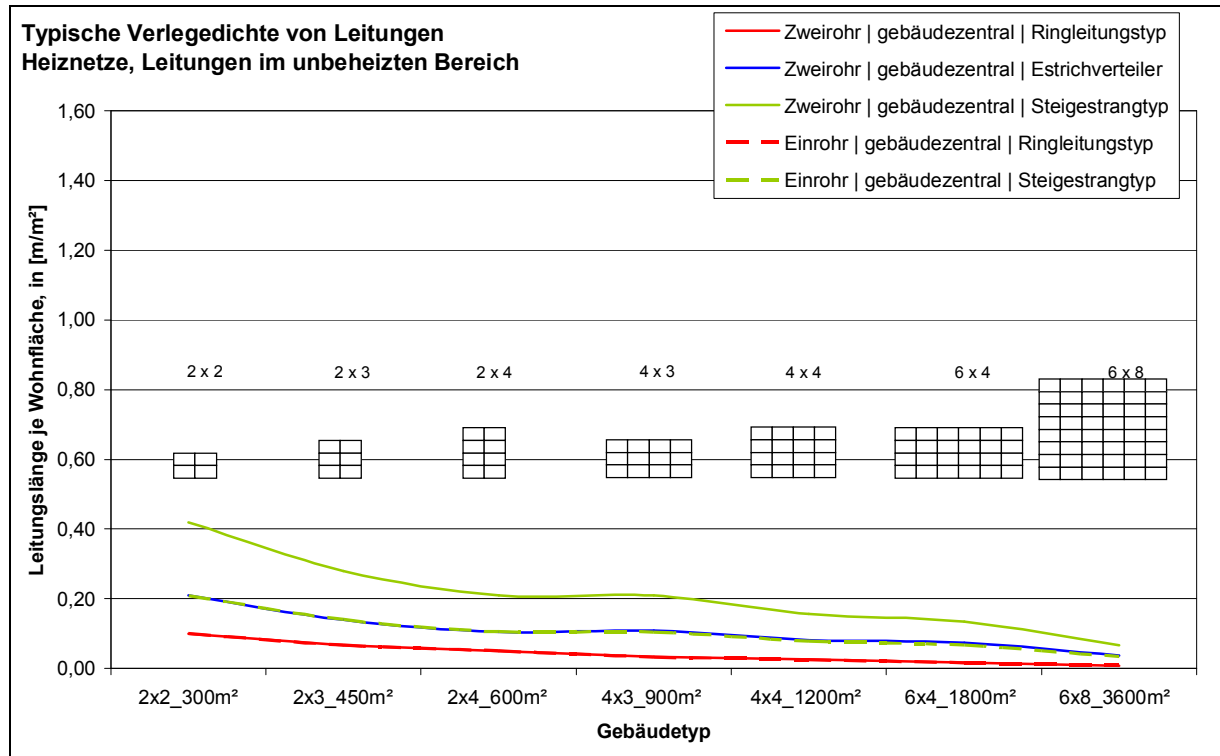


Bild 8 Typische Verlegedichte von Heizungsleitungen – unbeheizter Bereich

Im beheizten Bereich ergeben die Systeme mit Etagenverteiler sehr große Verlegedichten um 0,7 m/m². Bei Netzen mit Zusammenschluss von übereinander liegenden gleichen Räumen (Steigestrangtyp) ergibt sich die geringste Verlegedichte von ca. 0,4 m/m².

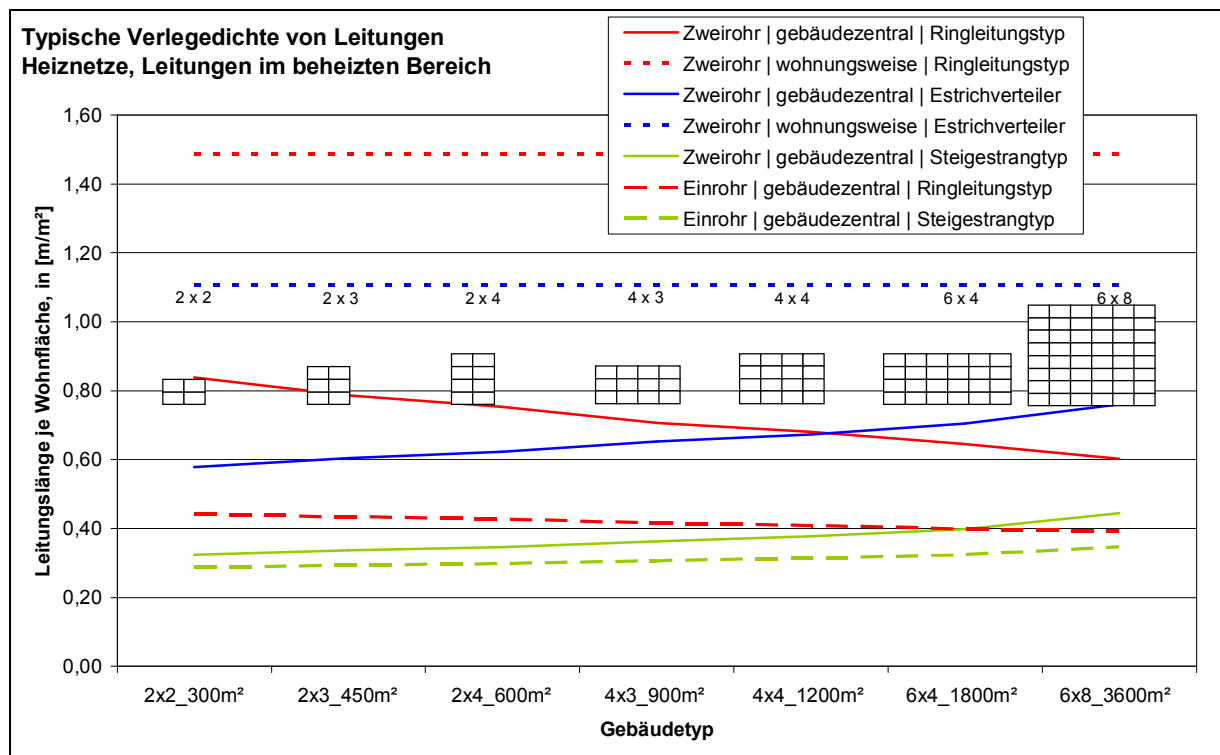


Bild 9 Typische Verlegedichte von Heizungsleitungen – beheizter Bereich

Die Wärmeabgabe von Heizungsleitungen kann für Zweirohrheizungen dem Diagramm in Bild 10 entnommen werden, für Einrohrheizungen Bild 11. Je nach Dimension der Leitung, Dämmung, Auslegungstemperatur, Verlegeort ergeben sich Kennzahlen von 5 ... 100 kWh/(m · a).

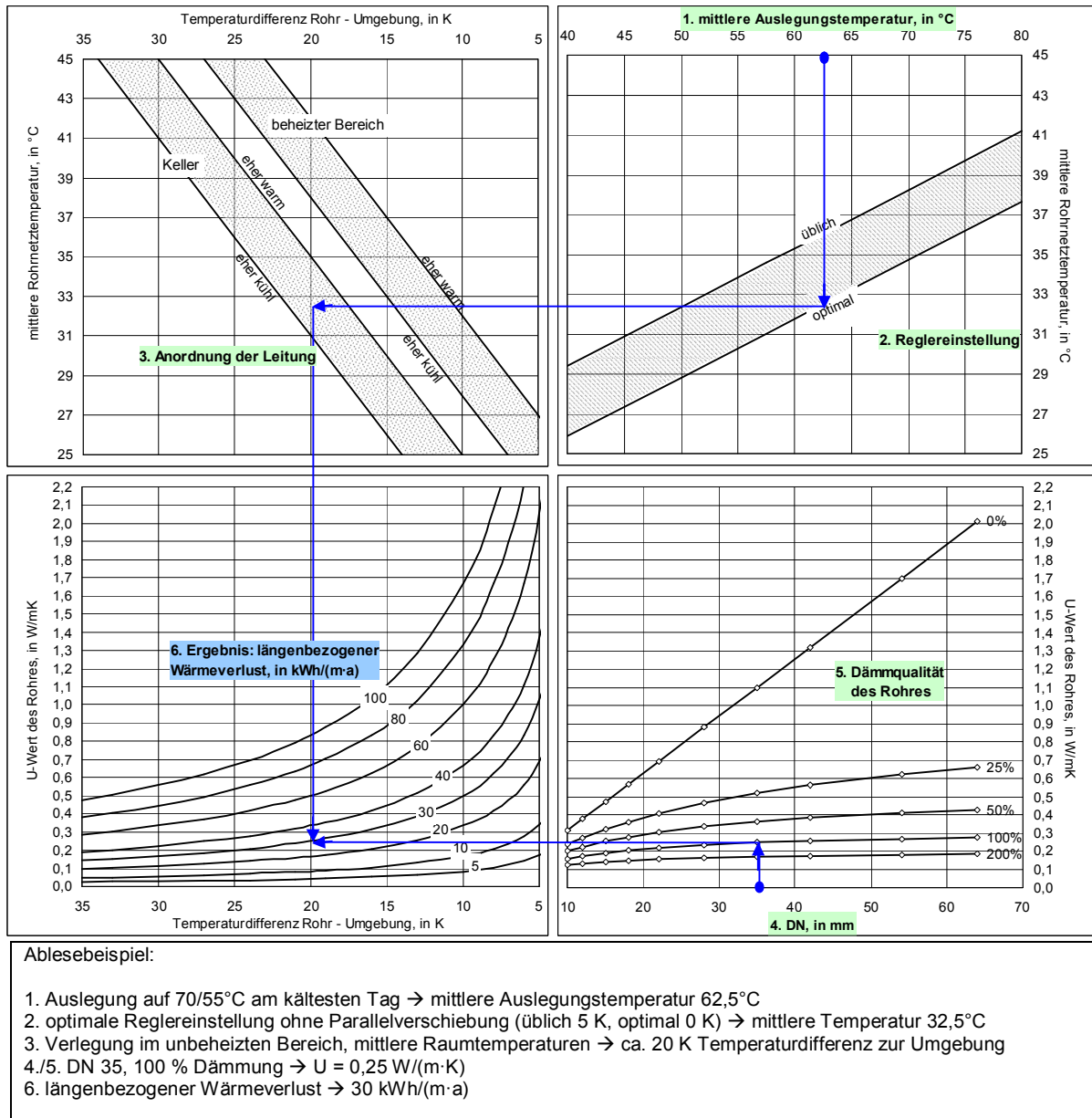


Bild 10 Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizungsleitungen – Zweirohr

Die Darstellung berücksichtigt keine Effekte des vorhandenen oder nicht vorhandenen hydraulischen Abgleichs.

Eine nach EnEV gedämmte Heizungsleitung, ausgelegt auf 70/55°C, verlegt im unbeheizten Bereich weist Verluste um die 30 kWh/(m · a) auf, eine nicht gedämmte Einrohrheizungsleitung in DN 35 im beheizten Bereich etwa das Vierfache, d.h. 120 kWh/(m · a).

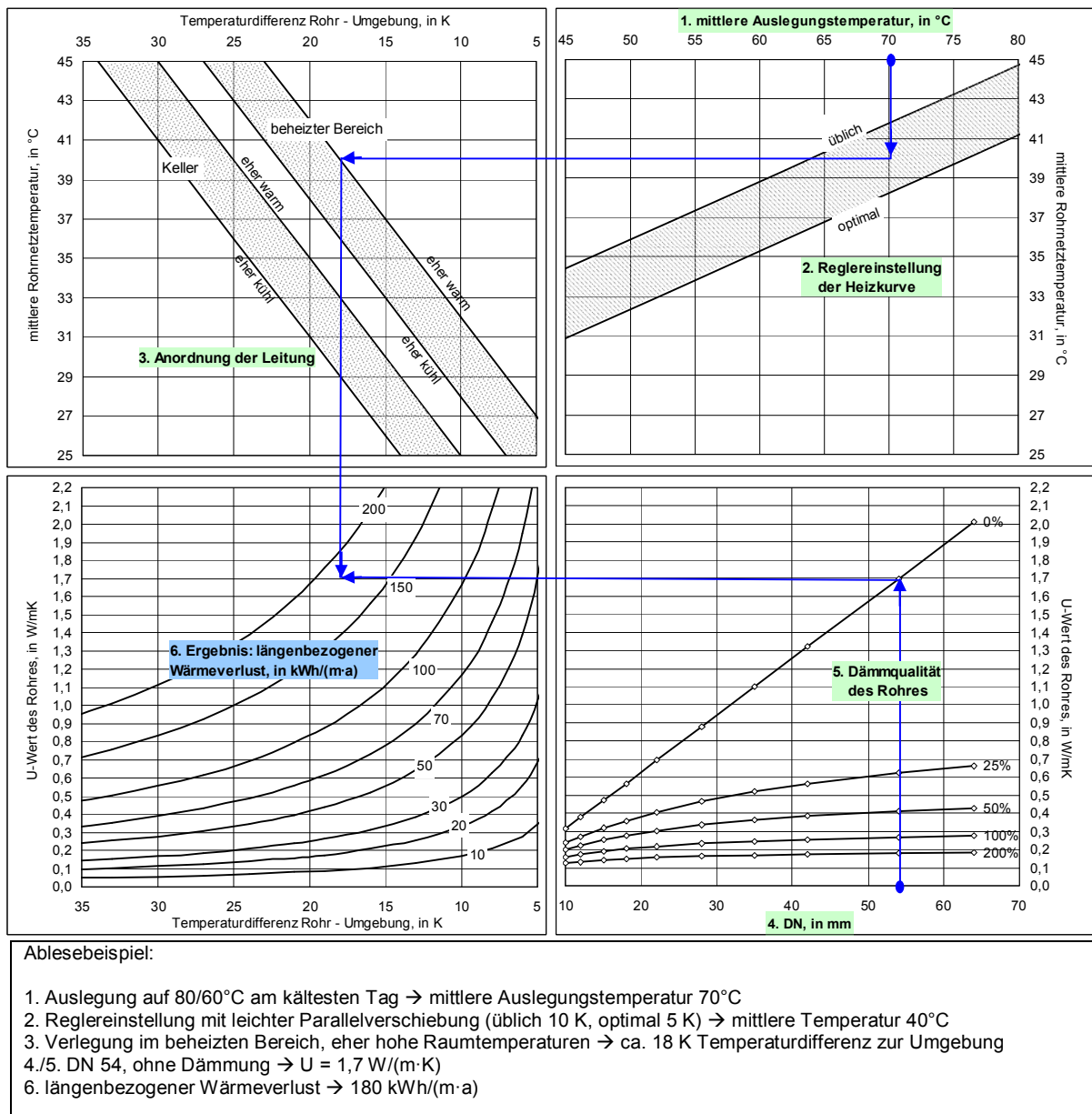


Bild 11 Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizleitungen – Einrohr

Anwendung

Für ein 900 m² großes Mehrfamilienhaus ergibt Bild 8 eine Verlegedichte von Leitungen im unbeheizten Bereich von ca. 0,1 m/m², wenn das Verteilsystem mit Estrichverteiler installiert ist. Nach Bild 9 liegen weitere 0,65 m/m² Leitungen im beheizten Bereich. Installiert sind überschlägig:

- Verteilleitungen im Keller: 0,10 m/m²
- Leitungen im beheizten Bereich: 0,65 m/m²

Für die Verluste eines auf 55/45 °C ausgelegten Systems ergibt Bild 11 typische Kennwerte:

- der Verteilleitungen (Annahme DN 35, 100 % Dämmung): 25 kWh/(m · a)
- der Leitungen im Beheizten (Annahme DN 15, 0 ... 25 % Dämmung): 15 kWh/(m · a)

Die Verlust- und Gewinnkennwerte für das Gebäude im Bereich Heizung ergeben sich zu:

- Verteilungen: $25 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot 0,10 \text{ m}/\text{m}^2 = 2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Leitungen im Beheizten: $15 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot 0,65 \text{ m}/\text{m}^2 = 9,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Gesamtverluste aller Leitungsbereiche: $12,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Gesamtwärmeeintrag in den beheizten Bereich: $9,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

3.3.2 Verteilverluste Trinkwarmwasser

Die Verteilleitungslängen in Mehrfamilienhäusern können anhand typischer Verlegedichten abgeschätzt werden. Beispielhaft zeigt Bild 12 die Kennwerte für unterschiedliche Gebäudetypen mit 4 bis 48 Wohneinheiten. Die zugrunde liegenden Zahlen entstammen der Felduntersuchung zu Verteilnetzen [17].

Es zeigt sich, dass Verlegedichten von $0,25 \dots 0,3 \text{ m}/\text{m}^2$ für zentrale Netze sowie $0,1 \text{ m}/\text{m}^2$ für dezentrale Netze üblich sind. Bei Gebäuden mit großer Höhe und geringer Breite ist die Netzdichte i. A. geringer.

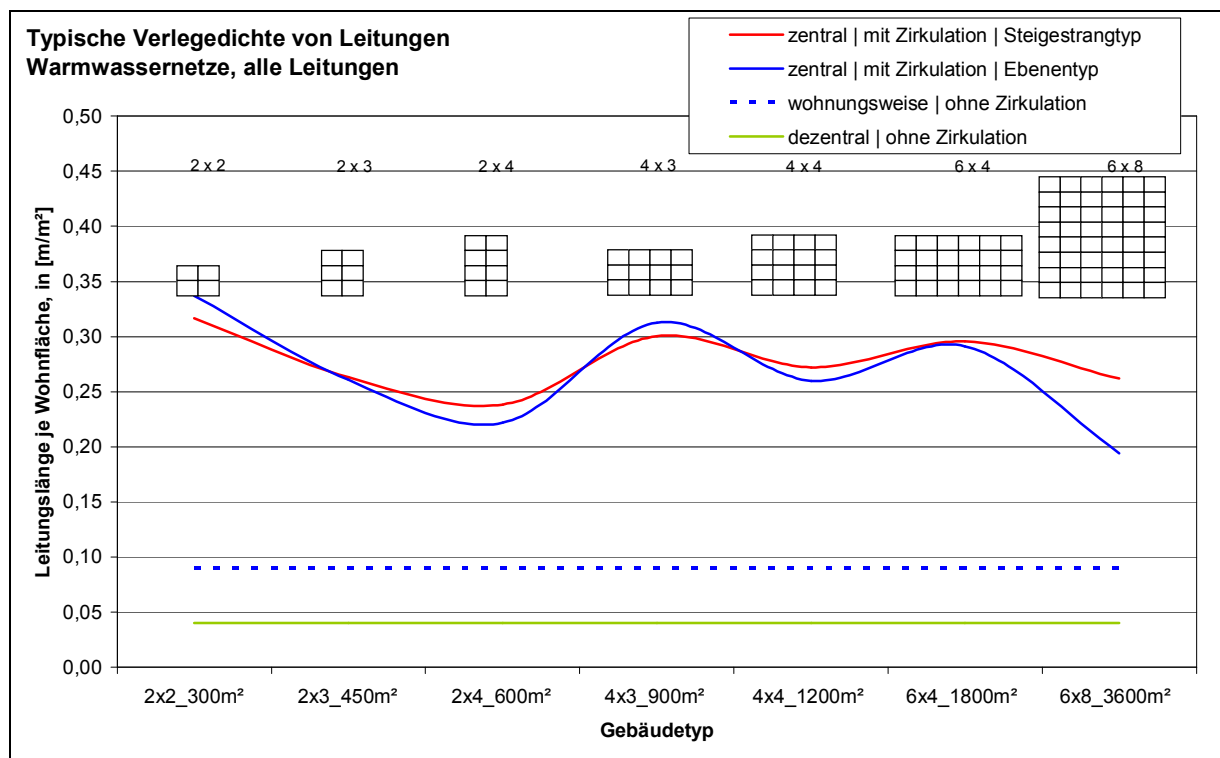


Bild 12 Typische Verlegedichte von Trinkwarmwasserleitungen

Bild 13 gibt einen Überblick über den Anteil von Leitungen im unbeheizten Bereich, Bild 14 über die Verlegedichte im beheizten Bereich. Sofern die Netze mit dem üblichen Zusammenschluss von übereinander liegenden Sanitärräumen ausgeführt sind, liegen etwa $1/3 \dots 2/3$ aller Leitungen im unbeheizten Bereich, mit steigender Gebäudegröße und -höhe nimmt der Anteil ab.

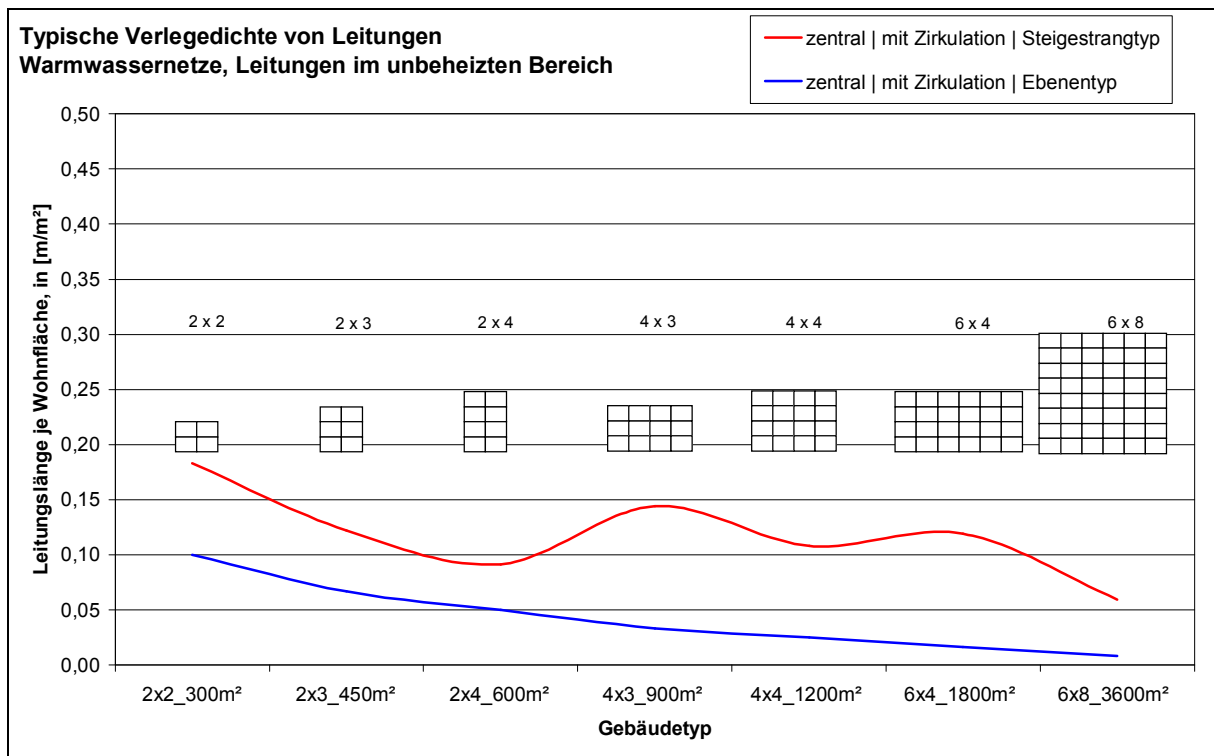


Bild 13 Typische Verlegedichte von Trinkwarmwasserleitungen – unbeheizter Bereich

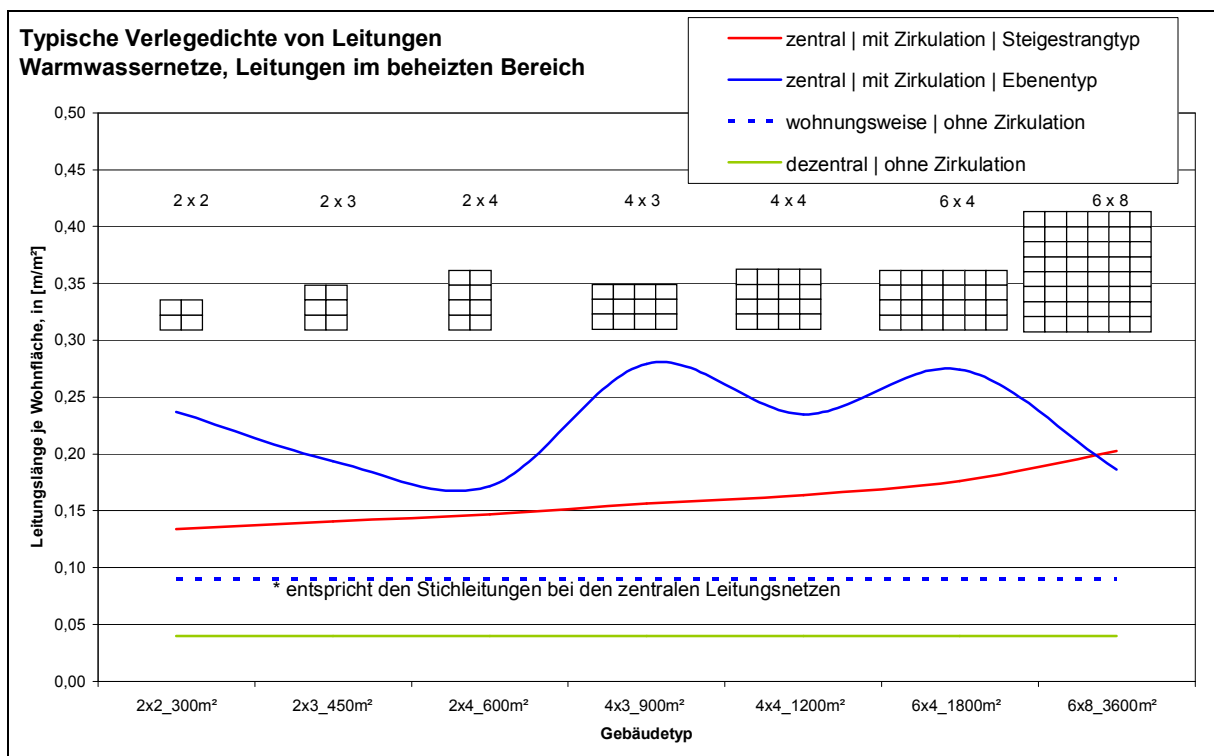


Bild 14 Typische Verlegedichte von Trinkwarmwasserleitungen – beheizter Bereich

Die Wärmeabgabe von Trinkwarmwasserleitungen kann dem Diagramm in Bild 15 entnommen werden. Je nach Dimension der Leitung, Dämmung, Zirkulationsdauer, Verlegeort ergeben sich Kennzahlen von 10 ... 200 kWh/(m · a).

Eine nach EnEV gedämmte Zirkulationsleitung im unbeheizten Bereich weist Verluste um die 50 kWh/(m · a) auf, eine wenig gedämmte Stichleitung im beheizten Bereich etwa die Hälfte, d.h. 25 kWh/(m · a).

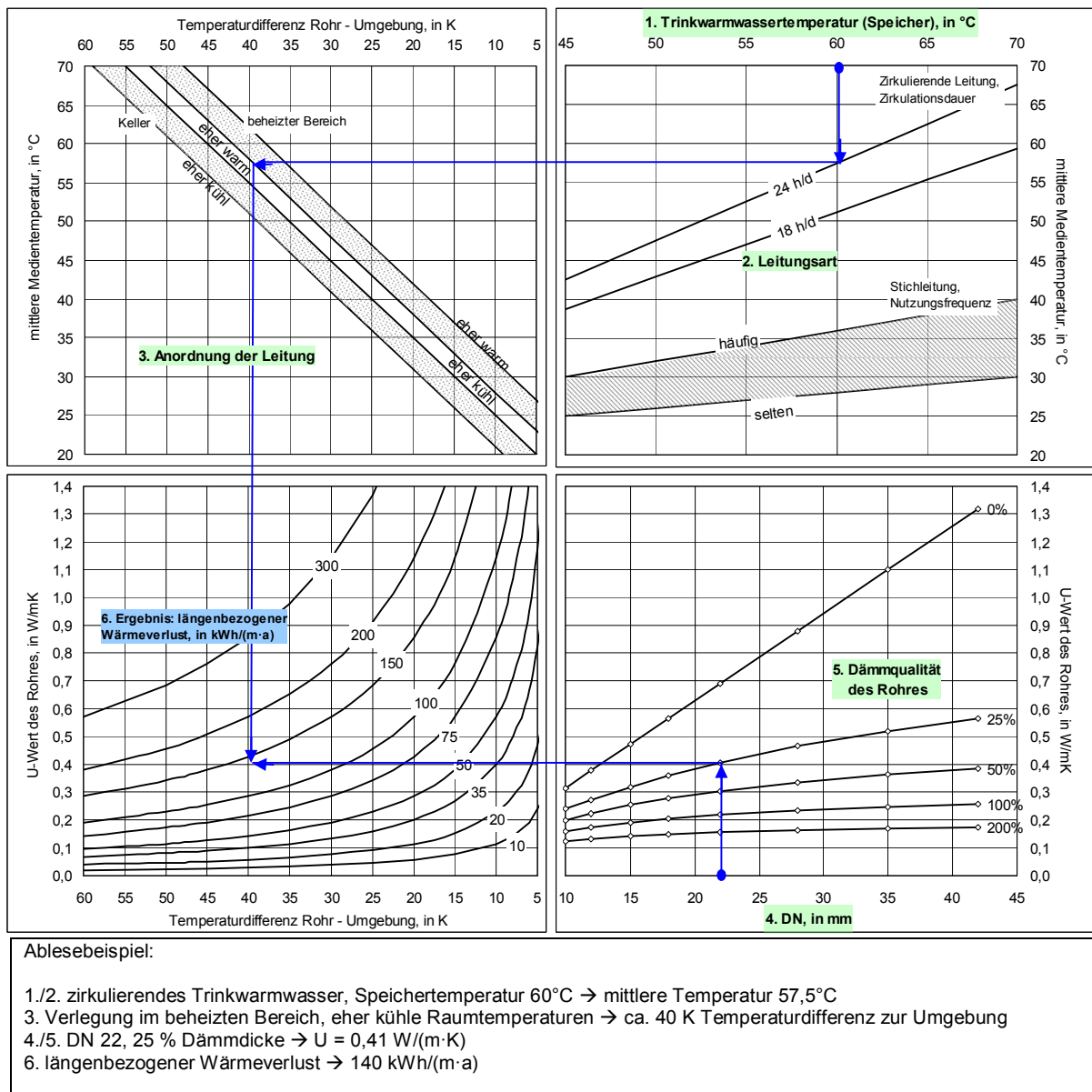


Bild 15 Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Trinkwarmwasserleitungen

Anwendung

Für ein 900 m² großes Mehrfamilienhaus ergibt Bild 14 eine Verlegedichte von Leitungen im beheizten Bereich von ca. 0,16 m/m². Etwa 0,09 m/m² davon sind Stichleitungen. Nach Bild 13 liegen weitere 0,15 m/m² Leitungen im unbeheizten Bereich. Installiert sind überschlägig:

- Verteilleitungen im Keller: 0,15 m/m²
- Steigestränge im beheizten Bereich: 0,07 m/m²
- Stichleitungen im beheizten Bereich: 0,09 m/m²

Für die Verluste ergibt Bild 15 typische Kennwerte:

- der Verteilleitungen (Annahme DN 35, 100 % Dämmung): 100 kWh/(m · a)
- der Steigestränge (Annahme DN 22, 50 % Dämmung): 100 kWh/(m · a)
- der Stichleitungen (Annahme DN 10, 0 % Dämmung): 35 kWh/(m · a)

Die Verlust- und Gewinnkennwerte für das Gebäude im Bereich Trinkwarmwasser ergeben sich zu:

- der Verteilleitungen: $100 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot 0,15 \text{ m}/\text{m}^2 = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- der Steigestränge: $100 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot 0,07 \text{ m}/\text{m}^2 = 7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- der Sticleitungen: $35 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot 0,09 \text{ m}/\text{m}^2 = 3,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Gesamtverluste aller Leitungsbereiche: $25,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- davon Gesamtwärmeeintrag in den beheizten Bereich: $10,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Innerhalb der Heizperiode gibt das Netz an die beheizten Räume etwa 70 % der Wärmemenge ab; der Rest entfällt auf den Sommer.

- Gesamtwärmeeintrag in den beheizten Bereich in der Heizperiode: $7,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Weiterführende Literatur – Brillinger Studie

Zwei Studien der Fraunhofer Gesellschaft [1] [2] analysieren den Einfluss der Trinkwarmwasserverteilungsverluste auf den Endenergieeinsatz und die Wirtschaftlichkeit. Verglichen werden zentrale und dezentrale Systeme der Trinkwarmwasserbereitung im energetisch modernisierten Bestand. In neuen und energetisch modernisierten Gebäuden sinkt der Raumheizenergiebedarf, die Anteile der Verteilverluste am Gesamtenergiebedarf nehmen deutlich zu.

Die Studie untersucht vier Gebäudetypen, ein Einfamilienhaus, ein Reihenhaus, zwei Mehrfamilienhäuser (8, 16 WE). Die Untersuchung erfolgt per Simulation. Es werden fest definierte Zapfsimulationen durchgeführt, um ein durchschnittliches Verbraucherverhalten vorzugeben. Die Wohnungen werden mit unterschiedlicher Personenbelegung durchgerechnet.

In der ersten Studie [1] werden verschiedene Untersuchungen am Gesamtsystem vorgenommen. Für die beiden Mehrfamilienhäuser sind relevant:

- doppelte Dämmdicke der Leitungen: führt zu 3 – 8 % Einsparung; der Einfluss ist bei zirkulierenden Leitungsteilen größer als bei den Sticleitungen,
- gemeinsame Dämmung der Rohre in einer Dämmschale: ergibt Wärmeverluste wie bei einer doppelten Dämmung und spart zudem Platz bei der Installation.

Die zweite Studie [2] untersucht zentrale und dezentrale Versorgungssysteme (keine wohnungszentralen Systeme).

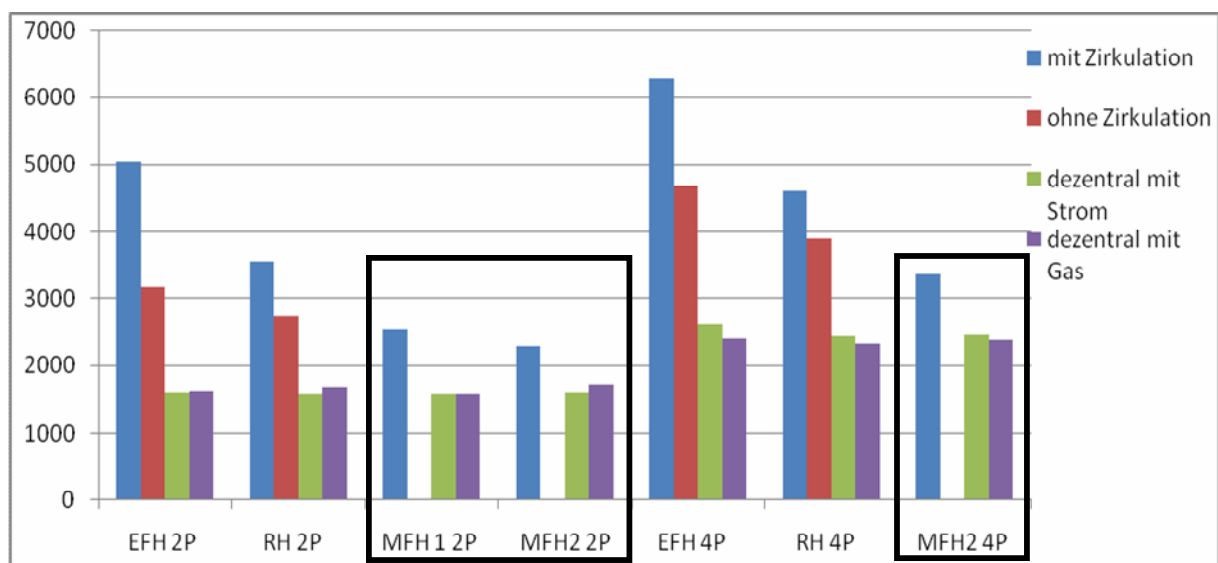


Bild 16 Endenergie für die Warmwasserbereitung, in kWh/a, Werte nach [2]

Die für die Mehrfamilienhäuser relevanten Lösungen sind eine zentrale Warmwasserbereitung mit permanenter Zirkulation, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung und die dezentrale Warmwasserbereitung mit Gas. Es wird in jedem Fall ein zentraler Gasbrennwertkessel für die Heizung eingesetzt. Die Ergebnisse für die Endenergie zeigt Bild 16, wobei bereits die Heizwärmegutschriften abgezogen sind.

Endenergetisch schneiden in den MFH die dezentralen Lösungen besser ab. Das CO₂-Äquivalent ist bei der Stromlösung am höchsten und bei der dezentralen Gaslösung am geringsten. Aus Sicht der Gesamtkosten schneidet die Zentrallösung mit Gas am besten ab. Es wird von dezentralen Lösungen abgeraten; die Stromlösung weist zu hohe Betriebskosten auf, die Gaslösung zu hohe Anschaffungs- und Wartungskosten.

3.3.3 Speicherverluste

Es entstehen bei der zentralen Warmwasserbereitung zusätzlich zu den Verteilverlusten auch Verluste für Speicherung des Warmwassers. Um eine Abschätzung des zu erwartenden Verlustes treffen zu können, sollen nachfolgend Ansätze zur Verlustberechnung aufgezeigt werden.

Die Wärmeverluste für Speicherung des Warmwassers können nach folgender Grundformel berechnet werden:

$$Q_{s,W} = \dot{Q}_s \cdot 8,760 \text{ kh} / a \text{ mit } \dot{Q}_s = U_S \cdot (\vartheta_{S,i} - \vartheta_{S,a}) \cdot V_S$$

Das Speichervolumen ist abzuschätzen, z.B. mit Hilfe von Bild 17. Als Temperaturen sind Speicher- und Umgebungstemperaturen einzusetzen. Der volumenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient U_S zur Berechnung der Verlustleistung des Speichers kann in Abhängigkeit des Speichervolumens Bild 18 entnommen werden.

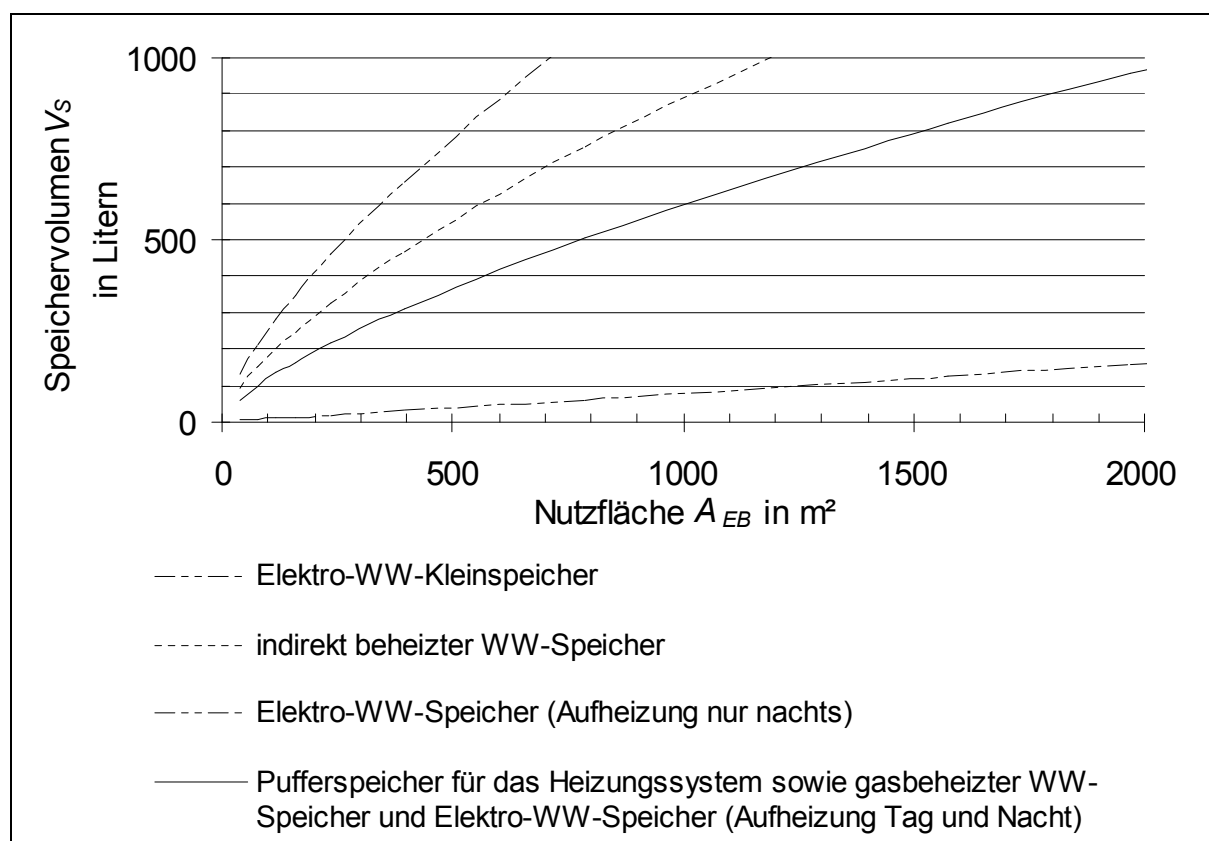


Bild 17 Abschätzung von Speichervolumina [27]

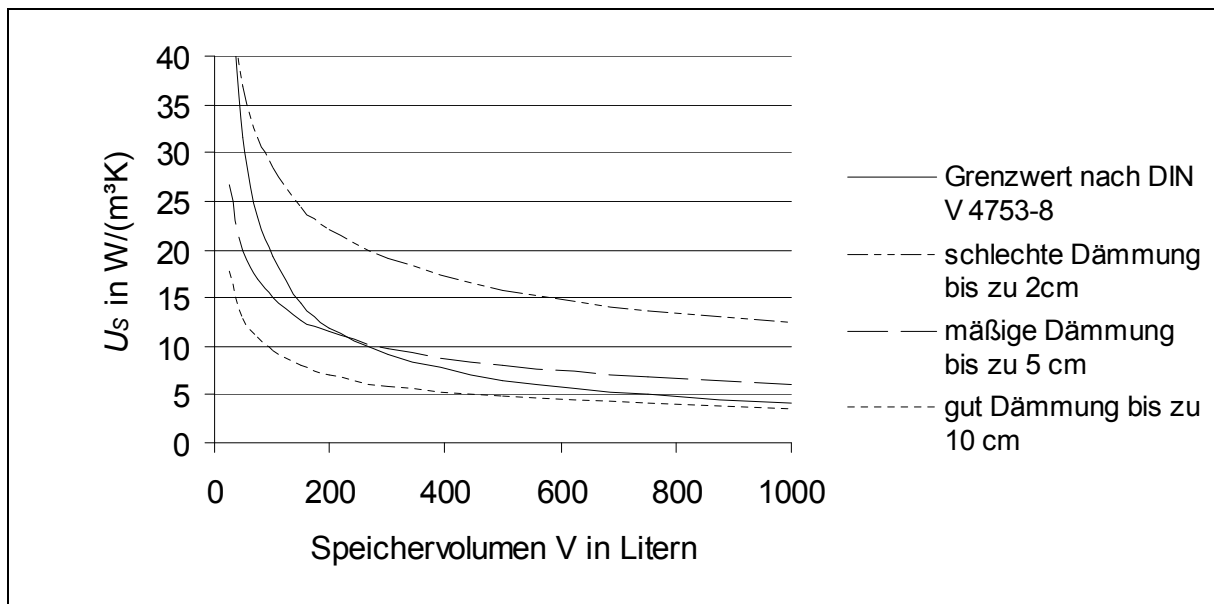


Bild 18 Volumenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für Speicher [27]

Anwendung

Für ein 900 m² großes Mehrfamilienhaus ergibt Bild 17 ein Speichervolumen für einen indirekt beheizten Speicher von 850 l. Bild 18 liefert für einen gut gedämmten Speicher einen Wärmeverlust von 4 W/(m³K).

Sofern Trinkwarmwasser mit 60°C bevorratet wird und der Speicher in einem 15°C kalten Keller steht, beträgt der Verlust:

- $\dot{Q}_S = U_S \cdot (\vartheta_{S,i} - \vartheta_{S,a}) \cdot V_S = 4 \frac{W}{m^3K} \cdot (60 - 15)K \cdot 0,85m^3 = 153W$
- $Q_{s,W} = \dot{Q}_S \cdot 8,760 \text{ kh} / a = 153W \cdot 8,760 \text{ kh} / a = 1340kWh / a$

Umgerechnet auf die beheizte Fläche sind dies 1,5 kWh/(m²a).

3.3.4 Erzeugereffizienz und Gesamtvergleiche

Die Effizienzen möglicher zentraler oder dezentraler Erzeuger können mit Hilfe der Literatur [27] [5] [4] abgeschätzt werden. In Frage kommen:

- als Wohnungserzeuger:
 - Kessel (Gas, ggf. Öl, ggf. Holzpellets),
 - künftig Mikro-BHKW (Gas, Öl),
 - Wärmepumpen (Abluft),
- als Zentralerzeuger zusätzlich:
 - BHKW (Gas, Öl),
 - Wärmepumpen (Außenluft, Erdreich, Grundwasser),
 - Nah- und Fernwärme
 - Solarthermie
- für die dezentrale Trinkwarmwasserbereitung oder als Heizung eines Passivhauses (Direktheizung): Strom

Beim Vergleich von zentralen und dezentralen Verteilnetzkonzepten spielt die Effizienz des Erzeugers eine Rolle. Je größer der Abstand einer besseren Effizienz des Zentralerzeugers gegenüber dem dezentralen Erzeuger, desto eher lassen sich Verteilnetzverluste rechtfertigen.

Die Tendenz zentraler Erzeuger geht jedoch eindeutig in Richtung Verkleinerung der Leistungen und Erhöhung der Effizienz von Kleingeräten. Dies ist beispielsweise bei Gasbrennwertkesseln zwischen 1990 und heute zu beobachten. Dieser Trend spricht aus Sicht des Gasverbrauchs für eine Dezentralisierung, weil die zentrale Lösung keinen Energieeffizienzvorteil mehr hat. Allerdings ist in der zentralen Lösung ein geringerer Pumpenstromverbrauch zu verzeichnen.

Vergleiche von Konzepten

Um Konzepte energetisch zu vergleichen sind die Endenergien, die Endenergiekosten und/oder der Ressourcenverbrauch heranzuziehen. Beispiel für die Trinkwarmwasserversorgung eines 900 m² großen Mehrfamilienhauses:

- zentrale Variante:
 - Nutzwärmemenge: 16 kWh/(m²a)
 - Verteilverluste im beheizten Bereich: 10 kWh/(m²a),
davon 7 kWh/(m²a) als Heizwärme nutzbar, daher Nettoverlust 3 kWh/(m²a),
 - Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereiches: 15 kWh/(m²a)
 - Speicherverluste außerhalb des beheizten Bereiches: 2 kWh/(m²a)
 - Endenergie mit Kesselnutzungsgrad 90 %: 40,0 kWh/(m²a)
 - Energiekosten mit 0,07 €/kWh: 2,8 €/m²a)
 - Ressourcenverbrauch mit Umrechnungsfaktor 1,0 [37]: 40,0 kWh/(m²a)

- dezentrale Variante:
 - Nutzwärmemenge: 16 kWh/(m²a)
 - Verteilverluste im beheizten Bereich: 3 kWh/(m²a),
davon 2 kWh/(m²a) als Heizwärme nutzbar, daher Nettoverlust 1 kWh/(m²a),
 - Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereiches: 0 kWh/(m²a)
 - Speicherverluste außerhalb des beheizten Bereiches: 0 kWh/(m²a)
 - Endenergie von Elektrodurchlauferhitzern: 17 kWh/(m²a)
 - Energiekosten mit 0,22 €/kWh: 3,7 €/m²a)
 - Ressourcenverbrauch mit Umrechnungsfaktor 2,35 [37]: 40,0 kWh/(m²a)

Die Endenergie der zentralen Variante ist mehr als doppelt so hoch. Die Energiekosten sind 25 % geringer, der Ressourcenverbrauch ist etwa gleich hoch. Es gibt keinen eindeutigen Vorteil für eine der Lösungen. Bei zukünftig erhöhtem regenerativen Anteil der Stromerzeugung wird der Ressourcenverbrauch der dezentralen Variante geringer.

3.3.5 Nutzereinflüsse

Aus einer 2007 veröffentlichten Untersuchung der Berliner GASAG an 6200 Berliner Wohnungen ergibt sich ein großer Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Gasverbrauch [25]. Verglichen werden Gebäude mit wohnungszentraler und gebäudezentraler Gasversorgung. Es zeigt sich, dass der witterungsbereinigte Energiekennwert der Objekte mit Zentralheizung bei 160 kWh/(m²a) liegt, während die wohnungsweise versorgten Objekte nur 118 kWh/(m²a) verbrauchen. Das ist ein Minderverbrauch von 26 % bzw. 42 kWh/(m²a).

Um Einflüsse des Baustandards auf die Ergebnisse auszuschließen wurde eine Stichprobe von ca. 2000 sanierten Objekten zusätzlich verglichen. Der Verbrauch der Gebäude mit Zentralheizung liegt bei 134 kWh/(m²a), die Etagenheizung benötigt 97 kWh/(m²a). Das ist eine Differenz von 28 % bzw. 37 kWh/(m²a).

Abgesehen von vermiedenen Verteilverlusten im unbeheizten Bereich sowie Steigesträngen und Speicherverlusten im Keller, wirkt hier das Nutzerverhalten zusätzlich stark verbrauchsmindernd. Dies reicht von Komforteinbußen in der Übergangszeit bis zu Komplettabschaltungen in der Urlaubszeit.

Beim Vergleich von Systemen ist dies als Richtkennwert anzusehen und zu berücksichtigen.

3.4 Investitions-, Modernisierungs- und Wartungskosten

Neben den energetischen Betrachtungen beinhaltet ein Systemvergleich auch Kosten für die Investition und Modernisierung sowie laufende Kosten der Wartung und Instandhaltung. Es ergeben sich ggf. Umbaukosten aufgrund eines Systemwechsels von zentraler zu dezentraler Versorgung (oder umgekehrt), die abgeschätzt werden.

3.4.1 Kosten der Modernisierung

Für die Modernisierung fallen in allen Versorgungs- und Netztypen Kosten an für:

- den Ersatz von Wärmeerzeugern inkl. Regelung,
- den Ersatz von Leitungsnetzen und ggf. Speichern,
- die Wärmedämmung von Leitungsnetzen,
- den Ersatz von Pumpen.

Typische Kostenfunktionen zeigt Tabelle 11 [18] [16] [14].

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
Allgemein			
Dämmung von Rohrleitungen	ohne bauliche Maßnahmen	$(0,06 \text{ €} \cdot [\text{DN}/\text{mm}] + 14 \text{ €}) \cdot [\text{L}/\text{m}]$	DN 12 bis 64
Solaranlage ohne Speicher	Flachkollektor	$600 \text{ €} \cdot [A_c/\text{m}^2]$	bis ca. 30 m ²
	Röhrenkollektor	$900 \text{ €} \cdot [A_c/\text{m}^2]$	
Heizung			
Ölkessel	Heizwert	$1000 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{K,N}/\text{kW}]^{0,5}$	bis ca. 500 kW
	Brennwert	$2500 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{K,N}/\text{kW}]^{0,3}$	
Gaskessel	Heizwert	$800 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{K,N}/\text{kW}]^{0,5}$	
	Brennwert	$700 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{K,N}/\text{kW}]^{0,6}$	
BHKW ohne Pufferspeicher	Gas	$3100 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,65}$	
	Öl	$6100 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,3}$	
Übergabestation Fernwärme	mit Warmwasserbereitung	$5300 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,1}$	bis ca. 100 kW
Wärmepumpe ohne Pufferspeicher	Sole ohne Kollektor	$2300 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,5}$	
	Außenluft	$3200 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,5}$	
Holzfeuerung	Stückholz	$3500 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,35}$	
	Hackgut	$6100 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,5}$	
	Pellets	$6600 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]^{0,5}$	
Elektroheizung	direkt	$160 \text{ €} \cdot [Q_{th}/\text{kW}]$	
Pufferspeicher		$350 \text{ €} \cdot [V/\text{l}]^{0,5}$	bis ca. 1500 l
Trinkwarmwasserbereitung			
Trinkwasserspeicher	monovalent, indirekt	$120 \text{ €} \cdot [V/\text{l}]^{0,5}$	bis ca. 1000 l
	bivalent, indirekt	$380 \text{ €} \cdot [V/\text{l}]^{0,3}$	
	Gas direkt beheizt	$700 \text{ €} + 8 \text{ €} \cdot [V/\text{l}]$	bis ca. 250 l
Elektrische WW-Bereitung	Kleinspeicher	$50 \text{ €} \cdot [V/\text{l}]^{0,65}$	bis ca. 15 l
	Durchlauferhitzer	$15 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_N/\text{kW}]$	bis ca. 20 kW

* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

Tabelle 11 Kosten für Erzeuger, Speicher, Rohrdämmung

Der Eins-zu-Eins-Ersatz von Leitungen innerhalb eines bestehenden Systems soll hier nicht näher betrachtet werden. Es handelt sich bei den Netzen um Bauteile mit extrem langer Lebensdauer (30 ... 50 Jahre). Die gebäudezentralen und wohnungszentralen Alternativen weisen ähnlich lange Leitungsnetze auf, so dass kaum Unterschiede in den Gesamtkosten eines Netzaustausches festzustellen sein dürften. Mit der Nachrüstung von Leitungsteilen im Zuge von Systemwechseln befasst sich Kapitel 3.4.2.

Der Ersatz von Pumpen und die damit verbundenen Kosten sind insgesamt vergleichsweise gering. Günstiger schneidet jedoch die zentrale Lösung ab, weil hier nur wenige Pumpen (1 ... 2 x Heizung, 1 x Zirkulation) installiert sind. Bei wohnungsweisen Alternativen ist als zusätzlicher Nachteil festzustellen, dass Pumpen häufig in den Erzeugern integriert sind.

Hinsichtlich des Ersatzes von Erzeugern können die in der Tabelle genannten Kennwerte verwendet werden. Sofern gleichzeitig eine Umstellung des Energieträgers erfolgt, fallen Zusatzkosten an. Gleiches gilt für Kosten eines Zentralisierungs- oder Dezentralisierungsvorhabens; hierzu siehe Kapitel 3.4.2.

3.4.2 Kosten der Energieträger- und Systemveränderung

Die Umstellung des Erzeugers auf einen anderen Energieträger kann Zusatzkosten verursachen, deren Höhe mit Hilfe von Tabelle 12 überschlägig bestimmt werden können.

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
Öltankanlage	Kellertank	$250 \text{ €} + 0,31 \text{ €} \cdot [V/l]$	bis ca. 2500 l
	Erdtank	$2750 \text{ €} + 0,31 \text{ €} \cdot [V/l]$	
Gasanschluss	von der Trasse	2000 €	pauschal
Schornstein	neu gemauert	$(35 + 0,25 \cdot [A/cm^2]) \text{ €} \cdot [H/m]$	bis 20 m und 600 cm ² Querschnittsfläche
	neu Edelstahl	$300 \text{ €} \cdot [H/m]$	bis 20 m
	Einzug Edelstahl	$120 \text{ €} \cdot [H/m]$	
	Einzug Kunststoff	$50 \text{ €} \cdot [H/m]$	
Fernwärmeanschluss	von der Trasse	$6800 \text{ €} \cdot [L/m]^{0,2}$	bis ca. 15 m

* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

Tabelle 12 Kosten für Anschlüsse, Tanks und Schornsteine

Systemveränderung

Unter einer Systemveränderung in Hinblick auf die Verteilnetze soll die Umstellung von gebäudezentraler auf wohnungszentrale Versorgung oder umgekehrt verstanden werden. Es müssen dazu:

entweder

- Gasleitungen gelegt, wohnungsweise Gasanschlüsse mit Zähler gesetzt, dezentrale Gaskessel installiert, ggf. der Schornstein saniert, Verteil- und Steigleitungen sowie der zentrale Erzeuger ggf. rückgebaut werden; im Falle von dezentralem Wärmepumpeneinsatz (Abluftwärmepumpen) ist die Liste sinngemäß zu ändern

oder

- ein zentraler Erzeuger installiert werden, ggf. ein Schornstein errichtet oder saniert und/oder bis in den Heizraum verlängert werden, Steigestränge und Verteilleitungen errichtet, ggf. eine Gasleitung sowie die dezentralen Erzeuger rückgebaut werden.

Die Kosten der neuen Erzeuger lassen sich mit Hilfe der Kennwerte in Tabelle 11 abschätzen. Falls eine Umstellung des Energieträgers oder eine Schornsteinsanierung erfolgen soll, ergeben sich Zusatzkosten, siehe Tabelle 12.

Die eigentliche Leitungsverlegung im Gebäude, die sich aus der Systemveränderung ergibt, löst Kosten aus, die teilweise mit Hilfe von Tabelle 13 geschätzt werden können. Es lässt sich pauschal jedoch nicht abschätzen, wie teuer die ggf. notwendige Verkleidung von neuen Leitungen im Innenraum sowie die Schaffung von Platz für einen dezentralen Erzeuger wird.

Komponente	Spezifikation	Kostenfunktion*	Einschränkung
Gasleitung im Gebäude		$(0,80 \text{ €} \cdot [DN/mm] + 5,80 \text{ €}) \cdot [L/m]$	Kupferrohr, DN 12 bis 64
Heizungs- oder Warmwasserleitung im Gebäude	ohne Dämmung	$(0,71 \text{ €} \cdot [DN/mm] + 4,50 \text{ €}) \cdot [L/m]$	
	50 % Dämmung	$(0,73 \text{ €} \cdot [DN/mm] + 4,50 \text{ €}) \cdot [L/m]$	
	100 % Dämmung	$(0,75 \text{ €} \cdot [DN/mm] + 4,50 \text{ €}) \cdot [L/m]$	
Durchbrüche		$36,8 \text{ €} \cdot [d/cm]^{0,2}$	bis ca. 64 cm Wanddicke d
Satellitenübergabestation	mit Warmwasserbereitung	$450 \text{ €} + 20 \text{ €} \cdot [Q_N/kW]$	bis ca. 50 kW

* jeweils inkl. Einbau und MWSt., aber ggf. zzgl. Planungskosten von ca. 20 %

Tabelle 13 Kosten für Leitungen und Durchbrüche

Es wird davon ausgegangen, dass eine Systemveränderung nur stattfindet, wenn es die vorhandenen Schornsteine zulassen oder keine Verbrennungstechnik zum Einsatz kommt.

3.4.3 Laufende Kosten für Wartung und Unterhaltung

Bei den wohnungsweisen Versorgungssystemen sind größere Kosten für Wartung und Unterhaltung festzustellen. Dies ist bedingt durch die größere Stückzahl von Erzeugern, die einzeln gewartet werden bzw. an denen Abgasmessungen durchzuführen sind. Die Netze selbst, welche unterschiedlich ausgeführt werden, spielen beim Vergleich von laufenden Kosten nur eine untergeordnete Rolle, wenn auch ein höherer Wartungsaufwand für die Gasleitungen der dezentral versorgten Wohnungen festzustellen ist. Tabelle 14 zeigt eine Zusammenstellung typischer Wartungsansätze nach LEG [8] mit eigenen Ergänzungen.

	jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten in Prozent des Anlagenwertes, in [%/a]
Blockheizkraftwerk	5,0 ... 6,0*
Wärmepumpen	3,0 ... 4,0*
Solaranlagen	3,0 ... 4,0*
Kesselanlagen	2,5 ... 3,5*
Fernwärmeanschluss	1,0 ... 2,0*
elektrische Heizung	0,5 ... 1,0

* die kleineren Werte gelten für größere Anlagen ab ca. 1000 m² Wohnfläche

Tabelle 14 Typische Ansätze für Wartung und Unterhalt von Erzeugeranlagen

Aus Vermietersicht sind – bis auf die Instandhaltung – alle laufenden Kosten der Wartung im Rahmen der Heizkostenverordnung umlagefähig. Aus Sicht der laufenden Kosten schneiden zentrale Lösungen besser ab.

3.5 Heizkostenabrechnung

Für alle gebäudezentralen Heizungssysteme sind Heizkostenabrechnungen zu erstellen. Je nach Ausführung der Leitungsnetze eignen sich Wärmemengenzähler oder Heizkostenverteiler, siehe Tabelle 15.

Versorgungsart	Netztyp Heizung	Abrechnung per Gaszähler	Abrechnung per Wärmemengenzähler	Abrechnung per Heizkostenverteiler
wohnungszentral	alle	x		
gebäudezentral, alle Energieträger	Etagenverteiltertyp		x	x
	Etagenringtyp		x	x
	Steigestrangtyp			x

Tabelle 15 Möglichkeiten der Heizkostenabrechnung – Heizungsverbrauch

Die Trinkwarmwasserbereitung unterliegt ebenfalls der Heizkostenabrechnung – zumindest sofern sie zentral erfolgt. Mögliche Ausführungen der Messung zeigt Tabelle 16.

Versorgungsart	Trinkwarmwasserbereitung	Abrechnung per Gaszähler	Abrechnung per Wärmemengenzähler	Abrechnung per Wasserzähler
wohnungszentral	alle Arten	x		
gebäudezentral, alle Energieträger	gebäudezentral		x (Pflicht ab 2014 auf Gebäudeebene)	x
	mit Wohnungsübergabestation		x (wohnungsweise zusammen mit Heizung)	

Tabelle 16 Möglichkeiten der Heizkostenabrechnung – Trinkwarmwasserverbrauch

Abrechnungsgerechtigkeit aufgrund von Wärmeverschiebung im Gebäude

Die wohnungsweise Abrechnung per Gaszähler (oder anderem Endenergiezähler) erscheint dem Nutzer als gerechteste Variante und regt ihn am meisten zum Sparen an, siehe Kapitel 3.3.5.

Alle Zentralversorgungen enthalten nach Heizkostenverordnung 30 ... 50 % anteilige Verbrauchskosten, die sich nur aus der Fläche und nicht aus dem Verbrauch ergeben. Das gilt auch für eine wohnungsweise Messung von Wärmemengen bei einer Zentralheizung. Es wird vermutet, dass hier die Einsparbemühungen der Nutzer geringer sind, weil subjektiv (und u. U. auch objektiv) die Höhe der Zahlung nur geringfügig beeinflussbar ist.

Hinsichtlich der Abrechnungsgerechtigkeit ist anzumerken, dass diese unabhängig von der Art der Versorgung oder des Verteilnetzes abnimmt, wenn der Dämmstandard des Gebäudes zunimmt. Weniger Wärmeströme verlassen das Gebäude nach außen und nehmen bei nur geringen Temperaturdifferenzen zwischen den Wohnungen den Weg über Innenwände. Die Beheizung eines Raumes kann zu großen Teilen von Nachbarräumen aus erfolgen.

Je höher der verbrauchsabhängige Anteil an den Heizkosten (und je geringer der flächenabhängige Anteil), desto ungerechter wird die Abrechnung im Niedrigstenergiegebäude. Insofern schneidet unter diesem Aspekt die wohnungsweise Abrechnung am schlechtesten ab.

Abrechnungsgerechtigkeit aufgrund der Verteilsysteme

Es ist für die Heizkostenerfassung relevant, ob Leitungsnetze der eigenen oder einer fremden Wohnung ungeregelt zu einer Erwärmung beitragen.

Versorgungsart	Netztyp Heizung	Heizkostenerfassung	Erfassung von Leitungsverlusten bei der Abrechnung	Anteil des Wärmeeintrags		
				wohnungsfremder Leitungen	wohnungseigener, aber nicht regelbarer Leitungen	regelbarer Leitungsabschnitte
wohnungszentral, Zweirohrheizung	Etagenverteiltertyp	Endenergiezähler	ja	keine	gering bis mittel*	gering bis mittel*
	Etagenringtyp	Endenergiezähler	ja	keine	mittel bis hoch*	sehr gering
gebäudezentral, Zweirohrheizung	Etagenverteiltertyp	Heizkostenverteiler	nein	gering	gering bis mittel*	mittel bis hoch*
		Wärmemengenzähler	größtenteils			
	Etagenringtyp	Heizkostenverteiler	nein	gering	mittel bis hoch*	sehr gering
		Wärmemengenzähler	größtenteils			
Steigestrangtyp	Heizkostenverteiler	nein	mittel bis hoch*	gering	gering	
gebäudezentral, Einrohrheizung	Etagenringtyp	Heizkostenverteiler	nein	gering	hoch bis sehr hoch*	sehr gering
	Steigestrangtyp	Heizkostenverteiler	nein	hoch bis sehr hoch*	gering	gering

* je nach Dämmstandard der Leitungen, bei besserer Dämmung sinkt der Anteil

Tabelle 17 Einfluss von Netzen auf die Heizkostenerfassung

In den Systemen, die als **Steigestrangtypen** ausgeführt sind, gibt es die geringsten absoluten Netzlängen und damit Wärmeeinträge aus Rohrleitungen. Allerdings ist hier die Abwärme aus regelbaren Leitungsabschnitten (Anbindeleitungen der Heizkörper im selben Raum wie die Heizkörper) gering. Es gibt außerdem fast keine zentralen Leitungen, die nur der Wohnung zuzuordnen wären. Fast der gesamte Wärmeeintrag des Leitungsnetzes stammt aus Leitungen, die nicht der zu versorgenden Wohnung und deren Heizkörpern zuzuordnen sind. Solche Netze führen – vor allem bei modernisierten Gebäuden – nur zu einer gerechten Heizkostenabrechnung, wenn die Steigleitungen gut gedämmt sind. Ist dies der Fall, ergibt sich ein sehr positives Bild hinsichtlich der Vermeidung möglicher Überwärmung.

Wenn die Leitungsnetze als **Etagenringtypen** ausgeführt sind, verlaufen zentrale Leitungen waagrecht, üblicherweise bei älteren Gebäuden auf oder in Sockelleisten. Die dem Heizkörper zuzuordnenden, regelbaren Leitungsabschnitte sind extrem kurz. Eine große Wärmeabgabe entstammt der Ringleitung, die meist je Wohnung separat verlegt ist. Es gibt kaum Wärmeeinträge aus Leitungen, die nicht zu der betreffenden Wohnung gehören, weil häufig nur ein Steigestrang die Wohnung quert. Hinsichtlich der Heizkostenabrechnung sind diese Netze gerechter, wenn der Etagenring nur zu betreffenden Wohnung gehört. Sofern keine Wärmeabgabe gewünscht wird, kühlt das waagrechte Netz in der Wohnung aus. Dieses Verteilnetz wird dann problematisch, wenn die Gebäude modernisiert werden und Leitungen ungedämmt bleiben. Die Wärmeabgabe der Ringleitung kann den Bedarf der Räume übersteigen. Nur mit Dämmung ist dieses Problem zu beseitigen.

Die **Etagenverteiltertypen** (Spaghettiverteilung) weisen ebenso nur wenige Leitungsabschnitte auf, die nicht unmittelbar zu der betreffenden Wohnung gehören (Steigestränge). Ein großer Teil der Leitungen sind Anbindeleitungen der Wohnungsheizkörper, die im Estrich verlegt sind. Deren Wärmeabgabe geht zurück, wenn die Heizkörperventile schließen. In Netzen dieser Art sind insgesamt die größten absoluten Leitungslängen installiert, es ergibt sich jedoch eine sehr gerechte Abrechnung. Kritisch bei dieser Ausführung sind die Wärmeeinträge in Wohnungsinnenflure bzw. in die Räume mit dem zentralen Verteiler. Bei gut gedämmten Gebäuden muss hier unbedingt auf eine gute Leitungsdämmung geachtet werden, weil sonst unfreiwillig eine Fußbodenheizung auftritt. Diese Forderung kollidiert mit dem Ziel möglichst geringer Fußbodenaufbauhöhen.

Die Aussagen zu gebäude- und wohnungszentralen Leitungsnetzen gelten prinzipiell auch für die Trinkwarmwasserbereitung.

3.6 Sonstige Merkmale

Es gibt neben den energetischen und finanziellen Gesichtspunkten weitere Eigenschaften der unterschiedlichen Verteil- und Versorgungssysteme. Es sind als wichtige Größen zu nennen:

- Geräusche,
- Platzbedarf,
- Hygieneanforderungen,
- Brandschutz,
- Flexibilität hinsichtlich Energieträgerwechsel.

Geräusche

Viele Heizungsanlagen verursachen Geräusche. Dabei spielt zunächst keine Rolle, um welchen Versorgungs- und Netztyp es sich handelt. Es wird vermutet, dass die Geräuschproblematik (Fließgeräusche, Kavitation, Luft in der Anlage) in großen zusammenhängenden Verteilssystemen ausgeprägter ist und auch ausgeprägter wahrgenommen wird.

In einem Netz kann sich der Körperschall weit ausbreiten. Fließgeräusche bzw. lokale Geräuscentwicklung durch Kavitation (Wasserdampfbildung im Ventil aufgrund hoher Strömungsgeschwindigkeit und/oder Anlagendrucke) werden auch an entfernten Stellen in der Anlage noch vernommen. So steigt bei einer größeren räumlichen Ausdehnung der Anlage die Wahrscheinlichkeit von Geräuschen.

Weiterhin ist in allen Anlagen mit – z.B. aufgrund eines fehlenden hydraulischen Abgleichs mit Begrenzung der Pumpenförderhöhe – einer höher eingestellten Pumpenförderhöhe zu rechnen. In einem räumlich großen Netz ist die Gefahr von Geräuschen an den pumpennahen Heizkörpern größer, weil die relative Überversorgung größer ist.

Bei wohnungszentralen Heizungsanlagen führt - mindestens im Aufstellraum, je nach Gerät bei geöffneten Türen auch in anderen Räumen - auch der Brenner sowie die Piezo-Zündung zu Geräuschen, die wegen des intervallartigen Auftretens als störender empfunden werden können als gleichmäßige Fließgeräusche.

Der subjektive Aspekt der unterschiedlichen Wahrnehmung von Geräuschen wird analog des Wärmekomforts vermutet. Sobald eine Etagenheizung in der Verantwortung der jeweiligen Verbraucher ist, werden Einschränkungen beim Wärmekomfort hingenommen [25]. Das wird auch hinsichtlich der Toleranz von Geräuschen angenommen.

Platzbedarf

Die Etagenheizung benötigt innerhalb der Wohnung einen Aufstellort. In der Regel ist dies eine Kammer oder ein Hauswirtschaftsraum, häufig sind Etagenheizungen auch in Küche oder Bad, dann meist ohne Trinkwarmwasserspeicher, aufgestellt.

Hinsichtlich der vermietbaren Fläche eines Mehrfamilienhauses mit oder ohne Etagenheizung besteht kein Unterschied. Die Aufstellflächen von Wärmeerzeugern in der Wohnung führen nicht zu einer Verminderung der Wohnfläche. Es besteht selbstverständlich für den Mieter eine sichtbare Verminderung der nutzbaren Flächen. Bei zentral beheizten Gebäuden verringert sich die nutz- bzw. vermietbare Kellerfläche bzw. im Falle einer Dachheizzentrale ggf. der nutzbare (Trocken-)Boden.

Hygieneanforderungen

Nach der im November 2011 in Kraft getretenen neuen Trinkwasserverordnung gilt die jährliche Untersuchungspflicht auf Legionellen nun für alle Gebäude, in denen Trinkwasser im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit abgegeben wird. Dazu zählt auch die Vermietung von Wohnungen oder gewerblichen Flächen. Wohneigentumsgemeinschaften sind ebenfalls betroffen, weil die Trinkwasseranlage zum gemeinschaftlichen Eigentum gehört. In der Konsequenz sind die Hauseigentümer verpflichtet, das Trinkwasser regelmäßig auf Legionellen untersuchen zu lassen. Dazu kommen weitere Melde-, Anzeige-, Informations- und Archivierungspflichten. Es müssen i. d. R. "abflammbare" Probenarmaturen installiert sein. Die Probenahme erfolgt meist in der Warmwasserleitung am Abgang nach dem Trinkwassererwärmer, in der Zirkulationsleitung am Eingang vor dem Trinkwassererwärmer sowie an der letzten Duscharmatur bei jedem Warmwasserstrang.

Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 "Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums" erfolgt eine Bewertung der Messwerte, die über die zu ergreifenden Maßnahmen sowie die Häufigkeit der Nachuntersuchungen entscheidet.

Von den Vorschriften betroffen sind alle "Großanlagen zur Trinkwassererwärmung", also so gut wie alle Mehrfamilienhäuser mit zentraler Trinkwassererwärmung, für die sich die jährlichen Kosten und der bürokratische Aufwand erhöhen. Die übrigen Vorschriften der DVGW-Arbeitsblätter W 551 und 553 zur Legionellenprophylaxe sind schon seit Jahren einzuhalten. Anlagen zur zentralen Trinkwassererwärmung müssen danach ein höheres Temperaturniveau (i. d. R. mindestens 60°C Speichertemperatur) sicherstellen als dezentrale bzw. wohnungsweise Anlagen (Kombithermen bzw. 2-Leiter-Systeme).

Brandschutz

Abhängig von der Art des Versorgungs- und Verteilsystems ergeben sich verschieden viele Durchdringungen der Leitungsnetze durch die Geschossdecken, siehe Tabelle 18.

Versorgungsart	Verlegearten Heizung	Verlegearten Trinkwarmwasser	Leitungsdurchdringungen zwischen Geschossen bzw. Wohneinheiten
wohnungszentral	alle	alle	1 x Gas
gebäudezentral, alle Energieträger	Etagenringe, Etagenverteiler	zentral	2 x Heizung 2 ... 4 x TWW
		mit Wohnungsübergabestation (2-Leiter-Netz)	2 x Heizung
	Steigestränge	alle	8 ... 12 x Heizung 2 ... 4 x TWW

Tabelle 18 Anzahl von Leitungsdurchdringungen

Besonders wenige Durchdringungen von Wänden zwischen Wohnungen ergeben sich bei wohnungsweiser Versorgung mit Heizung und Warmwasser. Üblicherweise ist (innerhalb der Gewerke Heizung und Trinkwarmwasserversorgung) nur die Gasleitung zwischen den Geschossen zu verlegen.

Bei zentralen Heizungsnetzen ergeben sich wenige Durchdringungen zwischen den Geschossen bei Netzen mit Etagenverteiler oder Etagenringleitung. Allerdings sind dies Netze mit insgesamt größerer Verlegedichte von Rohrleitungen. Umgekehrt verhält es sich mit der Versorgung über außenliegende Steigestränge. Hier ergeben sich viele brandschutzrelevante Durchdringungen, aber insgesamt kürzere Wege.

Mit der Anzahl der Durchdringungen steigt bei nicht vorhandener bzw. mangelhafter Dämmung auch die verluststeigernde Wirkung von Wärmebrückeneffekten.

Flexibilität hinsichtlich Energieträgerwechsel

Alle gebäudezentralen Heizungen, insbesondere solche mit ebenfalls zentraler TWW-Bereitung haben gegenüber wohnungszentralen bzw. dezentralen Systemen den großen Vorteil, umweltfreundliche Heizsysteme wie Fernwärme, Solaranlagen, (größere) BHKW bzw. Pelletkessel einsetzen zu können. Selbst wenn dies im Moment noch nicht der Fall ist, können sie mit relativ geringem Aufwand nachträglich darauf umgerüstet werden.

Der ökologische Vorteil dieser Energieträger bzw. der kombinierten Strom- und Wärmezeugung kann - jedenfalls bei einer Komplettversorgung - die höheren Verteilverluste kompensieren und trotz höherem Endenergieverbrauch einen geringeren fossilen Primärenergieverbrauch und geringere Treibhausgasemissionen verursachen. Ausnahmen sind bei schlechter Planung bzw. Ausführung im Bereich der Solarenergie möglich, wenn der solare Deckungsbeitrag geringer ausfällt als die zusätzlichen Speicher- und Verteilverluste.

3.7 Vor- und Nachteile der Systeme im Vergleich

Die Zusammenfassung der Einzelaspekte der Versorgungssysteme zeigen Tabelle 19 für die Heizung und Tabelle 20 für die Trinkwarmwasserbereitung. Diese Bewertung kann als Grundlage für eine Wertanalyse zur Entscheidungsfindung herangezogen werden.

Versorgung Heizung													
	Typ	geringe Investitions- und Instandhaltungskosten für die Erzeuger	gute Modernisierungsmöglichkeiten des Netzes	geringe Verteilverluste im unbeheizten Bereich	geringe Überwärmungsgefahr durch Verteilverluste im beheizten Bereich	hoher Nutzereinfluss auf den Endenergieverbrauch durch Komfortabstriche	gerechte Heizkostenabrechnung aus Sicht der Leitungsabwärme	gerechte Heizkostenabrechnung durch hohen flächenbezogenen Anteil	geringer Stromverbrauch der Pumpen	geringe Kosten für Leistungspreise / Anschlusspreis / Grundgebühr	geringe Kosten der Heizkostenabrechnung und hohe Heizkostengerechtigkeit	geringe Kosten für Wartung und Instandhaltung	hohe Flexibilität zur Einbindung von KWK oder regenerativen Energien
wohnungsweise	Etagenverteiler	■	■	■■■	■	■■■	■■■	■	■	■	■■■	■	■
	Etagenring	■	■■	■■■	■■	■■■	■■	■	■	■	■■■	■	■
gebäudezentral, Zweirohr	Etagenverteiler	■■■	■	■■	■	■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Etagenring	■■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■■	■■	■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
gebäudezentral, Einrohr	Etagenring	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
Legende:		■ wenig erfüllt ■■ mittelmäßig erfüllt ■■■ gut erfüllt											

Tabelle 19 Systemvergleich Heizung

Versorgung TWW										
	Netztyp	geringer Investitions- und Instandhaltungskosten für die Erzeuger	gute Modernisierungsmöglichkeiten des Netzes	geringe Verteilverluste im unbeheizten Bereich	geringe Überwärmungsgefahr durch Verteilverluste im beheizten Bereich	geringer Hilfsenergiebedarf für Pumpen	geringe Kosten für Wartung und Instandhaltung	hohe Flexibilität zur Einbindung von KWK oder regenerativen Energien	hohe Trinkwarmwasserhygiene	
elektrisch direkt	ohne	■■■	■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■	■■■	
wohnungsweise	ohne Zirkulation	■	■	■■■	■■■	■■■	■	■■	■■	
	mit Zirkulation	■	■	■■■	■■	■	■	■■	■■	
gebäudezentral	zentral mit Zirkulation	■■	■	■	■	■	■■	■■■	■	
	mit Wohnungsübergabe (2-Leiter)	■■	■	■■	■■	■■	■■■	■■■	■■	
Legende:		■ wenig erfüllt ■■ mittelmäßig erfüllt ■■■ gut erfüllt								

Tabelle 20 Systemvergleich Trinkwarmwasserbereitung

Die Zentralisierung von Wärmeversorgung und Trinkwarmwasserbereitung ist zwangsläufig mit zusätzlichen Verteilverlusten verbunden. Der Vorteil einer Zentralisierung liegt jedoch darin, dass durch sie eine Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger wie Biomasse oder auch Solarenergie ermöglicht wird. Detaillierte Betrachtungen zu dieser Thematik finden sich in Kapitel 6.

Im Gegenzug erhöht die Dezentralisierung den sensibleren Umgang der Nutzer mit Energie. Sie mindert die Wärmeverluste über Verteilleitungen im unbeheizten Bereich. Auch der Wärmeeintrag und damit die Überwärmungsgefahr von Räumen in modernisierten Gebäuden sinken. Eine Untersuchung und Schlussfolgerungen hierzu folgen in Kapitel 7.

4 Energetische Bewertung von Netzen

Der nachfolgende Abschnitt stellt in kurzer Übersicht zusammen, wie die verschiedenen Regelwerke (Normen, Richtlinien, usw.) Verteilnetze hinsichtlich ihrer Wärmeabgaben bewerten. Die verschiedenen Ansätze für das Abschätzen von Leitungslängen werden detailliert betrachtet. Darüber hinaus werden Verfahren messtechnischer Einschätzung von Leitungsverlusten erläutert. Die Ausführungen beschränken sich auf Wohnbauten und wärmeführende Netze.

4.1 Verteilverluste in Regelwerken

Vielfach wird die Energiemenge, welche Rohrnetze (Heizung, Trinkwarmwasser) abgeben, als "Verteilverlust" benannt. Streng genommen handelt es sich zunächst nur um eine Wärmeabgabe des Netzes. Sofern sie im ansonsten nicht beheizten Bereich stattfindet, ist diese Wärmeabgabe in der Energiebilanz auch rechnerisch ein technischer Verlustanteil. Bei Wärmeabgaben von Rohrnetzen im beheizten Bereich ist die Wärmeabgabe gleichzeitig Verlust (des Netzes) und Gewinn (der beheizten Räume), sofern sie nicht zu einer ungewollten Steigerung der Raumtemperatur führt. Eine vollständige Nutzbarkeit der Rohrabwärme tritt nur ein, wenn ein Wärmeeintrag in den beheizten Bereich überhaupt notwendig ist und nicht bereits durch andere Wärmegewinne gedeckt wurde.

Aus Basis dieser Grundüberlegungen lassen sich die Vorgehensweisen zur Bewertung von Netzverlusten in den gängigen Rechenwerken einschätzen.

4.1.1 Bewertung nach DIN V 4701-10

Die DIN V 4701-10 [27] ist vermutlich das derzeit in der Breite am häufigsten eingesetzte Bilanzmodell für Wohngebäude und damit ihrer wärmeführenden Netze. Sie bewertet Heizungs- und Trinkwarmwassernetze prinzipiell nach dem gleichen Ansatz anhand von Rohrlängen, längenbezogenen U-Werten und mittleren Netztemperaturen. Es wird ein Jahresverfahren gerechnet.

Heizung

Anhand von projektbezogenen Kennwerten oder Standardwerten ergeben sich auch für Heizleitungen U-Werte der Rohre sowie die Leitungslängen. Als Umgebungstemperaturen für das Netz wird die Kellertemperatur (13°C) oder die mittlere Innentemperatur (20°C) eingesetzt. Als Heizperiode sind für EnEV-Nachweise standardmäßig 185 Tage festgelegt, sonst ist die Zeit wählbar.

Die mittlere Temperatur im Netz wird aus den Auslegungstemperaturen und der mittleren Netzbelastung bestimmt. Die Belastung ergibt sich allein anhand der äußeren Lasten (Standardwert: 52% aus dem Außentemperaturverhältnis). Es wird bei der Mittelung der Temperaturen von einer Vorlauftemperaturregelung ausgegangen, die keine Parallelverschiebung aufweist. Nur bei den Anbindeleitungen wird ein Korrekturfaktor (f_b ; Standardwert 0,8) eingerechnet. Er bewertet die nicht ständig durchflossenen Leitungen.

Effektive Verluste [27]:

$$Q_{H,d,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_i \cdot (\vartheta_{HK,m} - \vartheta_{u,m}) \cdot f_a \cdot f_b \cdot t_{HP} \cdot z$$

mit:	$Q_{H,d,i}$	Wärmeabgabe des Rohrabschnitts, in [kWh/a]
	U_i	längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient, in [W/mK]
	L_i	Länge des Rohrabschnitts, in [m]
	$\vartheta_{HK,m}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts, in [°C] - nach Tabelle 5-1
	$\vartheta_{u,m}$	mittlere Umgebungstemperatur, in [°C] - nach Tabelle 5-2
	f_a	Wärmeverlustfaktor, in [-] - nach Tabelle 5-2
	f_b	Korrekturfaktor, in [-] - nach Tabelle 5-2
	t_{HP}	Dauer der Heizperiode, in [d/a] - nach Tabelle 5-2
	z	Laufzeit der Pumpe pro Tag, in [h/d] - nach Tabelle 5-2

Der Ansatz der Ausnutzbarkeit der Wärmeabgaben ist ebenfalls pauschal (Faktor f_a). Als Verluste werden nur die nicht als Wärmegewinn nutzbaren Anteile bewertet. Standardmäßig sind Wärmeabgaben von Anbindeleitungen zu 90% nutzbar, bei Steigesträngen und Verteilleitungen im beheizten Bereich liegt der Wert bei 85%.

Trinkwarmwassernetze

Anhand von projektbezogenen Kennwerten oder Standardwerten ergeben sich U-Werte der Rohre sowie die Leitungslängen. Als Umgebungstemperaturen für das Netz wird die Kellertemperatur (13°C) oder die mittlere Innentemperatur (20°C) eingesetzt. Als Jahresbereitstellungsdauer sind 350 Tage festgelegt. Die Laufzeit der Pumpen ist ein Näherungswert, der sich aus der Gebäudefläche ableiten lässt (je größer das Objekt, desto längere Zirkulationslaufzeit wird unterstellt). Als mittlere Temperatur im Netz wird während der Laufzeit der Zirkulation 50°C angenommen, in den Nebenzeiten sowie in Stichleitungen 32°C.

Verluste [27]:

$$Q_{TW,d,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_i \cdot (\vartheta_{TW,m} - \vartheta_{u,m}) \cdot t_{TW} \cdot z$$

mit:	$Q_{TW,d,i}$	Wärmeabgabe des Rohrabschnitts, in [kWh/a]
	U_i	längenspezifischer Wärmedurchgangskoeffizient, in [W/mK]
	L_i	Länge des Rohrabschnitts, in [m]
	$\vartheta_{TW,m}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts, in [°C] - nach Tabelle 5-2
	$\vartheta_{u,m}$	mittlere Umgebungstemperatur, in [°C] - nach Tabelle 5-2
	t_{TW}	Bereitstellungsdauer für Trinkwarmwasser, in [d/a] - nach Tabelle 5-2
	z	Laufzeit der Zirkulationspumpe, in [h/d] - nach Gleichung (5.1.2-3)

Die Wärmeabgabe des Netzes wird abschnittsweise für Verteilleitungen, Steigestränge und Stichleitungen berechnet. Je nach Lage des Netzabschnittes ergibt sich innerhalb der Heizzeit ggf. eine Gutschrift für die Heizung. Der Ausnutzungsgrad der Wärmeabgaben der Leitungen zum Zwecke der Raumheizung ist mit 85 % ($f_a = 0,15$) festgelegt.

Gutschrift [27]:

$$Q_{h,TW,d,i} = \frac{t_{HP}}{t_{TW}} \cdot (1 - f_a) \cdot Q_{TW,d,i}$$

mit:	t_{HP}	Dauer der Heizperiode, in [d/a] – nach Tabelle. 5-2
	t_{TW}	Bereitstellungsdauer für Trinkwarmwasser, in [d/a] - nach Tabelle 5-2
	f_a	Wärmeverlustfaktor, in [-] – nach Tabelle.5-2
	$Q_{TW,d}$	Wärmeabgabe der Rohrabschnitte, in [kWh/a]

Einschätzung

Die Ansätze für Heizungs- und Trinkwarmwassernetze sind prinzipiell nachvollziehbar.

Der Standardwert für die Heizzeit von 185 d/a wird als zu gering für den Neubau angesehen. Sofern er modifiziert angenommen wird, ergeben sich realistischere Werte.

Die Standardtemperatur von Zirkulationsleitungen (50°C) wird als zu gering eingeschätzt. Die mittlere Temperatur in nicht zirkulierenden Leitungsteilen (32°C) kann nicht quantitativ bewertet werden. Sie wird jedoch als realistisch eingeschätzt.

Die Netztemperatur für Heizung nimmt insgesamt plausible Werte an. Es wird zwar von einer zu hohen Netzbelastung ausgegangen, d.h. Rücklauftemperaturen lägen eigentlich niedriger, wenn Wärmegewinne berücksichtigt würden. Jedoch wird gleichzeitig von korrekten Reglereinstellungen ausgegangen, die in der Realität selten der Fall sind, d.h. reale Vorlauftemperaturen liegen höher. Der Mittelwert ist in vielen Fällen realistisch.

Kritikwürdig sind die pauschalen Annahmen zur Nutzbarkeit der Wärmeverluste als Gewinne. Hier vor allem der für die Heizung gewählte Ansatz, der die Wärmeabgabe der Rohre im beheizten Bereich gar nicht in voller Höhe bewertet. Plausibel abgebildet sind daher vor allem die Wärmeverluste an den unbeheizten Bereich.

4.1.2 Bewertung nach DIN V 18599

Die DIN V 18599 versucht in ihren Ansätzen zur Verteilung (Teil 5 Heizung, Teil 8 Trinkwarmwasser) Ansatzschwächen der Vorgängernorm DIN V 4701-10 zu beseitigen. Auf Basis der gleichen Grundansätze mit Rohrlängen, längenbezogenen U-Werten und mittleren Netztemperaturen wird ein Monatsbilanzverfahren gerechnet.

Heizung

Anhand von projektbezogenen Kennwerten oder Standardwerten ergeben sich auch für Heizleitungen U-Werte der Rohre sowie die Leitungslängen. Als Umgebungstemperaturen für das Netz wird die Kellertemperatur (13°C oder Bilanzwert für den Keller) oder die mittlere Innentemperatur (20°C oder nach Gebäudebilanz) eingesetzt. Die Heizperiode ergibt sich je nach Baustandard aus der Monatsbilanz.

Die mittlere Temperatur im Netz wird aus den Auslegungstemperaturen für Vor- und Rücklauf und der mittleren monatlichen Netzbelastung bestimmt. Die mittlere Belastung berücksichtigt die Außenlasten (Regelung aufgrund der Außentemperatur) und die Netzbelastung inkl. Wärmeübergabe (notwendige vom Netz bereitzustellende Wärmemenge).

Die mittlere Rücklauftemperatur ergibt sich je nach System (Ein- oder Zweirohrheizung) und je nach Vorhandensein des hydraulischen Abgleichs unterschiedlich. Ein nicht durchgeführter hydraulischer Abgleich erhöht die Netzbelastung pauschal um 6 %. Für Einrohrheizungen mit nicht geregelter Volumenstrom wird standardmäßig von 65 % Überströmen des Vorlaufs ausgegangen.

Verluste [5]:

$$Q_{h,d} = \sum \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot (\theta_{HK,m} - \theta_I) \cdot L_i \cdot t_{h,rL,i}$$

Dabei ist

U_i	die längenbezogene Wärmedurchgangszahl, in $W/(m \cdot K)$;
$\theta_{HK,m}$	die mittlere Heizmedientemperatur nach Gleichung (11), in $^{\circ}C$;
θ_I	die Umgebungstemperatur (siehe 4.2 bzw. Tabelle 15), in $^{\circ}C$;
L	die Länge der Rohrleitung, in m;
$t_{h,rL}$	die monatliche rechnerische Laufzeit (siehe 5.5.1.5), in h.

Die Wärmeabgaben im beheizten Bereich werden wie bei der Trinkwarmwasserbereitung vollständig als unregelmäßige Wärmeeinträge behandelt.

Gewinne [5]:

$$Q_{l,h,d,i} = Q_{h,d,i}$$

Trinkwarmwassernetze

Anhand von projektbezogenen Kennwerten oder Standardwerten ergeben sich U-Werte der Rohre sowie die Leitungslängen. Als Umgebungstemperaturen für das Netz wird die Kellertemperatur ($13^{\circ}C$ oder Bilanzwert für den Keller) oder die mittlere Innentemperatur ($20^{\circ}C$ oder nach Gebäudebilanz) eingesetzt. Als Jahresbereitstellungsdauer sind im Wohnbau 365 Tage festgelegt. Die Laufzeit der Pumpen ist ein Näherungswert, der sich aus der Gebäudelfläche ableiten lässt. Als mittlere Temperatur im Netz wird während der Laufzeit der Zirkulation $50^{\circ}C$ angenommen, in den Nebenzeiten sowie in Stichleitungen wird der Wert anhand des Leitungsdämmstandard bestimmt.

Verluste [5]:

$$Q_{w,d,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_i \cdot (\theta_{w,m} - \theta_I) \cdot d_{Nutz,mth} \cdot t_{Nutz,T}$$

Dabei ist

$Q_{w,d,i}$	die Wärmeverluste des Rohrabschnitts (im Monat), in kWh;
U_i	der längenspezifische Wärmedurchgangskoeffizient, in $W/(m \cdot K)$;
L_i	die Länge des Rohrabschnitts, in m;
$\theta_{w,av}$	die mittlere Temperatur des Rohrabschnitts (siehe Tabelle 5), in $^{\circ}C$;
θ_I	die mittlere Umgebungstemperatur (siehe Tabelle 5), in $^{\circ}C$;
$d_{op,mth}$	die monatliche Betriebsdauer für Trinkwarmwasser, in d;
$t_{op,day}$	die tägliche Betriebsdauer mit entsprechender Temperatur $\theta_{w,m}$, in h.

Die Wärmeabgaben im beheizten Bereich werden vollständig als unregelmäßige Wärmeeinträge behandelt:

Gewinne [5]:

$$Q_{w,d} = \sum Q_{w,d,i}$$

Die Gewinne werden mit einem für jedes Gebäude (und jeden Monat) individuellen Fremdwärmenutzungsgrad bewertet, d.h. es wird davon ausgegangen, dass abhängig von der Bauschwere des Objektes (und seiner Zeitkonstante) sowie auch abhängig von den anderen Fremdwärmemengen, nicht die gesamte Abwärme nutzbar ist.

Einschätzung

Die Ansätze für Heizungs- und Trinkwarmwassernetze sind prinzipiell nachvollziehbar. Die monatliche Bewertung erschwert jedoch die Einschätzung der Kennwerte.

Das Ausweisen von Verlusten und Gewinnen in beiden Fällen ist als positiv einzuschätzen.

Die Temperaturen für Trinkwarmwassernetze werden – wie bei der DIN V 4701-10 – als realistisch eingeschätzt. Die Netztemperatur für Heizung nimmt insgesamt plausible Werte an. Der Umgang mit Einrohrheizungen ist plausibel. Die Bewertung des nicht erfolgten hydraulischen Abgleichs liegt insgesamt in einer realistischen Größenordnung.

4.1.3 Richtlinien und andere Regelwerke

Neben den in der Anwendung weit verbreiteten Normen sind auch andere Rechenverfahren in der Anwendung. Ein Kurzüberblick der wichtigsten Ansätze folgt.

VDI 2067-4 (alt) Trinkwarmwasser [30]

Benötigt werden zur Berechnung der Wärmeabgabe die Leitungslängen sowie längenbezogene U-Werte der Rohre (im Verfahren k'-Werte genannt). Für alle Netztemperaturen ständig warmer Leitungsteile sowie die Umgebungstemperatur sind Richtwerte festgelegt (innen 20°C, Keller 15°C, Netz 60 oder 45°C). Zirkulationsverluste werden mit der Zirkulationsdauer bestimmt.

Leitungsaufheizverluste der periodisch durchflossenen Rohre ergeben sich je nach Zapfhäufigkeit, wobei im Wohnbau 5 Zapfungen je Person und Tag angenommen werden. Außerdem sind hier die aufzuheizenden Massen projektbezogen vorzugeben.

Die Wärmeabgaben von Rohrleitungen im beheizten Bereich (außer in Außenwänden und nur bei raumweiser Regelung) werden in der Heizzeit als Gewinne berechnet, wobei das Blatt 4 keinen Hinweis zur Verwendung der Werte in der Raumwärmebilanz macht.

Die Rechenansätze der VDI 2067-4 sind als plausibel und genau einzustufen. Sie erfordern jedoch einen vergleichsweise hohen Grunddatenbestand.

VDI 2067-2 (alt) Heizung [29]

Die Wärmeverluste von Verteilnetzen werden in der 2002 zurückgezogenen alten Ausgabe der Richtlinie pauschal mit Hilfe von Verteilungsnutzungsgraden berechnet. Es werden dabei nur Leitungsteile im unbeheizten Bereich inkl. deren Dämmstandard und Temperaturen berücksichtigt.

Über die Vorgehensweise der Neuausgabe der Richtlinie kann nicht geurteilt werden, da das Blatt noch nicht vorliegt.

LEG und IWU-Verfahren [8] [23]

Die Verfahren des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) haben sich in der Energieberatung vergleichsweise weit verbreitet. Sie wurden in der Zeit von 1997 bis 2002 mehrfach aktualisiert und weiterentwickelt, was eine Verfahrensbeschreibung erschwert. Nachfolgende Ansätze beschreiben die Erstausgabe des Verfahrens.

Verluste von Heizungsleitungen werden als Jahreswerte berechnet. Es werden projektbezogene Leitungslängen nur der Netzteile im unbeheizten Bereich berücksichtigt. Hinsichtlich der Netztemperaturen gibt es mehrere Standarddatensätze, die Kellertemperatur ist festgelegt. Es kann zwischen etlichen Dämmstandards und Leitungsquerschnitten gewählt werden.

Leitungswärmeabgaben im beheizten Bereich sind zu 100 % gleichzeitig Wärmegewinne und werden daher nicht berechnet.

Verluste von Trinkwarmwasserleitungen werden im beheizten und unbeheizten Bereich bestimmt. Es wird in Leitungen ständiger Zirkulation und Zapfleitungen unterschieden. Es wird in beiden Fällen von typischen mittleren Innentemperaturen in den Netzen ausgegangen. Die Umgebungstemperatur wird für beheizten und unbeheizten Bereich gleich angenommen. Es kann zwischen etlichen Dämmstandards und Leitungsquerschnitten gewählt werden. Leitungswärmeabgaben im beheizten Bereich sind zu 100 % nur Verlust und kein Gewinn.

Die Höhe der Verluste wird in beiden Fällen recht plausibel bestimmt. Das ursprüngliche Verfahren hat vor allem Schwächen bei der Berücksichtigung der Verluste als Gewinne.

Spätere Ausgaben des Rechenverfahrens lehnen sich in der Behandlung der Verteilnetze an die DIN V 4701-10 an.

VDI 2077 [31]

Die Ungerechtigkeiten bei der Heizkostenabrechnung steigen umso mehr, je weniger die Heizkörper zur Raumbeheizung beitragen. Bei einem zu hohen Anteil nicht unmittelbar den Nutzern zuzuordnender Wärmeabgabe, z.B. durch Verteilungsverluste, sieht die Heizkostenverordnung in § 11 Abs. 1 Nr. 1c vor, dass die gesamten Heizkosten verbrauchsunabhängig umgelegt werden, vorausgesetzt, es handelt sich um ein "altes" Gebäude (errichtet vor 1.1.1991 in den neuen Bundesländern oder 1.7.1981 in den alten). In der Begründung wird dazu auf das Beiblatt "Verfahren zur Berücksichtigung der Rohrwärmeabgabe" der VDI-Richtlinie 2077 (Verbrauchskostenabrechnung für die Technische Gebäudeausrüstung) verwiesen.

In der Richtlinie wird ein Bilanzverfahren beschrieben, das eine Abschätzung der Rohrwärmeabgabe aus dem gesamten Heizwärmeverbrauch und dem erfassten Verbrauch erlaubt.

Dazu wird der Verbrauchswärmeanteil r_w als das Verhältnis zwischen der Summe der Verbrauchswerte an den Heizkörpern und dem gesamten Heizwärmeverbrauch definiert. Ist $r_w > 0,43$, wird dies als plausibel eingestuft, d.h. die nicht den Nutzern zuzuordnenden Verbrauchsanteile (Gemeinschaftswärme für Verkehrsflächen und Gemeinschaftsräume sowie Verteilungsverluste) können bis zu 57% betragen.

Erst unterhalb eines kritischen Grenzwerts von $r_w < 0,34$ wird eine explizite Berücksichtigung des nicht erfassten Verbrauchs bei der Abrechnung der Heizkosten und somit eine Korrektur der Ablesewerte wird dann empfohlen. Als zusätzliche Kenngrößen für einen wesentlichen Einfluss auf die Verteilgenauigkeit werden neben dem Verbrauchswärmeanteil für Raumheizwärme auch die Standardabweichung der normierten flächenbezogenen Verbrauchswerte sowie der Anteil der Niedrigverbraucher herangezogen. Wenn alle Kriterien erfüllt sind, wird die flächenproportionale Umlage der ermittelten Grundverbrauchswärme empfohlen.

Das Verfahren ist als relativ grob und aufwändig einzustufen. Nach der Richtlinie soll die Korrektur der Heizkostenverteilung aber nicht in erster Linie dazu dienen, die Rohrwärmeverluste genau zu quantifizieren, sondern um Indikatoren dafür zu ermitteln, dass der technische Zustand der Heizungsanlage oder ihre Betriebsweise dringend einer Verbesserung bedarf.

4.1.4 Ingenieurmäßige Bewertung

Der ingenieurmäßig sinnvolle Ansatz bei der Bewertung der Verteilnetze lehnt sich an das Verfahren der DIN V 18599 an. Die Wärmeabgabe der Leitungsteile wird anhand der U-Werte, Leitungslänge, der mittleren Innen- und Umgebungstemperaturen sowie aus der Betriebszeit bestimmt.

Bei der Bewertung der Rohrintemperatur von Heiznetzen wird die Netzbelastung berücksichtigt. Sie hängt u. a. von der eingestellten Regelkurve, aber auch von der Überdimensionierung der Heizflächen und der Nutzung von Fremdwärme im System ab.

Die Wärmeabgaben von Heizungsleitungen im beheizten Bereich werden – sofern es sich nicht um die Anbindeleitungen von Heizflächen im gleichen Raum handelt – der unregelmäßigen Wärmeabgabe zugeschrieben. Analoges gilt für Trinkwarmwasserleitungen.

Die ideale ingenieurmäßige Bewertung ist in keinem gängigen Rechenverfahren hinterlegt. Sofern Abschätzungen des Einflusses von Verteilnetzen auf die Bilanz erfolgen, wäre eine Anlehnung an diese idealen Rechenansätze wünschenswert.

4.2 Abschätzung von Leitungslängen

Die größte Unsicherheit bei der Beschreibung des Einflusses von Leitungsnetzen auf die Energiebilanz eines Gebäudes liegt bei der Bestimmung der Leitungslängen. In der Mehrzahl der Anwendungen von DIN-Normen (als Nachweiswerkzeuge) werden Standardleitungslängen verwendet. Diese führen nicht zwangsweise zu korrekten Ergebnissen.

Generell werden Leitungsverluste in den Normen und Regelwerken getrennt nach den Abschnitten der Verteilung, Steigestränge und Anbindeleitungen angegeben.

4.2.1 Bewertung nach DIN V 4701-10

Die Norm DIN V 4701-10 [5] ermittelt Leitungslängen von Wohnbauten anhand der Gebäudenutzfläche A_N , die sich ihrerseits aus dem umbauten Volumen (in Außenmaßen) des beheizten Bereiches ableitet: $A_N = 0,32 \text{ m}^{-1} \cdot V_e$.

Heizung

Die Leitungsnetze für Heizung werden unterschieden in Netze mit innen- und außenliegenden Steigesträngen, wobei lediglich die Verteilebene ab dem Erzeuger in ihrer Ausdehnung verschieden ist.

Kenngröße	Bereich V	Bereich S	Bereich A
Leitungslänge bei außenliegenden Strängen	$28,5 + 0,05 \cdot A_N$	$0,075 \cdot A_N$	$0,55 \cdot A_N$
Leitungslänge bei innenliegenden Strängen	$27,5 + 0,025 \cdot A_N$	$0,075 \cdot A_N$	$0,55 \cdot A_N$

Tabelle 21 Standardleitungslängen Heizung, DIN V 4701-10

Trinkwarmwasserbereitung

Bei der Trinkwarmwasserbereitung ergibt sich eine Unterscheidung in Netze mit und ohne Zirkulation. Außerdem unterscheiden sich die Leitungslängen der Stichleitungen, je nachdem ob eine gemeinsame Installationswand vorhanden ist oder nicht.

Kenngröße	Bereich V	Bereich S	Bereich SL
Leitungslänge mit Zirkulation, gebäudezentrales Netz	$26 + 0,02 \cdot A_N$	$0,075 \cdot A_N$	---
Leitungslänge ohne Zirkulation, gebäudezentrales Netz	$13 + 0,01 \cdot A_N$	$0,038 \cdot A_N$	---
Stichleitungslänge nur bei Übergabe in angrenzenden Räumen mit gemeinsamer Installationswand	---	---	$0,050 \cdot A_N$
Stichleitungslänge im Standardfall; Leitungslänge für wohnungszentrale Versorgung	---	---	$0,075 \cdot A_N$

Tabelle 22 Standardleitungslängen Trinkwarmwasser, DIN V 4701-10

Einschätzung

Im Mittel liefern die Abschätzungen der DIN V 4701-10 für Wohnbauten recht gute Näherungen bei der Abschätzung von Heizungsverteilnetzen. Insbesondere Netze mit im Estrich liegenden Anbindeleitungen und innenliegenden Steigesträngen werden gut wiedergegeben [17].

Die Leitungslängen, die in klassischen Etagenring-Systemen oder Steigestrang-Systemen (an Außenwänden) des Bestandes häufig vorkommen, weisen in der Realität geringere Leitungslängen auf als rechnerisch bestimmt. Rechnerisch werden 40 % bis 100 % längere Leitungen ermittelt [17].

Die DIN V 4701-10 führt bei den Trinkwarmwassernetzen zu geringeren berechneten Leitungslängen als in der Realität installiert sind. Die Norm-Längen liegen zwischen 30 % und 40 % unter den Realwerten. Die Felduntersuchung zu Leitungslängen bei realen Netzen zeigt für die Trinkwarmwassernetze, dass die Unterscheidung in Netze mit und ohne gemeinsame Installationswand nicht notwendig ist [17].

Eine detaillierte Gegenüberstellung der Ansätze, auch im Vergleich zu denen der DIN V 18599, zeigt Kapitel 4.2.3.

4.2.2 LEG bzw. IWU

Die hessischen Rechenvorschriften des IWU-Verfahrens [23] enthalten in ihrer ergänzten Ausgabe von 2001 auch Ansätze für Verteilleitungslängen. Das Verfahren basiert auf der charakteristischen Gebäudelänge und -breite eines Grundrisses. Sofern keine Daten gegeben sind, beträgt die charakteristische Breite 10 m (Kenngröße: a) und die charakteristische Länge (L_{char}) ergibt sich damit aus der Grundfläche eines Geschosses.

Im Falle der Heizung werden nur die Leitungslängen des unbeheizten Bereiches berücksichtigt. Bei Trinkwarmwassernetzen werden alle Leitungsabschnitte berücksichtigt.

Kenngröße	Bereich V	Bereich S	Bereich SL
Verteilung Heizung, komplett im unbeheizten Bereich	$2 \cdot (2a + L_{char})$	vernachlässigt	vernachlässigt
Verteilung Heizung, teilweise im unbeheizten Bereich	$2 \cdot (a + 0,5 L_{char})$	vernachlässigt	vernachlässigt

Tabelle 23 Standardleitungslängen Heizung, IWU

Kenngröße	Bereich V	Bereich S	Bereich SL
Netze mit Zirkulation, $L_{char} \leq 12m$	4 m	$2 \cdot (n_{WE} + 1) \cdot h_G$	$0,5 \cdot a \cdot n_{WE}$
Netze mit Zirkulation, $L_{char} > 12m$	$2 \cdot (L_{char} - 10 m)$		
Netze ohne Zirkulation, $L_{char} \leq 12m$	2 m	$(n_{WE} + 1) \cdot h_G$	
Netze ohne Zirkulation, $L_{char} > 12m$	$(L_{char} - 10 m)$		

Tabelle 24 Standardleitungslängen Trinkwarmwasser, IWU

Da die Ansätze weitestgehend auf denen der DIN V 4701-10 beruhen, werden ähnliche Abweichungen zu realen Netzlängen vermutet. Es ist keine systematische Untersuchung der Abweichungen bekannt.

4.2.3 Studie des BBSR für DIN V 18599

Die Abschätzung von Leitungslängen insbesondere bei Nichtwohngebäuden war Umfang einer Studie des BBSR [17]. Die dabei gefunden Formelansätze führen zu einer besseren Übereinstimmung von Real- und Näherungswerten.

Heizung

Die Untersuchung unterscheidet 4 Netztypen, für die getrennt Leitungslängen ermittelt werden. Tabelle 25 gibt die Formelansätze abhängig von der beheizten Nettogrundfläche (A_{NGF}), teilweise der Geschosshöhe (h_G) und der Geschoszahl ($n_{Geschoss}$) wieder.

	Verteilung	Steigestränge	Anbindeleitungen
Netztyp I (Etagenringtyp)	$30 \text{ m} + 2,3 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{0,79}$	$2,56 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{0,1} + 0,0006 \text{ m}^{-2} \cdot A_{NGF} \cdot h_G \cdot n_{\text{Geschoss}}$	$0,06 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,13}$
Netztyp II (Etagenverteiltertyp)	$30 \text{ m} + 0,17 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2 / n_{\text{Geschoss}}]^{1,05}$	$0,0080 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,12}$	$0,30 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,11}$
Netztyp III (Steigestrangtyp)	$30 \text{ m} + 2,6 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2 / n_{\text{Geschoss}}]^{0,72}$	$0,008 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,39}$	$0,25 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,00}$
Netztyp IV (Strahlungs-/Luftheizung)	$0,35 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{0,90}$	$0,0007 \text{ m} \cdot A_{NGF} \cdot h_G$	$0,10 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,13}$

Tabelle 25 Leitungslängen nach BBSR Projekt für DIN V 18599-5 [17]

Im Falle von Einrohrheizungen ist die Verteilebene zu halbieren (Typ I, III) bzw. auch die Länge der Steigestränge (Typ III). Für Fußbodenheizungen entfallen die Anbindeleitungen.

Trinkwarmwasserbereitung

Bei der Trinkwarmwasserbereitung wird in zwei Arten zentraler Netze mit und ohne Zirkulation sowie in dezentrale Versorgung unterschieden.

Tabelle 26 gibt die Formelansätze abhängig von der beheizten Nettogrundfläche (A_{NGF}) wieder. Wenn auf Basis der Zonendaten eine Abschätzung erfolgt, sind die Nettogrundfläche der Sanitärbereiche ($A_{NGF, Sanitär}$), deren Geschosshöhe ($h_{G, Sanitär}$) und Geschoszahlen ($n_{\text{Geschoss, Sanitär}}$) maßgeblich.

		Verteilung	Steigestränge	Anbindeleitungen
Gebäudemodell	Netztyp I (Steigestrangtyp)	$0,11 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2 / n_{\text{Geschoss}}]^{1,24}$	$0,005 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,38}$	$0,09 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,00}$
	Netztyp II (Ebenentyp)	$0,035 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2 / n_{\text{Geschoss}}]^{1,50}$	$0,36 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{0,58}$	$0,09 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,00}$
	Netztyp III (dezentral)			$0,09 \text{ m} \cdot [A_{NGF} / \text{m}^2]^{1,00}$
Zonenmodell	Netztyp I (Steigestrangtyp)	$2,7 \text{ m} \cdot [A_{NGF, Sanitär} / \text{m}^2 / n_{\text{Geschoss, Sanitär}}]^{0,97}$	$0,098 \text{ m}^{-2} \cdot A_{NGF, Sanitär} \cdot h_G$	$0,50 \text{ m} \cdot [A_{NGF, Sanitär} / \text{m}^2]^{1,00}$
	Netztyp II (Ebenentyp)	$5,6 \cdot L_{\text{char, V, Sanitär}} + 0,2 \text{ m}^{-2} \cdot A_{NGF, Sanitär} \cdot h_{G, Sanitär}$	$0,006 \text{ m} \cdot [A_{NGF, Sanitär} / \text{m}^2]^{1,00} + 1,6 \text{ m} \cdot [h_{G, Sanitär} \cdot n_{\text{Geschoss, Sanitär}} / \text{m}]^{1,09}$	$0,50 \text{ m} \cdot [A_{NGF, Sanitär} / \text{m}^2]^{1,00}$
	Netztyp III (dezentral)			$0,50 \text{ m}^{-1} \cdot A_{NGF, Sanitär}$

Tabelle 26 Leitungslängen nach BBSR Projekt für DIN V 18599-8 [17]

Die charakteristische Länge des Sanitärbereiches ergibt sich aus dem realen Projekt oder näherungsweise aus nachfolgender Formel mit $f_{geo} = 0,277$:

$$L_{\text{char, V, Sanitär}} = \sqrt{\frac{A_{NGF, Sanitär}}{n_{\text{Geschoss, Sanitär}} \cdot f_{geo}}}$$

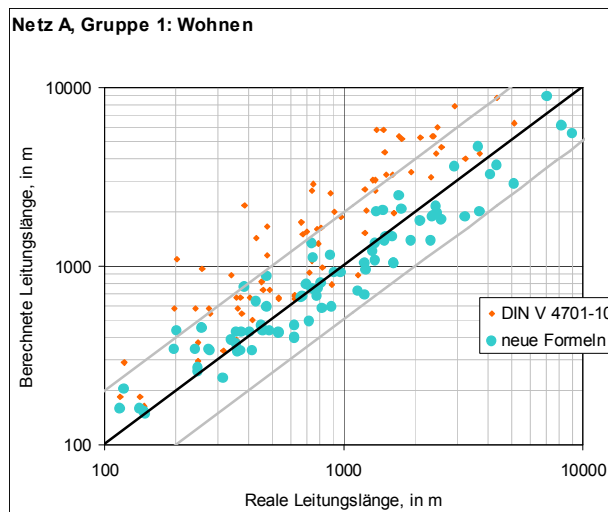
Sofern keine Zirkulation vorhanden ist, werden die Leitungslängen der Verteilebene und Steigestränge halbiert.

Einschätzung der Werte

Die Studie des BBSR liefert einen detaillierten Vergleich der neuen Netzformeln mit den Realleitungslängen. Außerdem werden die Gesamtnetzlängen der DIN V 18599 ("neue Formel") grafisch und die der DIN V 4701-10 den Reallängen gegenübergestellt, siehe nachfolgende Bilder aus [17]. In diesen entsprechen die Netztypen A – D den Netztypen I – IV der Norm.

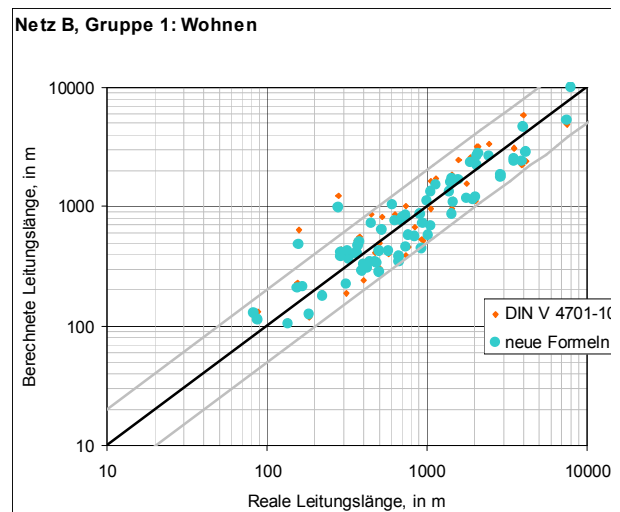
Die DIN V 4701-10 führt beim Netztyp B (II) zu fast vergleichbaren Leitungslängen wie die Formelansätze der DIN V 18599. Es ergibt sich eine Überschätzung von etwa 13 % bezogen auf die realen verlegten Gesamtlängen.

Der Netztyp C (III) wird mit der DIN V 4701-10 etwa 40 % überschätzt. Die Netztypen A (I) und D (IV) werden mit der DIN V 4701-10 bislang nicht korrekt abgebildet. Es ergeben sich etwa doppelt so lange Leitungslängen als in der Realität vorhanden sind. Die neuen Formelansätze der DIN V 18599 liefern eine bessere Übereinstimmung.



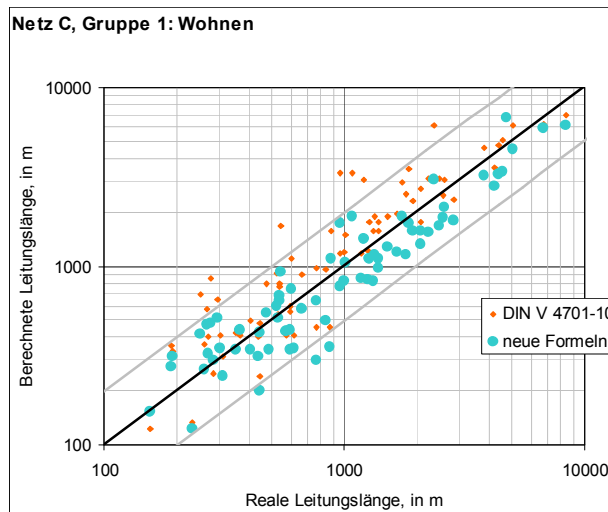
$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 2,08$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,02$$



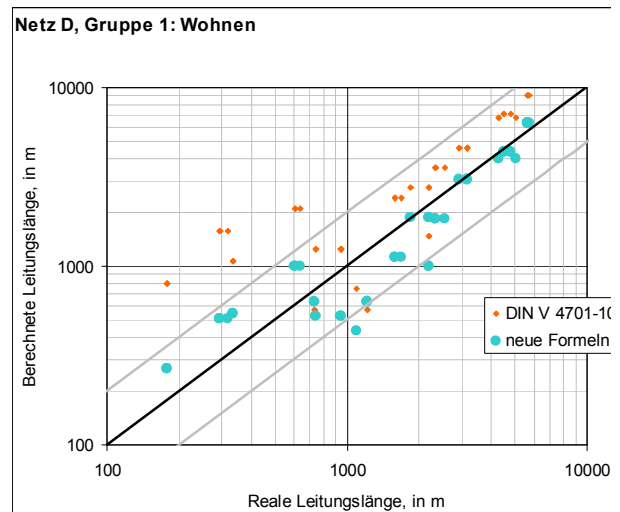
$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 1,13$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,02$$



$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 1,39$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 0,96$$



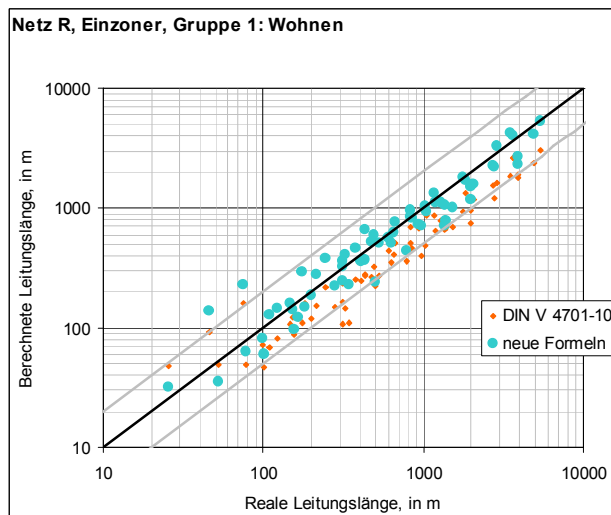
$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 2,11$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,03$$

Bild 19 Vergleich DIN V 18599 und DIN V 4701-10 mit Reallängen (Heizung) [17]

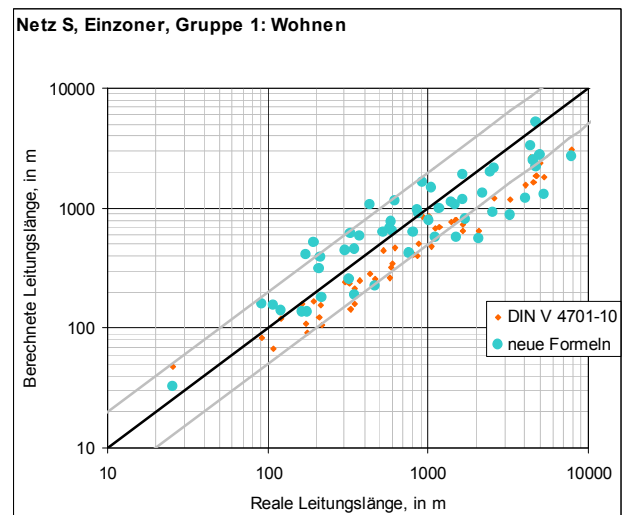
Die Studie des BBSR vergleicht ebenfalls die Ergebnisse der Trinkwarmwassernetze. Die Ansätze der DIN V 18599 ("neue Formel") werden denen der DIN V 4701-10 und den Real-längen gegenübergestellt, siehe nachfolgende Bilder aus [17]. In diesen entsprechen die Netztypen R – S den Netztypen I – III der Norm. Es wird nur der Bezug zum Einzoner ge-wählt, da die DIN V 4701-10 keine Zonierung vorsieht.

Die DIN V 4701-10 führt bei allen drei Netztypen zu geringeren berechneten Leitungslängen als in der Realität installiert. Die Norm-Längen liegen zwischen 31 % und 40 % unter den Realwerten. Die neuen Formeln der DIN V 18599 bilden die Längen demzufolge besser, d.h. in diesem Fall länger ab.



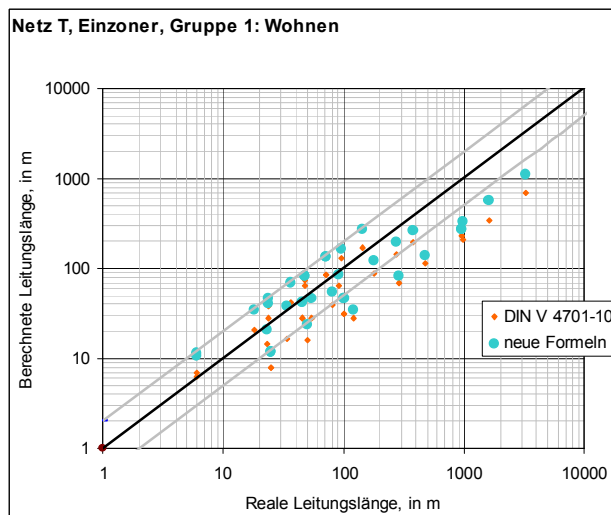
$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 0,66$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,00$$



$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 0,60$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,02$$



$$L_{\text{DIN V 4701-10}} / L_{\text{real}} = 0,69$$

$$L_{\text{neue Formeln}} / L_{\text{real}} = 1,01$$

Bild 20 Vergleich DIN V 18599 und DIN V 4701-10 mit Reallängen (Trinkwarmwasser) [17]

Insgesamt ergibt sich eine bessere Übereinstimmung von überschlägiger und realer Lei-tungslänge bei der getesteten Stichprobe.

4.2.4 Ingenieurmäßige Herangehensweise

Als Empfehlung zur Auswertung von Realprojekten wird empfohlen, die tatsächlich installierte Leitungslänge zu verwenden. Dies gilt – sofern Fragestellungen von Zentralisierung und Dezentralisierung betroffen sind – vor allem für die Leitungslängen des unbeheizten Bereiches. Bei Untersuchung von Überwärmungsproblemen durch Verteilnetze sind ebenso die Leitungslängen im beheizten Bereich mit ihren realen Längen zu berücksichtigen.

Sofern nur prinzipielle Netztypen, aber keine Aufmaße vorhanden sind, können Leitungslängen abgeschätzt werden, indem:

- Lage von Steigepunkten in den Grundrissen markiert werden,
- die Höhe der Steigleitungen anhand der Geschosshöhen geschätzt werden,
- prinzipielle, näherungsweise Verläufe der Netze in der Verteilebene vom Erzeuger bis zu den Steigepunkten im entsprechenden Grundriss eingetragen werden,
- typische Längen von Anschlussleitungen einzelner Heizkörper oder Stichleitungen einzelner Bäder/Küchen abgeschätzt und auf das Gebäude hochgerechnet werden.

4.3 Messungen zu Verteilverlusten

Neben den theoretischen Kennwerten zu Verteilnetzen und deren Wärmeverlusten bzw. Wärmeabgaben lassen sich auch Messgrößen bestimmen. Jahresmesswerte lassen sich mit Bedarfswerten vergleichen. Es können auch Detailmessungen mit Bedarfsberechnungen zum Netz verknüpft werden, so dass – was die Datenquelle angeht – gemischte Verbrauchs-/Bedarfs-Bilanzen entstehen.

4.3.1 Jahresmessungen

Die direkte Messung der Wärmeabgabe von Verteilnetzen ist in der Realität selten möglich. Meist ergeben sich indirekte Messungen, wobei zwischen Heizungs- und Trinkwarmwassernetzen unterschieden werden muss.

Messtechnische Bestimmung des Verteilverlustes für Heizung

Die messtechnische Erfassung von Verteilverlusten innerhalb von Gebäuden wird nur extrem selten realisiert, da kein unmittelbarer Nutzen für Nutzer oder Betreiber besteht. Auch lässt sich der Verteilverlust i. d. R. nicht aus anderen Messungen – als Abfallprodukt – einfach bestimmen. Notwendig wäre eine Erfassung der Wärmemenge ab Erzeuger und eine Wärmeabgabe der Heizflächen. Die Differenz ist der Verteilverlust der Heizung:

$$Q_{d,h} = Q_{\text{Erzeuger,ab}} - Q_{\text{Nutz,h}}$$

In seltenen Fällen werden zur Heizkostenumlage die den Wohnungen zugeführten Wärmemengen gemessen. In diesem Fall wäre zumindest die Wärmeabgabe von Verteilleitungen und Steigesträngen ermittelbar. Oft wird jedoch nicht gleichzeitig hinter dem Erzeuger die dem System zugeführte Wärmemenge gezählt, weil dieser zusätzliche Wert nicht zur Abrechnung o. ä. notwendig ist. Daher sind Verteilverluste messtechnisch nicht direkt bestimmbar.

Gleiches gilt im umgekehrten Fall. Es gibt ohnehin wenige Fälle, bei denen hinter dem Erzeuger ein Wärmemengenzähler installiert ist, der die Nutzwärme inklusive Verteilverluste misst. Eine gleichzeitige Messung der an die Räume gelieferten Wärmemengen erfolgt praktisch nie, daher sind Verteilverluste bzw. Wärmeabgaben der Netze unbekannt.

Eine weitere Möglichkeit zur indirekten Messung von Verteilverlusten für die Heizung würde die Heizkostenerfassung an den Heizflächen bieten. Es handelt sich – selbst bei elektronischen Zweifühlergeräten (Raum- und mittlere Heizkörperoberflächentemperatur) – jedoch nur um Erfassungsgeräte, nicht um Messgeräte. Die Geräte sind nicht geeicht, die Anzeigewerte haben zunächst keine physikalische Einheit. Wenn im Falle der elektronischen Erfassungsgeräte der Heizkörperfaktor in das Gerät einprogrammiert wurde, sind die Anzeigeeinheiten denormiert und proportional zu Energiemengen. Die Anzeigeeinheiten entsprechen dann – so die verbreitete Praxis – in etwa Kilowattstunden. Allerdings gibt es hierbei eine große Messunsicherheit. Die Verteilverluste, welche durch Differenzbildung zu einem Zentralzähler berechnet werden, werden dann sehr unsicher. Beispiel mit Annahmewerten zur Sicherheit:

- Hauptzähler: 100 MWh/a \pm 1 % \rightarrow 99 ... 101 MWh/a
- Heizkostenerfassungsgeräte: 70 MWh/a \pm 10 % \rightarrow 63 ... 77 MWh/a
- Verteilverluste (Differenz) 30 MWh/a \pm 27 % \rightarrow 22 ... 38 MWh/a

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Messung von Verteilnetzverlusten praktisch nie erfolgt, weil die übliche messtechnische Ausstattung dies nicht hergibt. In extrem seltenen Fällen kann hier auf Praxiswerte zurückgegriffen werden, sonst wird es sich um rechnerische Abschätzung aufgrund von Leitungslängen, Dämmstandards und Netztemperaturen handeln.

Als eines der wenigen Messbeispiele ist die für Techem durchgeführte Untersuchung von Plattenbauten in Berlin zu nennen [24]. Mehrere 10.000 Quadratmeter Wohnfläche mit Ein- bzw. Zweirohrheizung wurden detailliert ausgewertet. Mit Hilfe eines wohnungsweisen elektronischen Heizkostenerfassungs- und Regelsystems konnten die zusammengefassten Wärmeabgaben der Heizflächen mit vergleichsweise hoher Genauigkeit gemessen werden. Aus der dem Gebäude zugeführten Wärmemenge für Heizung ergibt sich durch Differenzbildung der Verteilverlust bzw. die Wärmeabgabe des Rohrnetzes.

Bild 21 zeigt die Gegenüberstellung der Heizenergieverbräuche mit den Anteilen für Heizkörper- und Rohrwärmeabgabe. Eine Aufteilung der Rohrwärmeabgabe auf Verluste an den unbeheizten Bereich und Einträge in den beheizten Bereich ist nicht möglich.

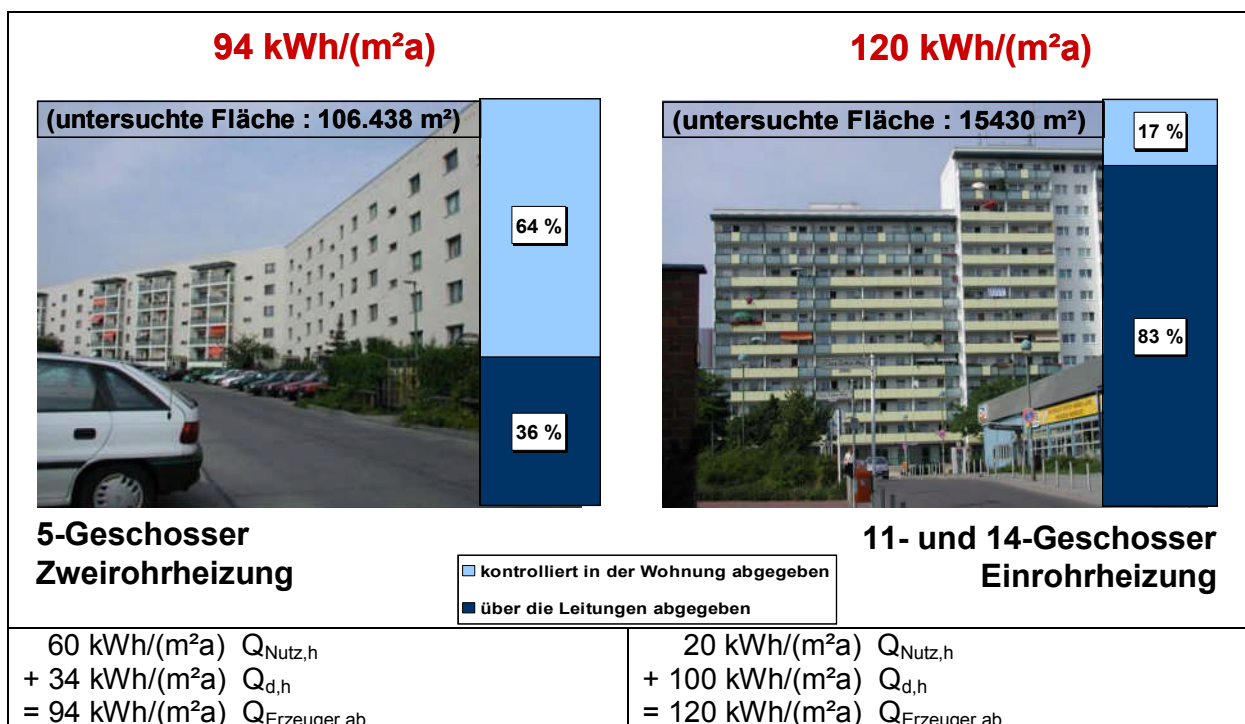


Bild 21 Auswertungen zu Netzverlusten in sanierten Plattenbauten [24]

Der Mehrverbrauch von 26 kWh/(m²a) in den Gebäuden mit Einrohrheizung wird auf eine Überversorgung der Wohnungen zurückgeführt. Denn theoretisch haben beide Gebäude ähnlich hohe Wärmeverluste (Transmission, Lüftung) und solare Gewinne. Das Beispiel wird im Abschnitt 5 noch einmal aufgegriffen.

Messtechnische Bestimmung des Verteilverlustes für Trinkwarmwasser

Die Trinkwarmwassernetzverluste (ggf. inkl. Speicher) lassen sich durch Differenzmessung bestimmen. Einerseits wird die Wärmemenge hinter dem Erzeuger oder Speicher gemessen (Wärmemengenmessung), andererseits die an den Verbraucher gelieferte Nutzwärmemenge oder ersatzweise die zu erwärmende oder erwärmte Wassermenge. Es gilt:

$$Q_{d,w} = Q_{\text{Speicher,ab}} - Q_{\text{Nutz,w}} \approx Q_{\text{Speicher,ab}} - V_W \cdot 1,16 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot (\vartheta_{\text{Warm}} - \vartheta_{\text{Kalt}})$$

In dem Beispiel nach Bild 22 ist dies erfolgt. Der Messwert für die gesamte Energiemenge für die Trinkwarmwasserbereitung beträgt – nach dem Speicher gemessen – 37.007 kWh. Es liegt ein Zeitraum von 294 d/a zugrunde. Im gleichen Zeitraum wurden 216,31 m³ Kaltwasser erwärmt. Unter Annahme von 10°C Kaltwasser- und 60°C Warmwassertemperatur beträgt die gelieferte Nutzwärmemenge 12.546 kWh. Die Differenz, also 24.461 kWh, sind die rechnerischen Verteilverluste.

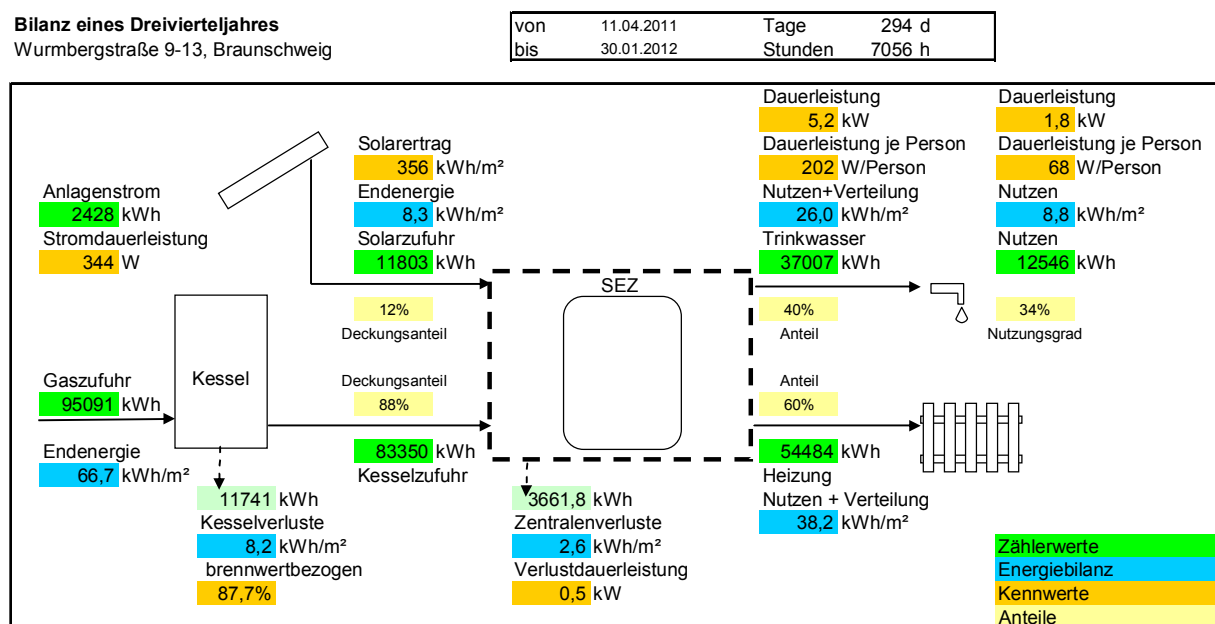


Bild 22 Separate Messung von Nutzwärmemenge zur Bestimmung des Verteilverlustes [33]

Zeitkorrigiert linear hochgerechnet auf ein Jahr liegen die Verteilverluste für Trinkwarmwasserbereitung bei 30.368 kWh/a. Das ergibt in dem Gebäude einen flächenbezogenen Kennwert von 21,3 kWh/(m²a). Demgegenüber steht der Nutzen von 10,9 kWh/(m²a). Das Netz hat einen extrem schlechten Verteilungsnutzungsgrad von knapp 34 %.

Nach diesem Schema wurden etliche Netze ausgewertet, die in Kapitel 5 näher besprochen werden.

Summenmessung Nutzwärme und Verteilverlust Trinkwarmwasser

Bild 23 zeigt zwei Detailauswertungen aus dem Optimus-Projekt [36]. Zum einen den flächenbezogenen Trinkwasserwärmeverbrauch für Gebäude mit Zirkulation (EFH, MFH) und ohne Zirkulation (nur EFH). Hier ist deutlich zu sehen, dass der Zirkulationseinfluss etwa 11 kWh/(m²a) für die EFH beträgt.

Die im Bild dargestellten MFH sind alle mit Zirkulation ausgestattet und können daher nur mit den gleichartig ausgestatteten EFH verglichen werden (Auswertung elektrisch versorgter Gebäude liegen nicht vor). Der flächenbezogene Wärmeverlust ist im MFH größer. Dies wird vor allem auf die höhere Personenbelegung zurückgeführt. Diese Aussage wird von der Darstellung des personenbezogenen Trinkwasserwärmeverbrauchs untermauert. Dort schneiden die MFH besser ab.

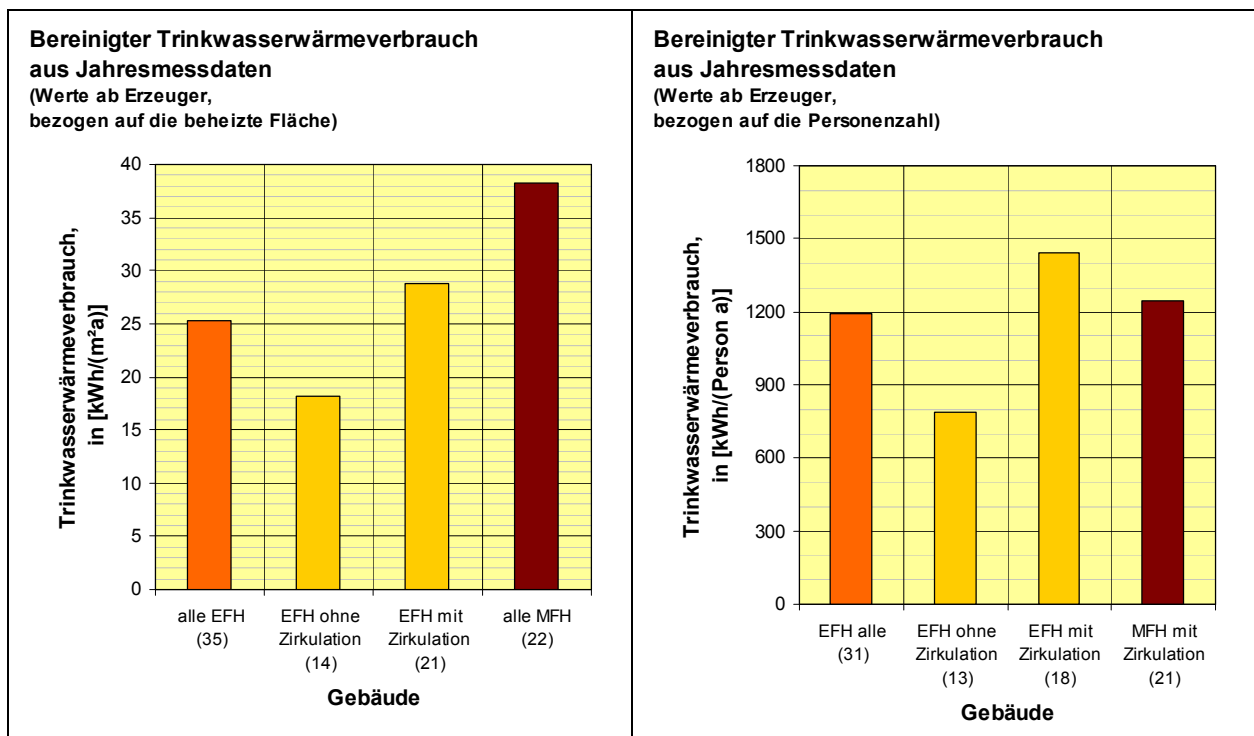


Bild 23 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch in Gebäuden mit und ohne Zirkulation [36]

Leider sind keine Messwerte für die Trinkwarmwassernutzwärme bekannt. Wenn man von üblichen Literaturwerten ausgeht, entfallen jeweils etwa 600 kWh/(Person · a) für die Nutzwärmemenge. Der Rest sind Verteilverluste.

Im EFH kommen somit zum flächenbezogenen Nutzen von dort etwa 12 kWh/(m²a) noch einmal Verteilverluste (mit Speicher) von etwa 6 kWh/(m²a) in Netzen ohne Zirkulation bzw. einem Verteilungsnutzungsgrad von 67%. Im EFH kommen zum gleichen Nutzen von etwa 12 kWh/(m²a) zusätzliche Verluste von 17 kWh/(m²a) in Netzen mit Zirkulation hinzu. Der Verteilungsnutzungsgrad liegt entsprechend bei nur 42 %.

Im MFH ergibt sich ein flächenbezogener Nutzen von etwa 19 kWh/(m²a). Hinzu kommen weitere 19 kWh/(m²a) als Verteilverluste (mit Speicher), womit der Verteilungsnutzungsgrad dann bei 50 % liegt.

Sonderfall von Messungen bei 2-Leiter-Systemen

Im hannoverschen Concerto-Projekt "act2" [3] wurden auch drei Objekte (Mehrfamilienhauskomplexe mit je 3-4 Gebäuden bzw. Hauseingängen) mit 2-Leiter-System messtechnisch ausgewertet.

Wie Bild 24 zeigt, wird in den Objekten einerseits der gesamte Fernwärmeverbrauch mit Hilfe des in der Übergabestation integrierten Wärmemengenzählers erfasst. Andererseits sind in den sog. Thermenersatzgeräten, über die alle Wohnungen mit Heizenergie und Trinkwarmwasser im Durchlaufprinzip versorgt werden, ebenfalls Wärmemengenzähler eingebaut die den kompletten Verbrauch der jeweiligen Wohnung erfassen.

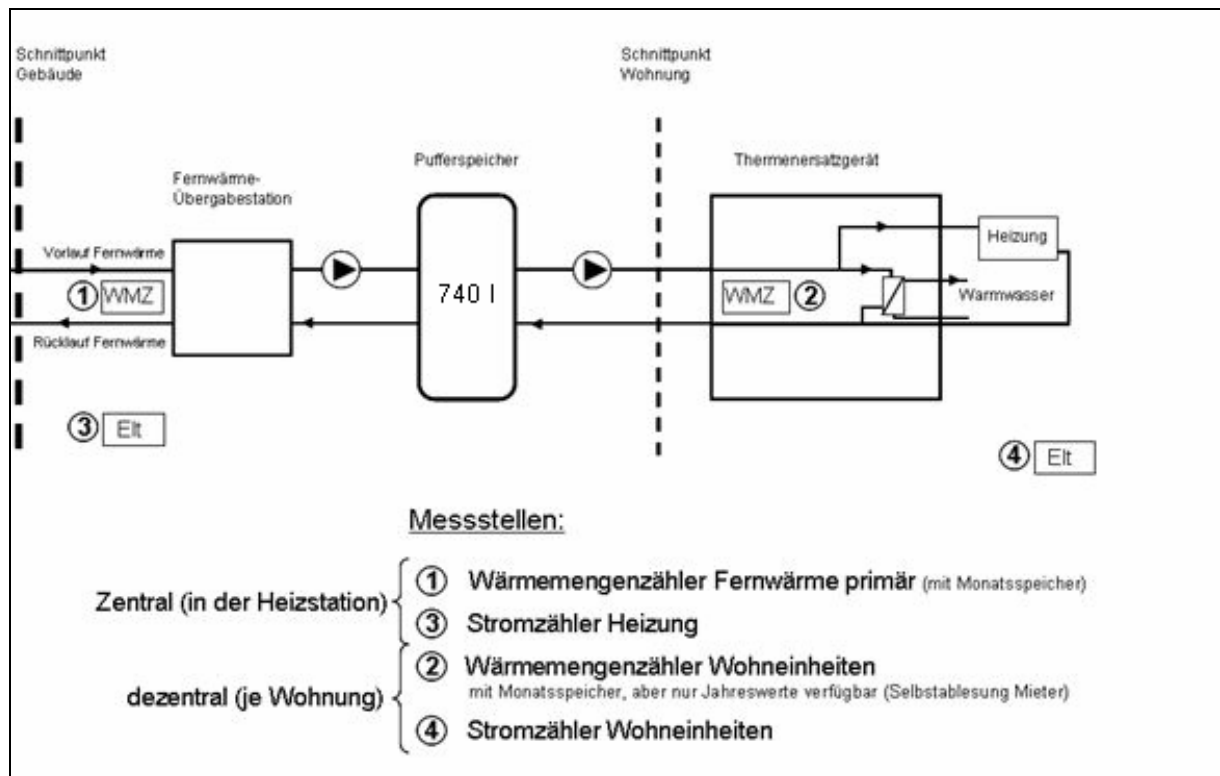


Bild 24: Schaltschema Gundlach-Objekte mit 2-Leiter-System

Durch Bilanzierung aller Zähler über den gleichen Ableszeitraum lassen sich so die Verteilverluste als Differenz zwischen dem zentralen Zähler und der Summe der Wohnungszähler berechnen. Sie umfassen alle Verluste zwischen diesen Messpunkten, also das gesamte Verteilnetz im Keller sowie der in den ehemaligen Schornsteinen verlegten Steigesträngen einschließlich dem Pufferspeicher, nicht jedoch die Verluste in den Wohnungen: Die Verluste in den Wohnungsübergabestationen durch nicht gedämmte Verrohrung und den Wärmetauscher werden ebenso wenig erfasst wie der Verteilleitungen in der Wohnungen.

Eine Differenzierung zwischen Heizung und Warmwasser ist nicht unmittelbar möglich. Der Warmwasserverbrauch kann lediglich indirekt aus dem sommerlichen Verbrauch abgeleitet werden, der auch noch die Verteilverluste enthält.

Wie Tabelle 27 zeigt, sind die so ermittelten witterungsbereinigten Verluste mit 24-31 kWh/m²a bzw. 27-39 % des gesamten Endenergieverbrauchs erstaunlich hoch. Ein Teil der Verluste aus den Steigeleitungen kommt - jedenfalls in der Heizzeit - allerdings der Raumwärme zugute. Das Beispiel wird in Kapitel 5.5 näher betrachtet und ausgewertet.

Straße Nr.	Auf dem Hollen 15-19	Ernst-Eiselen-Str. 1-5	Ernst-Eiselen-Str. 2-8
Wohnfläche	1616 m ²	1512 m ²	2032 m ²
Fernwärmeübergabestation	84 kWh/m ² a	87 kWh/m ² a	71 kWh/m ² a
Summe der Wohnungs-WMZ	53 kWh/m ² a	63 kWh/m ² a	43 kWh/m ² a
-> Verluste	31 kWh/m ² a 37%	24 kWh/m ² a 27%	27 kWh/m ² a 39%

Tabelle 27 Messwerte der Concerto-Objekte mit 2-Leiter-System

4.3.2 Erweiterte Analyse mit der E-A-V

Messdaten des Gesamtverbrauchs von Gebäuden – gemessen vor und/oder hinter dem Wärmeerzeuger – lassen sich detailliert auswerten. Dazu werden sie als mittlere Leistungen über der Außentemperatur aufgetragen. Es entsteht die "Energieanalyse aus Verbrauchsdaten" (E-A-V), in der Literatur auch Energiesignatur oder Fingerabdruck des Gebäudes genannt. Das Auswerteverfahren ist in [35] ausführlich beschrieben. Ein Beispiel zeigt Bild 25 für ein ca. 620 m² großes Pflegeheim (Wabehaus, Neuerkerode) vor der energetischen Modernisierung, die inzwischen erfolgt ist [10].

In den Messwerten – hier einer Fernwärmeübergabestation – ist der Gesamtverbrauch für Heizung- und Trinkwarmwasser als Summe aus Nutzwärme und Verteilnetzverlusten im Gebäude enthalten. Die E-A-V ermöglicht die Aufschlüsselung in einen witterungsunabhängigen Leistungsanteil (Grundleistung 8,6 kW) und einen witterungsabhängigen Anteil (Steigung 2 kW/K).

Die vor Ort installierten Messzähler erlauben keine weitere Aufschlüsselung der beiden Anteile.

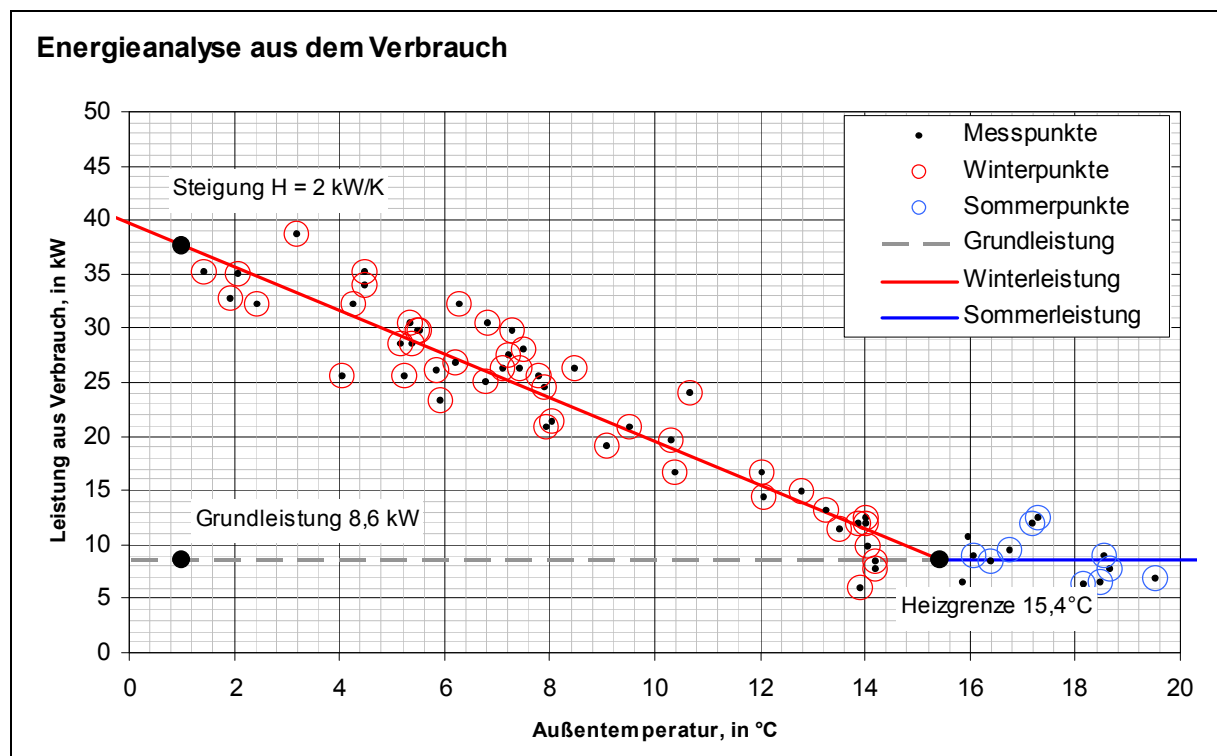


Bild 25 Energieanalyse aus dem Verbrauch für ein Pflegeheim [10]

Es ist klar, dass in beiden Anteilen, dem witterungsabhängigen Heizungsanteil und dem witterungsunabhängigen Trinkwarmwasseranteil jeweils Nutzwärme und Rohrwärmeabgaben enthalten sein müssen.

Anhand von Abschätzungen zur Nutzwärme oder zu den Leitungsnetzen – je nachdem was einfacher in der Umsetzung vor Ort erscheint – lassen sich beide Anteile aufsplitten. Bild 26 zeigt ein Schema hierzu, welches die realen Verhältnisse im betrachteten Gebäude näherungsweise widerspiegelt. Es wird hierzu angenommen, dass die Leitungsnetze der Heizung nahe der Heizgrenztemperatur von 15,4°C keine Wärme abgeben. Dies ist eine Idealisierung.

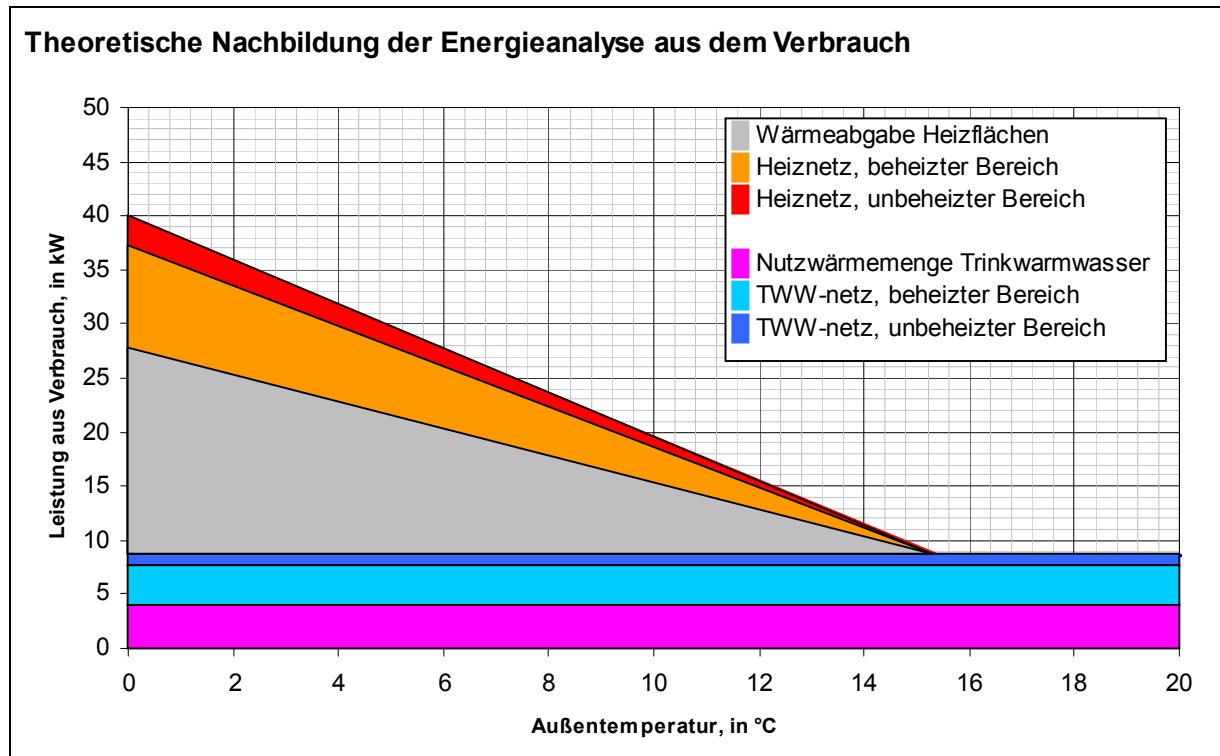


Bild 26 Theoretische Nachbildung der Energieanalyse aus dem Verbrauch für ein Pflegeheim

4.3.3 Theoretische Betrachtungen mit dem Hilfsmittel E-A-V

Am Beispiel eines typischen gut gedämmten Mehrfamilienhauses mit 1000 m² beheizter Wohnfläche soll die E-A-V nur für den beheizten Bereich nachvollzogen werden. Die Fragestellung lautet: wie lässt sich die real beobachtete Heizgrenze von 14°C erklären. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie sich die Verteilverluste der beiden wärmeleitenden Netze auf die Heizgrenze auswirken. Es wird unterschieden in ein Heiznetz mit geregelter und ungeregelter Vorlauftemperatur.

In der Messung wurde folgendes ermittelt: die Wärmeleistung, die dem beheizten Bereich bei -15°C zugeführt wird, beträgt 35 kW. Es handelt sich um die effektive Wärmeleistungszufuhr, eine Summe aus Netzverlusten im beheizten Bereich und der eigentlichen Heizkörperwärmeleistung. Darüber hinaus liegt die Heizgrenztemperatur bei 14°C. Die Grunddaten sind in Bild 27 vermerkt.

Mit Hilfe theoretischer Annahmen werden die Messwerte nachgebildet. Die gemessene Steigung des Verbrauchsverlaufs liegt bei $H = 1,2 \text{ kW/K}$. Sie ergibt sich aus Transmission und Lüftung nach dem Ansatz:

$$H = H_T + H_V = \Sigma(U \cdot A \cdot F_x) + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}}$$

Für das Beispielobjekt werden das reale beheizte Volumen V (2500 m^3) und die realen Hüllflächen A (Summe 1600 m^2), darüber hinaus abgeschätzte U -Werte und Temperaturkorrekturfaktoren F_x sowie ein angenäherter typischer Luftwechsel n eingesetzt. Die nur näherungsweise ermittelbaren Größen werden variiert bis die gemessene Steigung plausibilisiert ist.

Im Beispiel führt ein Luftwechsel von $n = 0,47 \text{ h}^{-1}$ zu einer bezogenen Lüftungsheizlast von $0,4 \text{ kW/K}$. Der mittlere U -Wert aller Hüllflächen liegt bei ca. $U = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und führt zu einer bezogenen Transmissionsheizlast von $0,8 \text{ kW/K}$. Die Summe beträgt – wie gemessen – $1,2 \text{ kW/K}$. Da obige Gleichung mehrere Unbekannte hat, führen mehrere Parameterkombinationen zum bekannten Ergebnis.

Die gemessene bzw. nachgerechnete Steigung des Verbrauchsverlaufs wird in ein Diagramm eingetragen, so dass sie die vermutete Raumtemperatur, hier 20°C schneidet. Bei Temperaturgleichheit innen und außen sind die Wärmeverlustströme aus Transmission und Lüftung null.

Im zweiten Schritt werden interne Wärmegewinne aus Personen und Geräten mit Hilfe von Typologien abgeschätzt, hier $3,2 \text{ W/m}^2$ bzw. $3,2 \text{ kW}$. Sie werden als Konstante in die Grafik eingetragen. Es ergibt sich ein erster Schnittpunkt mit der Verlustgeraden H . Er liegt bei ca. $17,5^\circ\text{C}$. Die internen Gewinne würden ausreichen, die Heizgrenze um $2,5 \text{ K}$ unter die Innentemperatur zu verschieben.

Im dritten Schritt werden die theoretischen Solargewinne bestimmt (mit Fensterflächen, Strahlungsdaten, g -Werten). Es wird eine Heizperiodenbilanz verwendet, die einen Solargewinn in kWh/a über die Heizperiode liefert. Dieser wird vereinfachend als konstante solare Wärmelast interpretiert. Dies ist zwar nicht korrekt, reicht zur Erläuterung der Grundzusammenhänge jedoch aus. In diesem Fall liegt die mittlere solare Dauerleistung bei 3 kW . Der Schnittpunkt mit der Verlustgeraden H verschiebt sich auf ca. 15°C . Ohne Wärmeeinträge aus der Anlagentechnik wäre dies die Heizgrenze.

Anschließend erfolgt im vierten Schritt eine Einschätzung der Wärmeeinträge durch die Trinkwarmwasserverteilung im beheizten Bereich. Aus näherungsweise am Grundriss ermittelten Leitungslängen (270 m) und Annahmen zu Netztemperaturen und Dämmstandards ergibt sich eine Dauerleistung von $1,02 \text{ kW}$. Der Schnittpunkt mit der Verlustgeraden H verschiebt sich auf ca. 14°C . Das entspricht in etwa der messtechnisch festgestellten Heizgrenze.

Die Rechenschritte sind in Bild 27 und Bild 28 nachvollziehbar. Die per Subtraktion festgestellte effektive Heizleistung (Summe Netzverluste im beheizten Bereich und Heizkörper) beträgt am kältesten Tag 35 kW . Diese kann nun auf Netz und Heizkörperwärmeabgabe aufgeteilt werden.

Es werden die Heizleitungslängen im beheizten Bereich vor Ort bzw. am Grundriss bestimmt (hier ca. 750 m). Außerdem werden Annahmen zu U -Werten der Rohrleitungen getroffen und die Auslegungstemperaturen abgeschätzt (hier $70/55^\circ\text{C}$).

Grenzfall a) Ideale Heizungsregelung

Es wird eine ideal witterungsgeführte Heizungsregelung unterstellt. Dies führt zu linear witterungsabhängigen Wärmeverlusten des Verteilnetzes. Das Leistungsmaximum liegt bei -15°C Außentemperatur; bei 20°C Außentemperatur ist die Wärmeabgabe null, weil die Vorlauf-temperatur dann der Raumtemperatur entspricht.

Bei der aus allen anderen Lasten ermittelten Heizgrenze von ca. 14°C wird das Netz im Herbst eingeschaltet, was zu einem Sprung des Wärmeangebotes um etwa $1,7\text{ kW}$ führt. Bis etwa 12°C (letzter Schnittpunkt mit der Linie H) kann das Gebäude allein aus der Leitungs-abwärme versorgt werden. Erst darunter ist Wärmeabgabe von Heizflächen notwendig. Im Frühjahr tritt eine Umkehr ein.

Im Temperaturbereich zwischen 12 und 14°C Außentemperatur findet eine Wärmeversorgung der Räume statt, die nicht regelbar ist. Rein rechnerisch beträgt die Länge dieses Zeit-raums in der Klimaregion Braunschweig etwa 1 Monat. Erst unter 12°C Außentemperatur müssten die Heizkörper den Räumen geregelt Wärme zuführen.

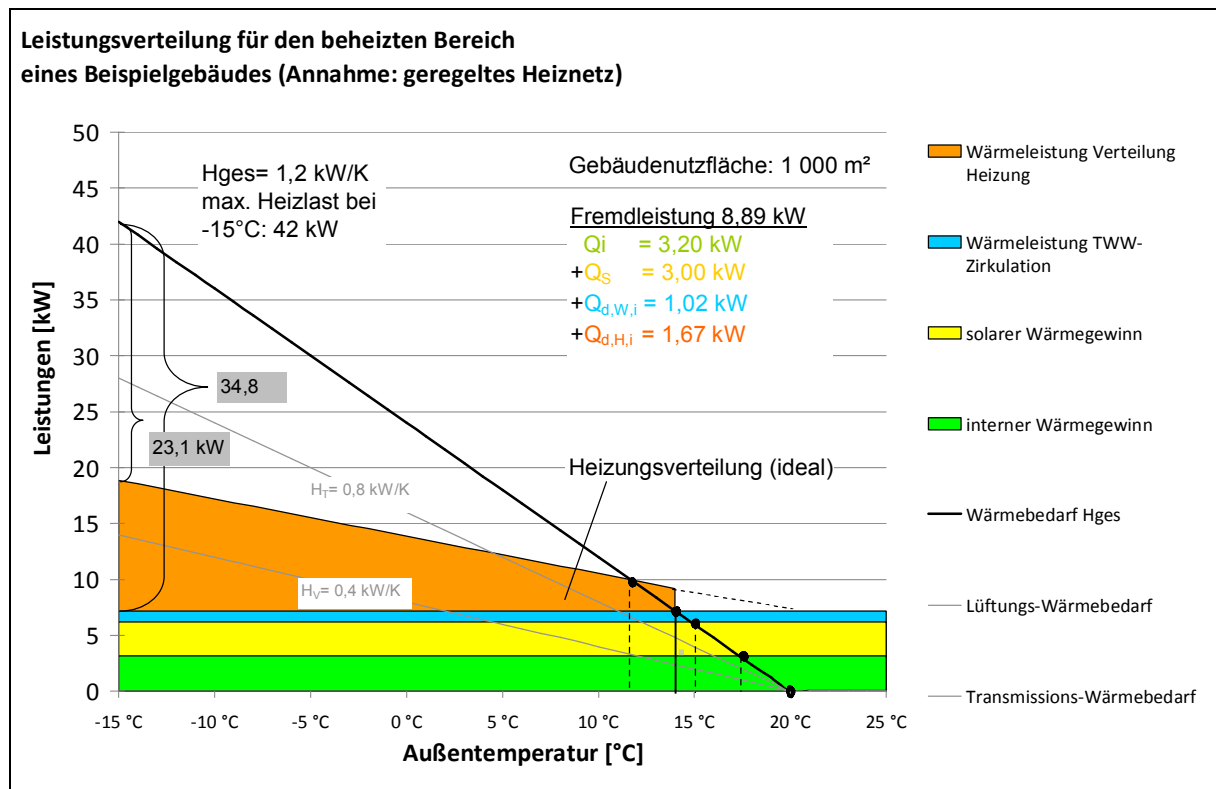


Bild 27 Detailanalyse mit E-A-V – mit idealer Heizungsregelung

Grenzfall b) Keine Heizungsregelung

Es wird unterstellt, dass es keine Regelung der Heizungsvorlauftemperatur gibt. Sofort zu Beginn der Heizperiode (hier unterhalb 14°C Außentemperatur) hat das Netz die Temperatur – und somit die Leistungsabgabe – wie am kältesten Tag. Dauerhaft wird über das Netz bei dieser Grenzbetrachtung eine Leistung von etwa 7 kW abgegeben. Dies ist eine theoretische Annahme, weil die Rücklauftemperatur abhängig von der Leistungsabgabe ist. Zum Zwecke der Grenzbetrachtung reicht diese Vereinfachung. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich in heutigen Wohnungsübergabestationen mit Zweileiternetzen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung.

Mit Einschalten des Netzes im Herbst steigt das Fremdwärmeangebot um 11,7 kW und senkt die rechnerische Heizgrenze (der Heizkörper) auf 4°C – vorausgesetzt es läge eine statistische Gleichverteilung der Wärmeeinträge im Gebäude vor. Das bedeutet, dass erst unterhalb von 4°C die Heizkörper geregelt heizen müssen.

Im Temperaturbereich zwischen 4 und 14°C findet eine Versorgung allein über Rohrleitungen statt. Es ergibt sich effektiv eine Überversorgung der Räume, die nicht regelbar ist. Rein rechnerisch beträgt die Länge dieses Zeitraums in der Klimaregion Braunschweig etwa 5 Monate. Unterhalb von 4°C Außentemperatur sind noch 3 Monate Heizzeit zu verzeichnen, in denen zusätzlich geregelte Wärme benötigt wird.

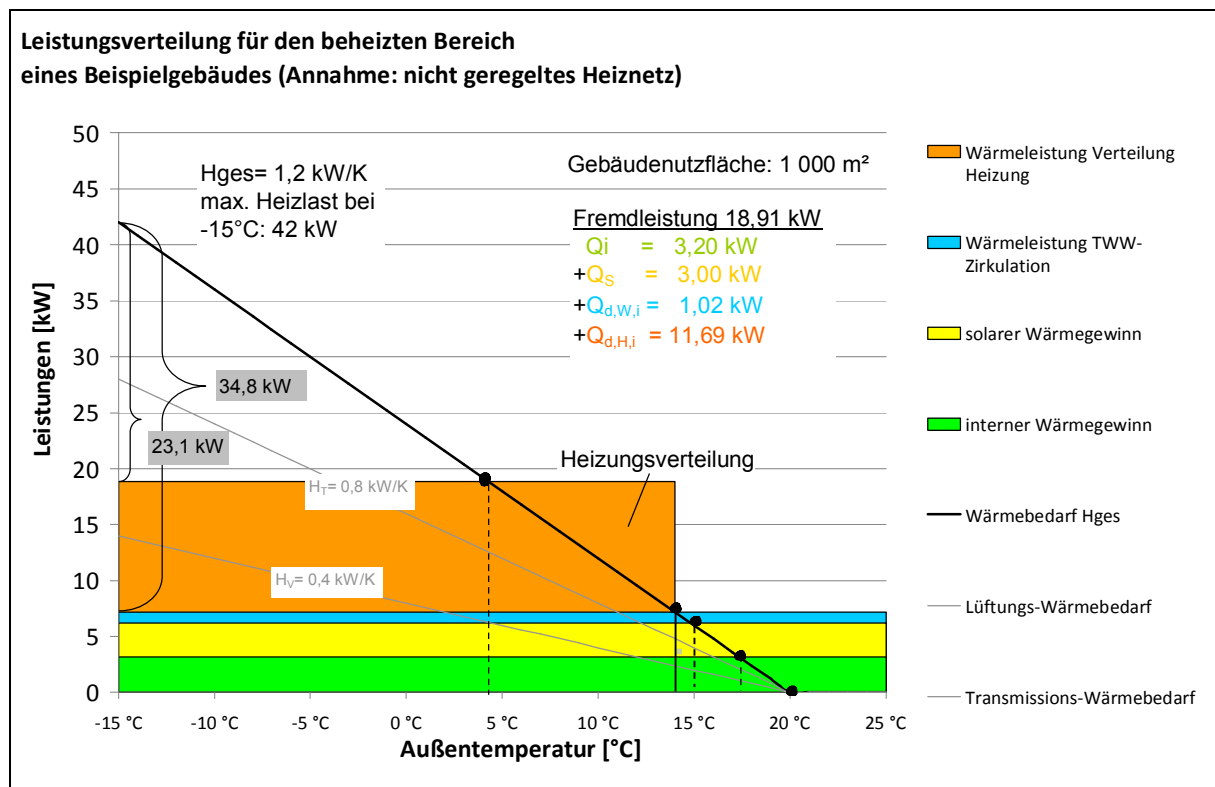


Bild 28 Detailanalyse mit E-A-V – ohne Heizungsregelung

Abschließend ist hinzuzufügen, dass in realen Anlagen weder der eine noch der andere Grenzfall eintreten, sondern ein Zustand dazwischen. Darüber hinaus sind in den einzelnen Räumen eines Gebäudes unterschiedliche Verhältnisse von Wärmeeintrag und -verlust zu verzeichnen. Wollte man dies detailliert darstellen, wäre eine feinere räumliche Bilanz sowie die Berücksichtigung von zeitlich schwankenden Lasten erforderlich.

Die E-A-V-Betrachtungen sollten verdeutlichen, wie Messwerte des Verbrauchs mit theoretischen Bedarfsberechnungen gekoppelt werden können. Es lassen sich Phänomene der Überversorgung erläutern sowie die Versorgungszustände in der Nähe der Heizgrenze.

5 Erkenntnisse aus Praxisprojekten

Die nachfolgenden Unterkapitel stellen Praxisprojekte unter verschiedenen Themenschwerpunkten vor: Zweirohrheizungen, Einrohrheizungen, umgebaute Schwerkraftheizungen, Projekte zur Zentralisierung bzw. Dezentralisierung. Es wird ein projektbezogenes Fazit gezogen und – sofern möglich – eine Verallgemeinerung abgeleitet.

5.1 Konventionelle Vierleiternetze

5.1.1 Hannover Kronsberg, Papenkamp

In verschiedenen Projekten zur Expo-Siedlung "Hannover Kronsberg" wurden zwei Gebäude detaillierter untersucht [38] [32]. Es handelt sich um die 1998 errichteten Gebäude am Papenkamp 5 und 7 sowie Weistfeld 40 und 42.



Bild 29 Papenkamp 5/7 sowie Weistfeld 40/42

Wichtige projektrelevante Kennwerte des Gebäudes am Papenkamp zeigt Tabelle 28.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		20
Bewohnerzahl ca.		38
Wohnfläche		1421 m ²
beheiztes Luftvolumen		3552 m ³
Hüllfläche		2177 m ²
	davon Fenster	349 m ²
mittlerer U-Wert		0,331 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	135 MWh/a
	davon Heizung	94 MWh/a
	und Warmwasser	41 MWh/a
Versorgung		
Anschluss an Nahwärme		
900 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt	112 m
	Steigestränge	568 m
	Anbindeleitungen	577 m
Dämmung	nach EnEV	0,2 ... 0,25 W/(mK)
Auslegung		74/40°C real, 65/39°C geplant
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,08 m/m ²
	beheizter Bereich	0,81 m/m ²
	gesamt	0,89 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt	189 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation	134 m
	Stichleitungen	235 m
Dämmung	nach EnEV	0,2 ... 0,25 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,13 m/m ²
	beheizter Bereich	0,26 m/m ²
	gesamt	0,39 m/m ²

Tabelle 28 Kenndaten Papenkamp

Die Energieanalyse des beheizten Bereiches zeigt, dass weniger als die Hälfte (44 %) aller Gebäudeverluste durch Transmission und Lüftung über die Heizflächen geregelt abgegeben werden. In dem Niedrigenergiehaus entstammen etwa 20 % der Wärmeeinträge aus Verteilnetzen, siehe Bild 30.

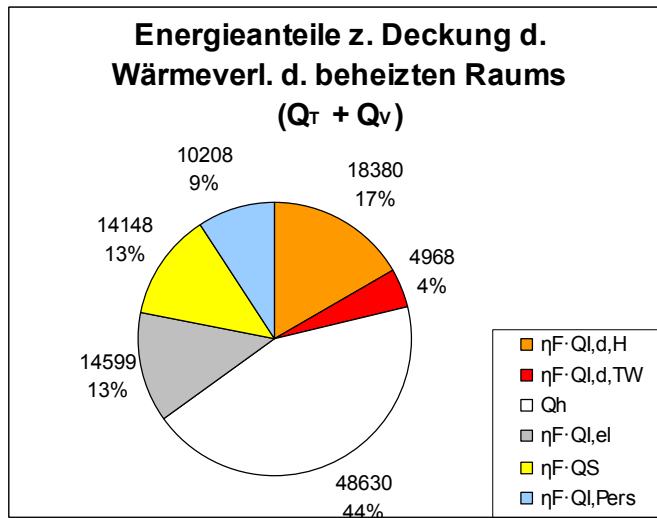


Bild 30 Deckung der Wärmeverluste - Papenkamp 5/7

Die Verlegedichte der Heizungsleitungen ist vergleichsweise hoch (0,81 m/m² für Heizung im beheizten Bereich); es ist ein Netz mit Etagenverteiler eingesetzt. Die Abwärme der Heizungsleitungen kommt den Räumen nicht gleichmäßig zu Gute, sondern fällt überwiegend in Fluren, Küchen und Bädern an. Da dies Überström- und Ablufträume sind, wird die anfallende Wärme zu großen Teilen ungenutzt (mechanisch) abgelüftet. Eine Detailuntersuchung dieses Phänomens [38] ermittelt ein Einsparpotential von 5 ... 10 kWh/(m²a).

Bild 31 zeigt die Auswertung der beiden Gewerke: Heizung und Trinkwarmwasserbereitung. Das Trinkwarmwassernetz ist mit unter 50 % Nutzungsgrad grenzwertig effizient. Der gelieferte Nutzen beläuft sich auf 17 MWh/a bzw. etwa 12 kWh/(m²a).

Das Heiznetz spiegelt typische Verhältnisse einer Zweirohrheizung wieder: etwa 2/3 der Wärme wird geregelt über Heizflächen abgegeben.

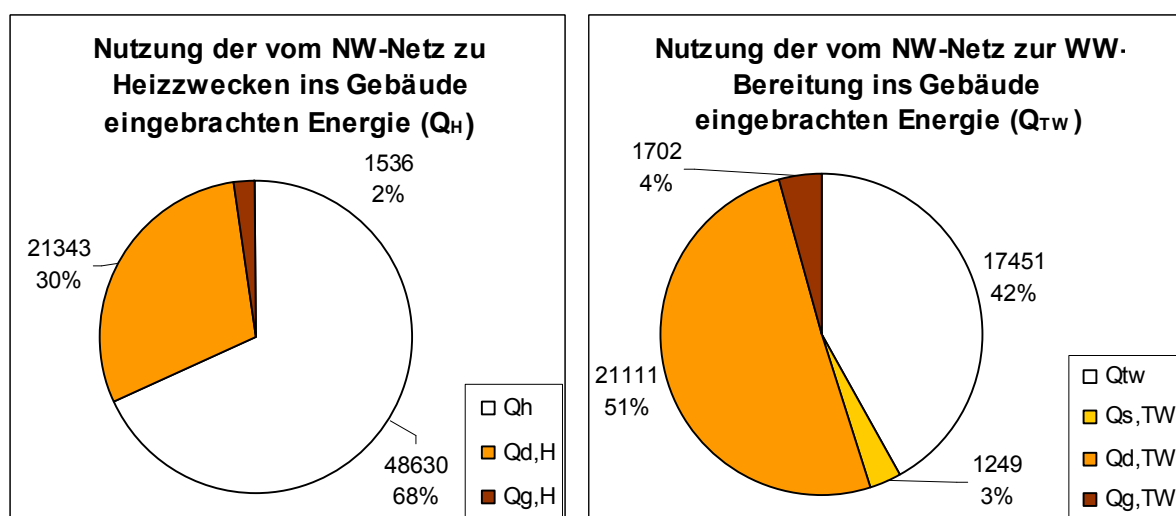


Bild 31 Gesamtbilanz der beiden Netze - Papenkamp 5/7

Im Gesamtgebäude werden nur ca. 55 % der gelieferten Energie dem Nutzer geregelt, d.h. an Wasserhahn und Heizkörper übergeben. Der Rest sind unregelmäßige Wärmeeinträge in den beheizten Bereich oder Verluste im unbeheizten Bereich.

Für das Gebäude am Weistfeld 40/42 ergeben sich ähnliche Verhältnisse.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Wärmelieferung in einem größeren Niedrigenergiegebäude erfolgt zu fast 55 % unregelmäßig, was größtenteils an den Leitungsverlusten liegt. Die Verlegedichte insbesondere von Heiznetzen ist – wegen der gewählten Estrichverteiler – überdurchschnittlich hoch. Leitungsabwärme in Fluren, Küchen und Bädern ist bedingt bis nicht nutzbar.

Das Heiznetz kann aber nicht verändert werden. Bleibt die Empfehlung, derart hohe Verlegedichten ($0,81 \text{ m/m}^2$) im beheizten Bereich zu vermeiden oder die Leitungen im Estrich besser zu dämmen.

Das Trinkwarmwassernetz ist grenzwertig gut. Gegenüber 42 % Nutzungsgrad wäre eine elektrisch direkte Versorgung gleichwertig, sofern das Gebäude zentral mit Gas beheizt würde. Hier wird Nahwärme (aus KWK) eingesetzt, so dass keine Änderungsempfehlung ausgesprochen wird.

5.1.2 Berlin Kaulsdorf, Boizenburger Straße

Im Rahmen eines Vergleichs von Zwei- und Einrohrheizungen [24] [38] wurden mehrere 10.000 m² modernisierte Plattenbauten im Osten Berlins untersucht. Eines der detaillierter analysierten Objekte steht in der Boizenburger Straße. Das Objekt ist Baujahr 1979, an Fernwärme angeschlossen und wurde 1998 vollsanziert. Mit einem Endenergiekennwert von $117 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ wird in den Gebäuden kein Niedrigenergiestandard erreicht, sondern in etwa das Niveau der damals geltenden Wärmeschutzverordnung.



Bild 32 Boizenburger Str. 59-65 und 67-71

Kennwerte zum Gebäude und insbesondere zu den installierten Wärmenetzen zeigt Tabelle 29. Es zeigt sich, dass die Versorgung von übereinander liegenden Räumen mit Steigsträngen zu einer sehr geringen Leitungsverlegedichte der Heizleitungen führt. Auch die optimale Platzierung von Bädern und Küchen führt zu geringen Verlegedichten bei der Trinkwarmwasserbereitung.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		70
Bewohnerzahl ca.		127
Wohnfläche		4228 m ²
beheiztes Luftvolumen		10782 m ³
Hüllfläche		5443 m ²
	davon Fenster	649 m ²
mittlerer U-Wert		0,578 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	491 MWh/a
	davon Heizung	358 MWh/a
	und Warmwasser	133 MWh/a
Versorgung		
Anschluss an Nahwärme		
kein Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt	825 m
	Steigestränge	1728 m
	Anbindeleitungen	360 m
Dämmung	nach EnEV	0,2 ... 0,25 W/(mK)
Auslegung		87/47°C real
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,20 m/m ²
	beheizter Bereich	0,49 m/m ²
	gesamt	0,69 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt	234 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation	374 m
	Stichleitungen	430 m
Dämmung	nach EnEV	0,2 ... 0,25 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,06 m/m ²
	beheizter Bereich	0,19 m/m ²
	gesamt	0,25 m/m ²

Tabelle 29 Kenndaten Boizenburger Straße

Fast 60 % der Wärmezufuhr in den beheizten Bereich erfolgt geregelt über die Heizflächen – und das trotz nicht gedämmter Steigestränge, Bild 33.

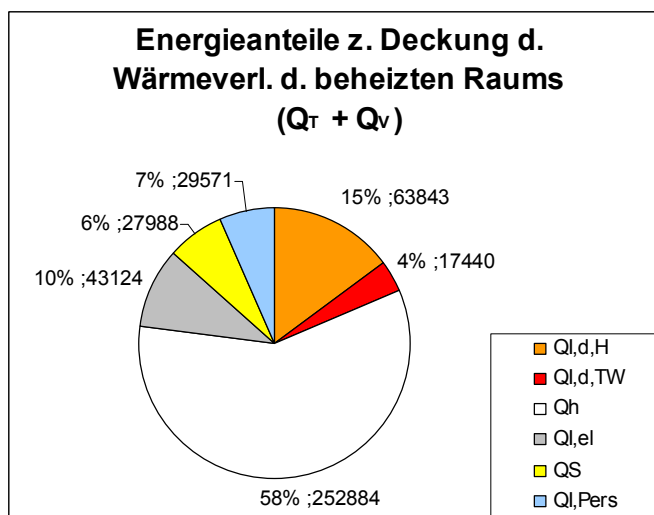


Bild 33 Deckung der Wärmeverluste – Boizenburger Straße

Fast 60 % der Endenergie für Trinkwarmwasserbereitung sind gelieferte Nutzwärme, wie Bild 34 zeigt. Bei der Heizung erreicht dieser Wert etwa 70 %.

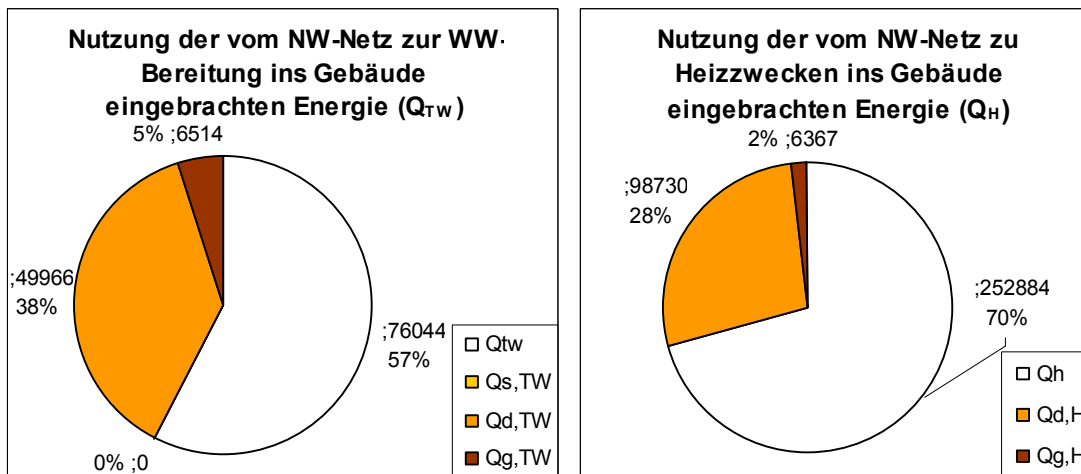


Bild 34 Gesamtbilanz der beiden Netze - Boizenburger Straße

Der unregelmäßige Wärmeeintrag in den beheizten Bereich ließe sich hier mit Leitungsdämmung der Steigestränge (in den Raumecken) einfach vermindern. Aus Sicht von kritischer Überwärmungsgefahr einzelner Räume sind nur die fensterlosen Bäder zu nennen, in denen sich zusätzlich der Steigestrang für die Trinkwarmwasserbereitung befindet.

FAZIT aus diesem Projekt

Bei der gewählten Art der Heizungsverteilung (Steigestrangtyp) und der sehr kurzen Trinkwarmwasserverteilung (leitungsoptimiert) ergibt sich eine Verlegedichte, die sehr gering ist.

Bei einer Modernisierung auf einen Standard der Wärmeschutzverordnung ergibt sich aus dieser Untersuchung nur die Empfehlung einer Leitungsdämmung (aller 4 Leiter) im Bad, damit es nicht zur Überwärmung kommt. Die ungedämmten Leitungen in den Wohnräumen und Küchen sind akzeptabel.

Das Gebäude ist außerdem günstig strukturiert für eine zentrale Warmwasserversorgung, denn es ergibt sich ein hoher Anteil von Nutzwärme an der Endenergie.

5.1.3 Braunschweig Lehdorf, Mettlacher Straße

Im Rahmen eines Energieberatungskurses wurde ein Gebäude in der Mettlacher Straße in Braunschweig näher untersucht [15]. Für das Anfang der 1930er Jahre errichtete Objekt, welches es in ähnlicher Bauart und Größe über 100 Mal im Stadtviertel Lehdorf gibt, ergaben sich verschiedene Energiekonzepte. Teilweise sind die Gebäude des Viertels – wie auch die Mettlacher Straße 33 – bereits modernisiert.



Bild 35 Mettlacher Straße 33, vor und nach Modernisierung

In dem Gebäude ist die Heizung in Form von ungedämmt auf der Wand liegenden Etagenringen ausgeführt. Es gibt zwei Steigepunkte links und rechts des Treppenhauses, siehe Bild 36.



Bild 36 Heiznetz im beheizten Bereich, Steigepunkt aller Netze im Keller

Die Pläne in Bild 37 skizzieren die Leitungsführung.

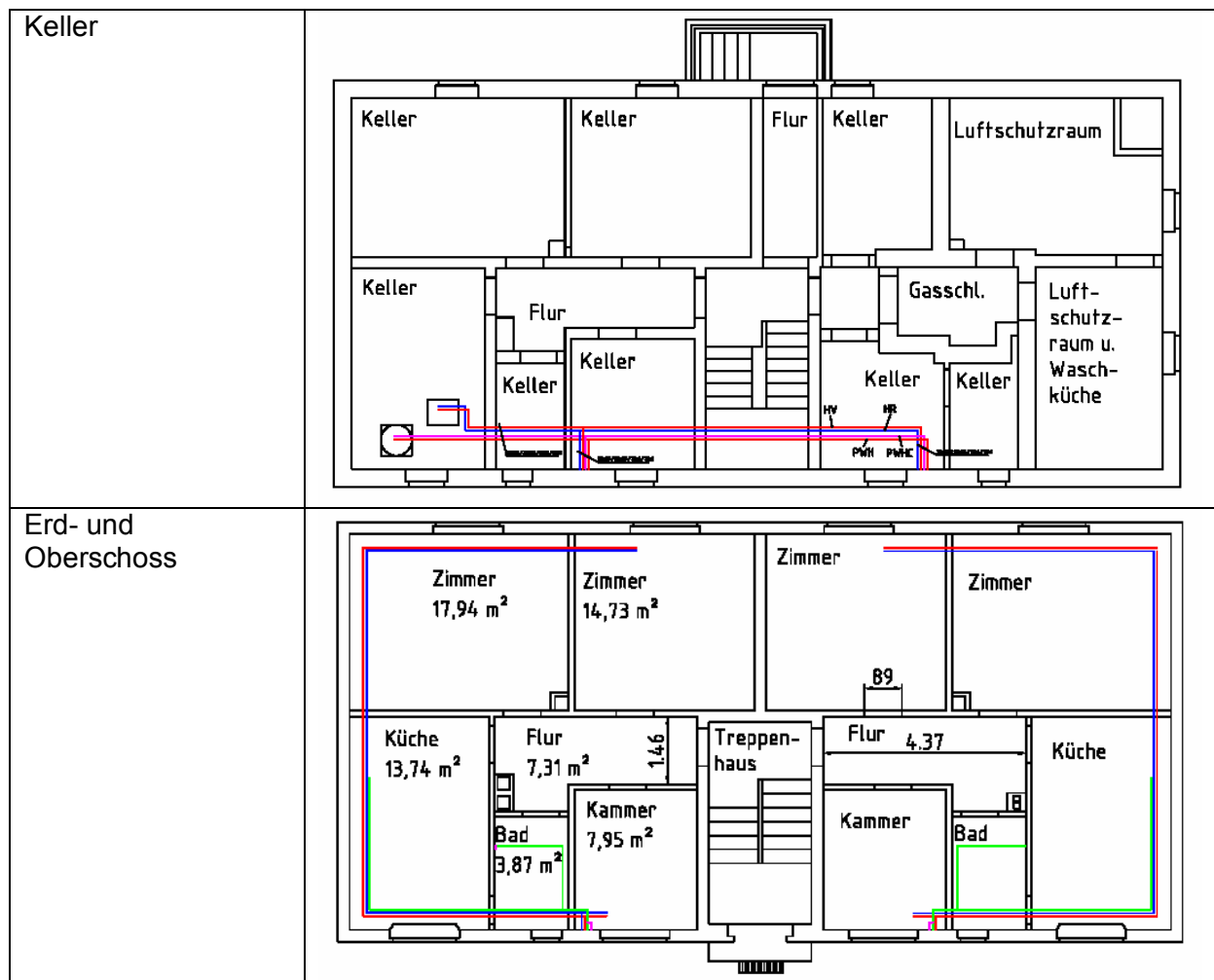


Bild 37 Grundrisse der Geschosse mit Leitungswegen – Mettlacher Straße

Insgesamt ergibt sich wegen der geringen Größe des Gebäudes, vor allem aber aufgrund der gewählten Leitungstypen eine hohe Verlegedichte. Vor allem das Heiznetz ist mit mehr als 0,8 m/m² Leitungen im beheizten Bereich eine große unregelmäßige Wärmequelle, wie an den Grundrissen erkennbar ist, insbesondere in den Küchen und Wohnzimmern.

Die Kennwerte des unsanierten Gebäudes mit seinen Netzen zeigt Tabelle 30.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		4
Bewohnerzahl ca.		6 – 8
Wohnfläche		262 m ²
beheiztes Luftvolumen		656 m ³
Hüllfläche		689 m ²
	davon Fenster	37 m ²
mittlerer U-Wert		0,70 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	47 MWh/a
Versorgung		
Niedertemperaturkessel, Gas		
200 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt, DN 20-32	26 m
	Steigestränge, DN 10-15	14 m
	Ring- und Anbindeleitungen, DN 10-15	200 m
Dämmung	Verteilung und Steigestränge nach EnEV Ring- und Anbindeleitungen ungedämmt	0,2 oder 0,5 W/(mK)
Auslegung		70/55°C
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,10 m/m ²
	beheizter Bereich	0,82 m/m ²
	gesamt	0,92 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt, DN 20-32	26 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation, DN 15-22	14 m
	Stichleitungen, DN 10-15	50 m
Dämmung	Verteilung und Steigestränge nach EnEV Anbindeleitungen ungedämmt	0,2 oder 0,5 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,10 m/m ²
	beheizter Bereich	0,24 m/m ²
	gesamt	0,34 m/m ²

Tabelle 30 Kenndaten Mettlacher Straße - Bestand

Im unsanierten Zustand des Gebäudes (ca. 2005) wird im Bereich Heizung noch ca. 70 % der Wärme geregelt in die Räume eingebracht. Das Trinkwarmwassernetz hat einen Gesamtnutzungsgrad von 50 % und mehr als 2/3 der Endenergie der Heizung wird über die Heizflächen abgegeben.

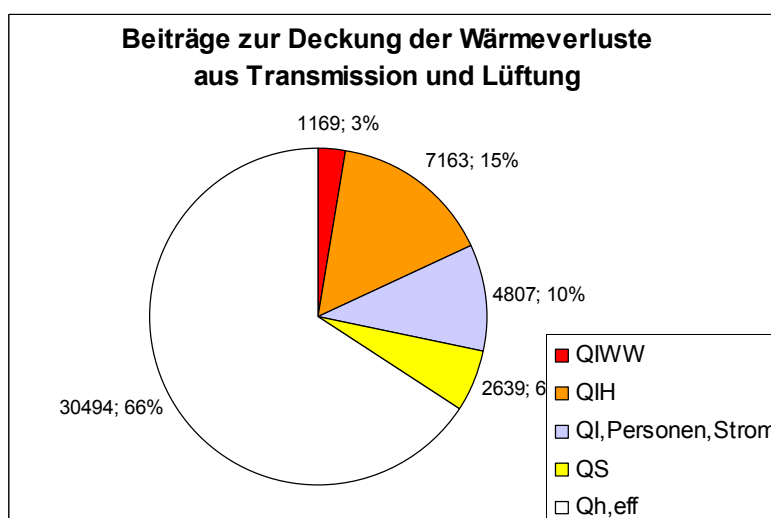


Bild 38 Deckung der Wärmeverluste - Mettlacher Straße, Bestand

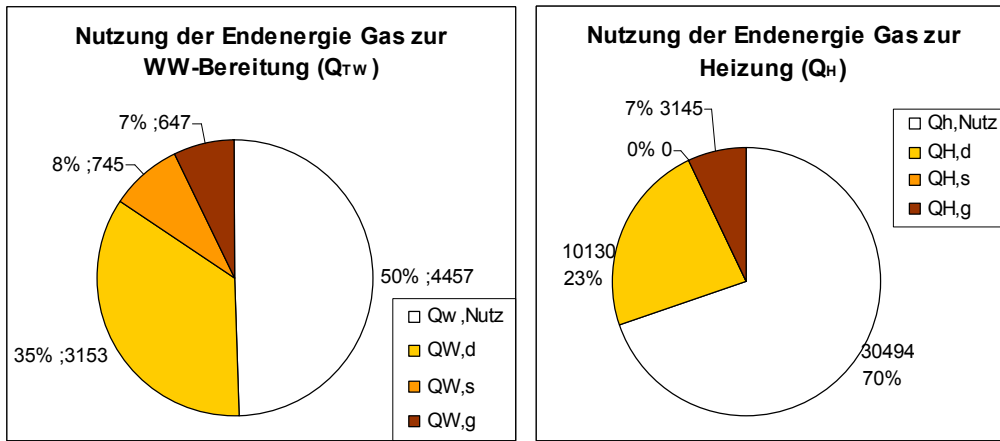


Bild 39 Gesamtbilanz der beiden Netze - Mettlacher Straße, Bestand

Modernisierung auf Neubauniveau, ohne Netzänderung

Dem damaligen Beratungsbericht sind Berechnungen von baulichen Verbesserungen entnommen. Eine mögliche Verbesserung des Baukörpers auf Niedrigstenergieniveau zeigt Tabelle 31. Der Energiebedarf sinkt um etwa die Hälfte. Die Netztemperaturen sind angepasst, aber die Heizleitungen im beheizten Bereich weiterhin ungedämmt.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
mittlerer U-Wert		0,28 W/(m ² K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		29 MWh/a
Versorgung		
Brennwertkessel		
200 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Auslegung		60/45°C
Dämmung		unverändert
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung		unverändert

Tabelle 31 Kenndaten Mettlacher Straße – Niedrigenergieniveau

Die Wärme wird nun nur noch zu knapp 50 % geregelt den Räumen zugeführt. Es ist im Bereich der Küchen und Bäder mit hoher Wahrscheinlichkeit von lokaler Überwärmung auszugehen.

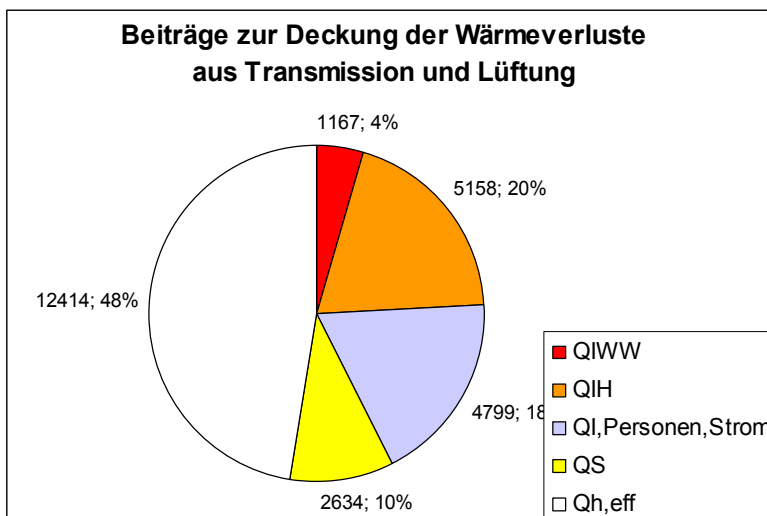


Bild 40 Deckung der Wärmeverluste - Mettlacher Straße, Modernisierung

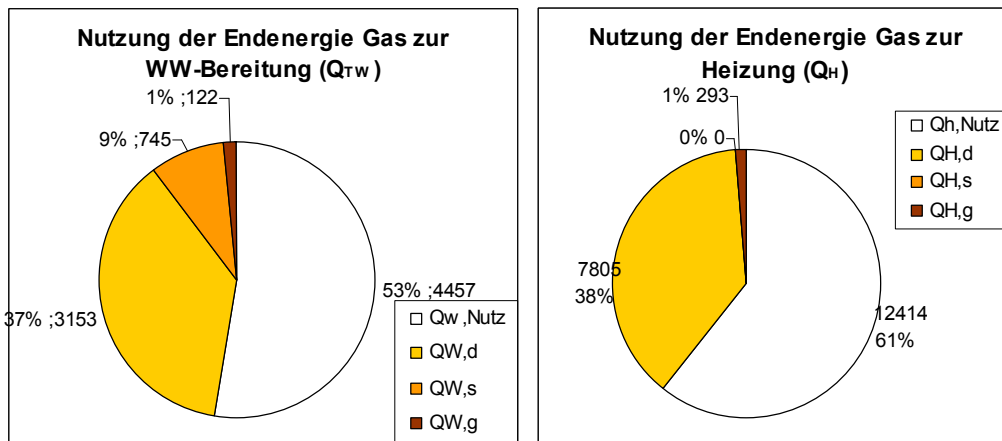


Bild 41 Gesamtbilanz der beiden Netze - Mettlacher Straße, Modernisierung

Das Trinkwarmwassernetz ändert sich kaum, so dass weiterhin ca. 50 % der Wärme als Nutzwärme geliefert werden. Das Heiznetz weist statt 70 % nur noch 60 % geregelte Wärmezufuhr in den beheizten Bereich auf.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Verlegedichte in dem Objekt ist eher hoch, was vor allem an der Verlegeart der Heizungsverteilung liegt. Bäder und Küchen sind hinsichtlich der Lage von Zapfstellen günstig geplant.

Eine Modernisierung verschlechtert hier die Wärmebilanz des beheizten Bereiches deutlich. Der Anteil der unregelmäßigen Wärmeabgabe steigt. Da die Etagenringleitung jedoch mit extrem kleinen Querschnitten (DN 10 bis 15) als Kupferrohr ausgeführt ist, ergibt sich noch keine eindeutige Empfehlung zur Dämmung.

Lediglich im Bereich von Bad und Küche kann es zu einer Überwärmung kommen. In Verbindung mit einer Abluftanlage wäre die Dämmempfehlung für Bad und Küche eindeutig ausgesprochen worden.

Die Trinkwarmwasserbereitung ist hinsichtlich der Dämmung von Anbindeleitungen verbesserungswürdig. Hier wäre eine Nachdämmung empfehlenswert. Das zentrale Netz selbst ist akzeptabel.

5.1.4 Braunschweig Südstadt, Behringstraße

Im Rahmen einer Energieberaterausbildung für Studenten und Ingenieure aus der Praxis wurde das Gebäude in der Behringstraße 23 – 26 in Braunschweig untersucht [12]. Die Bestandsanalyse des Objektes aus den 1960er Jahren führte zu einer Reihe von Modernisierungskonzepten, von denen bislang keines umgesetzt ist.



Bild 42 Behringstraße 23 – 26

In dem Gebäude sind die übereinander liegenden Räume strangweise miteinander verbunden. Es sind häufig zwei Heizkörper an einem Steigestrang angebunden. Dies führt zu einer sehr geringen Verlegedichte von Heizleitungen im beheizten Bereich ($0,31 \text{ m}^2$).

Die zentralen Trinkwarmwasserleitungen mit Zirkulation sind unter der Kellerdecke geführt. Wie üblich sind Bäder und Küchen günstig zueinander platziert, so dass sich sehr geringe Stichleitungslängen in der Etage ergeben. Die Steigestränge sind in einer Abstellnische im Flur geführt, siehe Bild 43.



Bild 43 Heizkörperanschluss und Abzweig der Stichleitung TWW im Obergeschoss

Wegen des lang gestreckten Baukörpers ergibt sich eine vergleichsweise große Verlegedichte von Trinkwarmwasserleitungen im unbeheizten Bereich. Die anderen Kennwerte zeigt die nachfolgende Tabelle.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		24
Bewohnerzahl ca.		42
Wohnfläche		1523 m ²
beheiztes Luftvolumen		3809 m ³
Hüllfläche		2888 m ²
	davon Fenster	294 m ²
mittlerer U-Wert		1,04 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	285 MWh/a
Versorgung		
Niedertemperaturkessel, 3-Kesselanlage, Gas		
500 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt, DN 20-32	380 m
	Steigestränge, DN 15-22	366 m
	Anbindeleitungen, DN 10-15	114 m
Dämmung	Verteilung nach EnEV, Steigestränge 50% Anbindeleitungen ungedämmt	0,25 bis 0,35 W/(mK)
Auslegung		75/50°C
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,25 m/m ²
	beheizter Bereich	0,31 m/m ²
	gesamt	0,56 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt, DN 20-32	220 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation, DN 15-22	130 m
	Stichleitungen, DN 10-12	168 m
Dämmung	Verteilung und Steigestränge nach EnEV Anbindeleitungen fast ungedämmt	0,2 oder 0,3 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,14 m/m ²
	beheizter Bereich	0,20 m/m ²
	gesamt	0,34 m/m ²

Tabelle 32 Kenndaten Behringstraße Bestand

Die Energiebilanz der beheizten Räume fällt extrem günstig aus. Fast $\frac{3}{4}$ aller Wärmemengen gelangen geregelt in die Räume. Dies liegt selbstverständlich auch an dem noch schlechten Dämmstandard und damit hohen Wärmebedarf des Objektes. Aber auch im Vergleich mit vergleichbaren Objekten (siehe Stettinstraße, Kapitel 5.1.5) ist die Bilanz positiv.

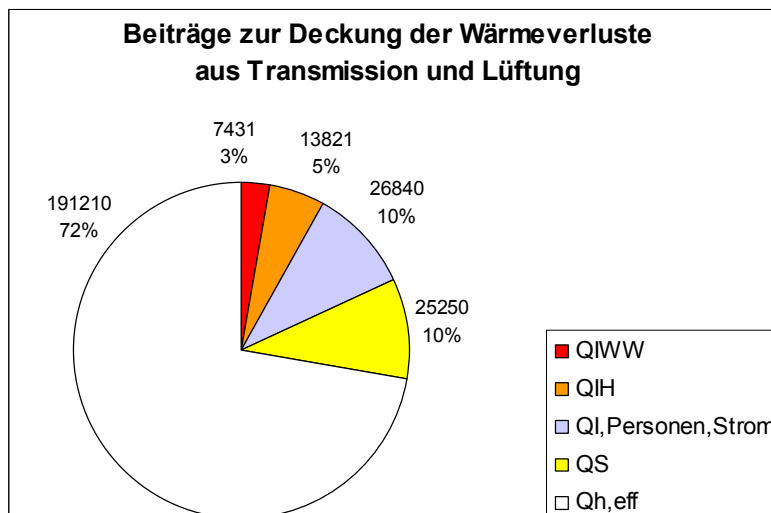


Bild 44 Deckung der Wärmeverluste - Behringstraße Bestand

Die Trinkwarmwasserbereitung sticht negativ hervor. Etwa 50 % der Endenergie sind Verteilverluste, nicht einmal 40 % Nutzwärme. Trotz der hohen Energiekennwerte von 43 kWh/(m²a) für die Endenergie und 16 kWh/(m²a) für Nutzenergie wäre ein dezentral elektrische Versorgung energetisch gleichwertig.

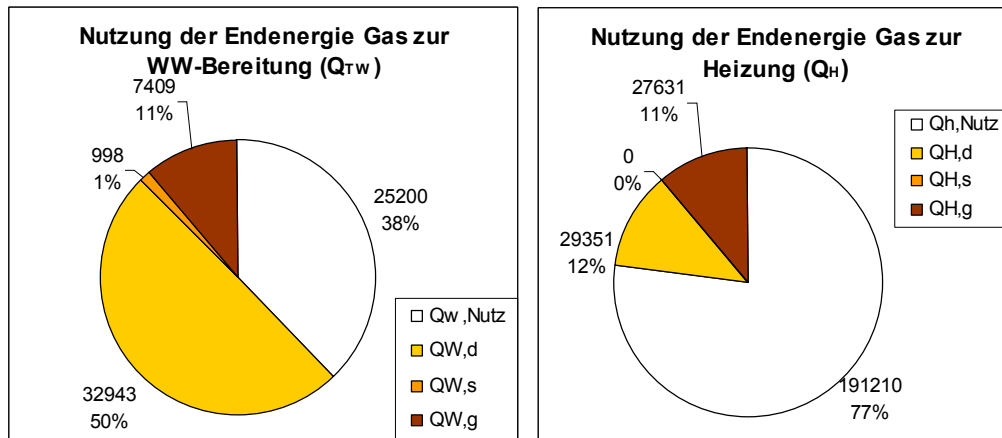


Bild 45 Gesamtbilanz der beiden Netze - Behringstraße Bestand

Der Heizenergiekennwert liegt bei gut 160 kWh/(m²a). Mehr als $\frac{3}{4}$ der Energie des eingesetzten Gases gelangen geregelt in die Räume.

Modernisierung auf Neubauniveau, ohne Netzänderung

Im Rahmen der Konzepterstellung für Verbesserungsmaßnahmen ergab sich u. a. die Empfehlung für einen Niedrigenergiestandard. Der Bedarf wird etwa halbiert. Der bessere Wärmeschutz der Gebäudehülle schlägt sich in einer verminderten Netztemperatur für die Heizung nieder. Das restliche Leitungsnetz bleibt unverändert, da es nicht zugänglich oder bereits gut gedämmt ist.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
mittlerer U-Wert		0,33 W/(m ² K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		145 MWh/a
Versorgung		
Brennwertkessel		
500 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Auslegung		60/45°C
Dämmung		unverändert
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung		unverändert

Tabelle 33 Kenndaten Behringstraße Modernisierung

Die in Tabelle 33 beschriebenen Verbesserungen führen zu einer deutlichen Verschiebung der Energiebilanz der beheizten Räume. Nur noch knapp 50 % der Wärme müssen geregelt zugeführt werden. Die restlichen Energieströme treten ungeregelt auf, siehe Bild 46.

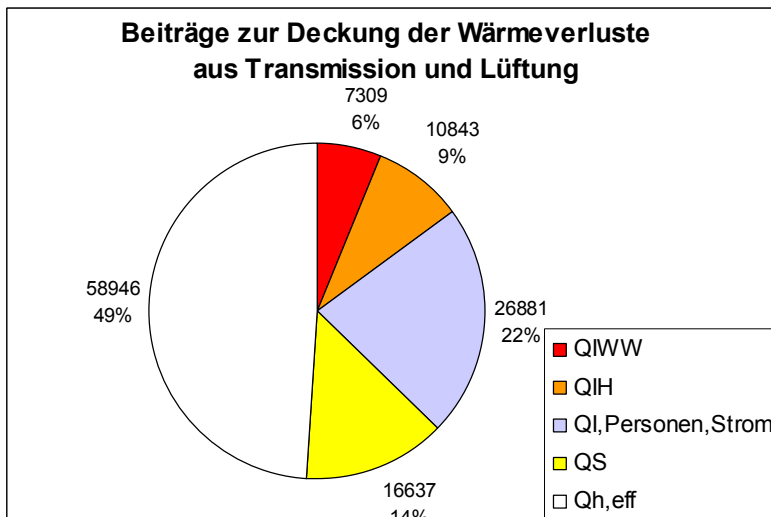


Bild 46 Deckung der Wärmeverluste - Behringstraße Modernisierung

Die Energiebilanz der Trinkwarmwasserbereitung ändert sich nur unwesentlich durch den besseren Wärmeerzeuger. Der Anteil der Nutzwärme ist mit 42 % weiterhin kritisch gering.

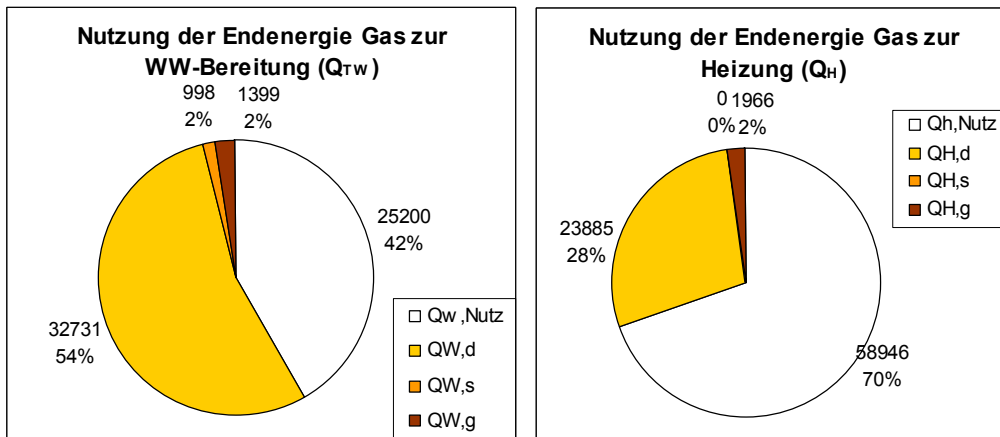


Bild 47 Gesamtbilanz der beiden Netze - Behringstraße Modernisierung

Die Heizungsbilanz fällt auch im Niedrigenergiegebäude positiv aus. Trotz der nur schwach gedämmten Leitungen ergibt sich mehr als $\frac{2}{3}$ geregelte Wärmeabgabe des Netzes.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Erkenntnisse, die aus diesem Projekt gewonnen werden, sind klar zweigeteilt.

Die Trinkwarmwasserbereitung schneidet energetisch schlecht ab – trotz eigentlich hoher Nutzungsintensität. Durch die lang gestreckte Gebäudeform ergibt sich ein ausgedehntes Netz, vor allem im Keller. Zusätzlich dazu führt der mittelmäßige Bestandskessel zu einem Gesamtnutzungsgrad unter 40 %. Eine elektrisch dezentrale Versorgung wäre energetisch gleichwertig. Auch die Kesselverbesserung ändert an diesem Zustand wenig.

Das Heiznetz ist dagegen auch im Niedrigenergiegebäude sinnvoll nutzbar. Es führt zu vergleichsweise wenigen Wärmeverlusten sowie Fremdwärmeeinträgen in den beheizten Bereich. Hier würde keine Veränderung empfohlen.

Für beide Netze zusammen ist festzustellen, dass die lokale Überwärmungsgefahr im Gebäude auch nach der Modernisierung klein sein wird. Der zentrale Steigestrang für die Trinkwarmwasserbereitung liegt im Flur und ist gut gedämmt, die Heizungsstränge sind über den gesamten Grundriss verteilt. Es ergibt sich demzufolge keine Ballung von Verlegedichten, was eine gute Ausgangslage für den Weiterbetrieb als gut gedämmtes Objekt ist.

5.1.5 Braunschweig Heidberg, Stettinstraße

In einem Projekt mit dem Ziel der Voruntersuchung von Passivhaus-Contracting-Lösungen wurde u. a. das Mehrfamilienhaus in der Stettinstraße 13 und 15 energetisch untersucht [34]. Das Gebäude aus dem Jahr 1965 hat 15 Wohneinheiten.



Bild 48 Stettinstraße 13 und 15

Die weiteren Kennwerte zu Gebäudehülle, Nutzung und den Verteilnetzen zeigt Tabelle 34.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		15
Bewohnerzahl ca.		26
Wohnfläche		830 m ²
beheiztes Luftvolumen		2158 m ³
Hüllfläche		1592 m ²
	davon Fenster	163 m ²
mittlerer U-Wert		1,27 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	189 MWh/a
Versorgung		
Anschluss an Fernwärme		
500 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt, DN 20-32	108 m
	Steigestränge, DN 18-22	70 m
	Anbindeleitungen, DN 15	828 m
Dämmung	Verteilung, Steigestränge nach EnEV Rest ungedämmt	0,22 bis 0,47 W/(mK)
Auslegung		90/50°C
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,13 m/m ²
	beheizter Bereich	1,08 m/m ²
	gesamt	1,21 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt, DN 18-25	108 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation, DN 15-22	70 m
	Stichleitungen, DN 10-12	135 m
Dämmung	Verteilung, Steigestränge nach EnEV Rest ungedämmt	0,2 oder 0,4 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,13 m/m ²
	beheizter Bereich	0,25 m/m ²
	gesamt	0,38 m/m ²

Tabelle 34 Kenndaten Stettinstraße Bestand

Das Gebäude ist sehr schlecht gedämmt. Es liegen hohe Netztemperaturen vor. Die Verlegedichte der Heizleitungen ist sehr hoch, da eine Versorgung über Ringleitungen in der Etage gewählt wurde; die Leitungen liegen als Sockelleiste offen vor der Wand.

Das Trinkwarmwassernetz ist ebenfalls mit einer hohen Leitungsdichte geplant worden, was u. a. an den sehr kleinen Wohnungszuschnitten liegt.

Bild 49 zeigt die Energiebilanz der beheizten Räume. Trotz des hohen Wärmebedarfs werden nur etwa 50 % der Wärme über die Heizkörper in die Räume eingebracht. Ein Viertel der Deckung der Verluste erfolgt aus der Abwärme der Heizungsleitungen.

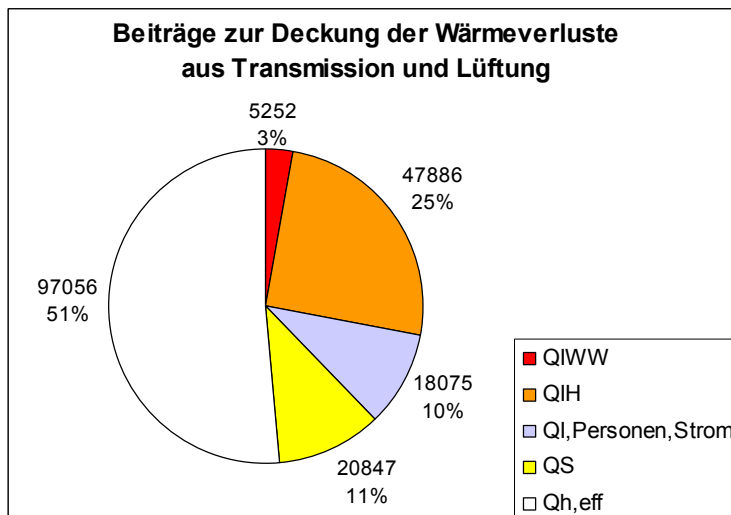


Bild 49 Deckung der Wärmeverluste - Stettinstraße Bestand

Die Gesamtbilanz des Heiznetzes bestätigt das Bild: Nur knapp $\frac{2}{3}$ der Heizenergie wird geregelt über Heizflächen an die Räume abgegeben. Bild 50 zeigt ebenfalls, dass von einer eher hohen Belegungsdichte und damit Nutzwärmebedarf für Trinkwarmwasser ausgegangen werden kann. Die Nutzenergie liegt bei ca. 18 kWh/(m²a), die Endenergie beim Doppelten.

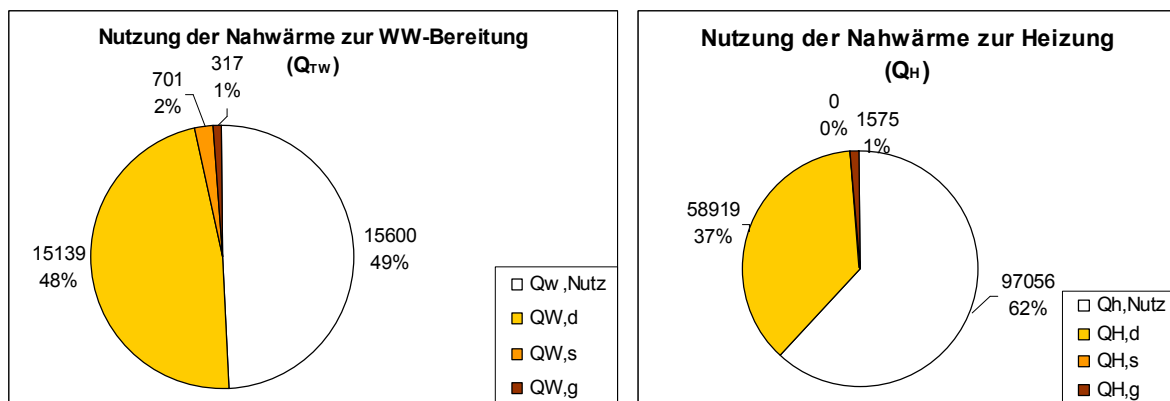


Bild 50 Gesamtbilanz der beiden Netze - Stettinstraße Bestand

Modernisierung auf Passivhausniveau ohne Leitungsänderung

Das Objekt wird mit Passivhauskomponenten verbessert. Dies sind Dämmmaßnahmen an der gesamten Hülle sowie der Einbau einer Lüftungsanlage mit 85 % Wärmerückgewinnung. Der Anschluss an Nah- und Fernwärme bleibt erhalten. Die Netztemperatur wird - entsprechend der Bedarfsminderung extrem abgesenkt.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
mittlerer U-Wert		0,28 W/(m ² K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		73 MWh/a
Heiznetz		
Auslegung		50/40°C
Dämmung		unverändert
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung		unverändert

Tabelle 35 Kenndaten Stettinstraße Passivhaus suboptimal

Im ersten Schritt ist das Netz ungedämmt. Bild 51 zeigt, dass nur ein sehr kleiner Restbedarf zur Deckung der Verluste überhaupt aus den Heizflächen geregelt abgegeben werden müsste. Andererseits werden sowieso 42 % der Verluste aus sonstigen inneren sowie den solaren Wärmequellen gedeckt.

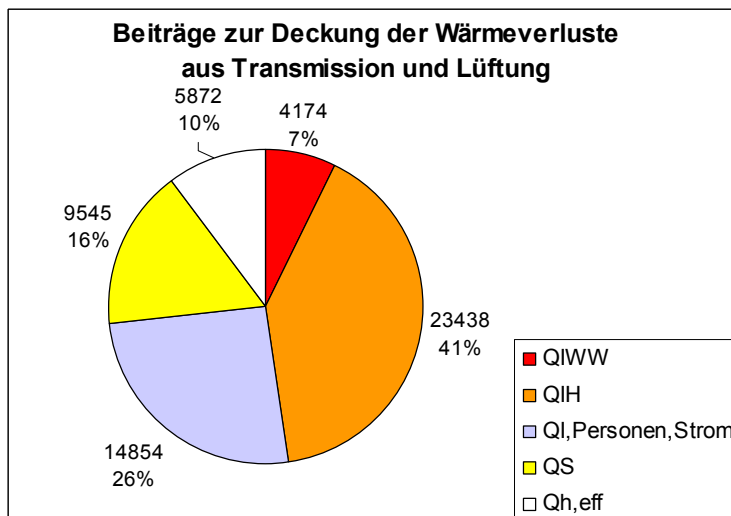


Bild 51 Deckung der Wärmeverluste – Stettinstraße Passivhaus suboptimal

An der Trinkwarmwasserbereitung ändert sich nichts. Jedoch spiegelt die Heizbilanz das bereits geschilderte Problem wider: über 80 % der Endenergie für Heizung sind Wärmeverluste von Leitungen, siehe Bild 52. Die Gefahr von Überwärmung einzelner Räume ist extrem.

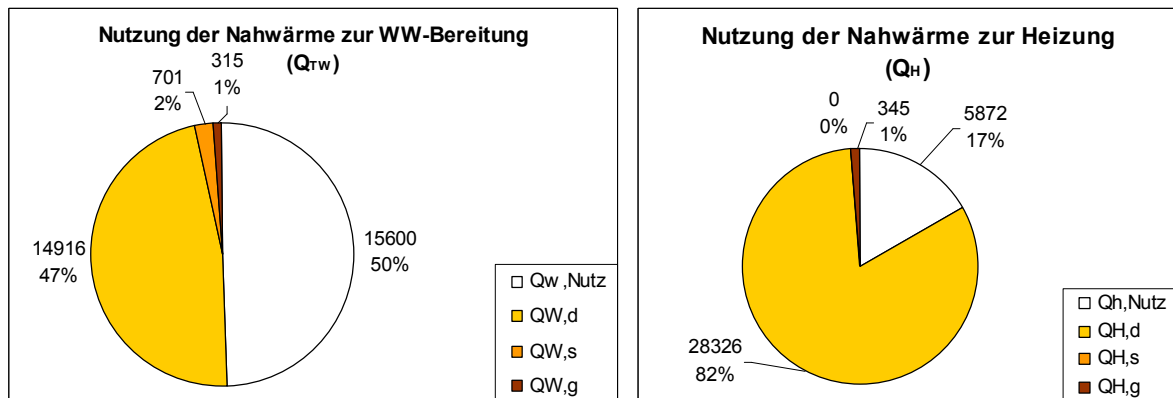


Bild 52 Gesamtbilanz der beiden Netze – Stettinstraße Passivhaus suboptimal

Modernisierung auf Passivhausniveau mit Leitungsänderung

In einer optimierten Variante würde die Heizungsleitung nachträglich gedämmt. Alle anderen Maßnahmen bleiben unverändert. Dadurch lassen sich weitere 2 MWh/a einsparen. Es handelt sich hier nur um Wärme, die im beheizten Bereich – durch weniger Überhitzung – gespart wird!

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
mittlerer U-Wert		0,28 W/(m²K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		71 MWh/a
Heiznetz		
Auslegung		50/40°C
Dämmung	Anbindeleitungen	100 % Dämmung
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung	Stichleitungen	100 % Dämmung

Tabelle 36 Kenndaten Stettinstraße Passivhaus optimal

Die geregelt in den beheizten Bereich abgegebene Wärme steigt. Wegen des geringen Gesamtbedarfs erfolgt jedoch weiterhin ein großer Anteil von etwa 2/3 der Verlustdeckung ungegeregelt. Bild 53 zeigt, dass immer noch fast 25 % der Verluste durch Leitungsabwärme gedeckt werden.

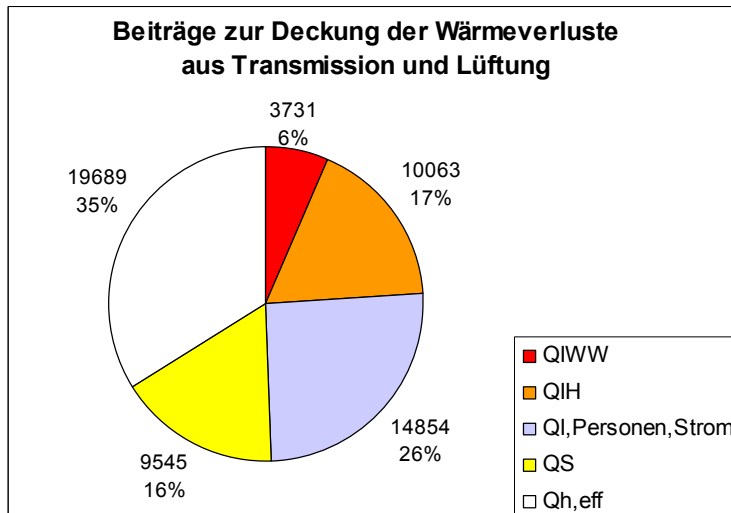


Bild 53 Deckung der Wärmeverluste – Stettinstraße Passivhaus optimal

Das Warmwassernetz konnte nicht weiter optimiert werden. Der Nutzwärmeanteil liegt weiterhin bei etwa 50 %. Für das Wärmenetz ergibt sich eine deutlich positivere Bilanz: mehr als die Hälfte der eingesetzten Endenergie könnte geregelt über Heizflächen abgegeben werden.

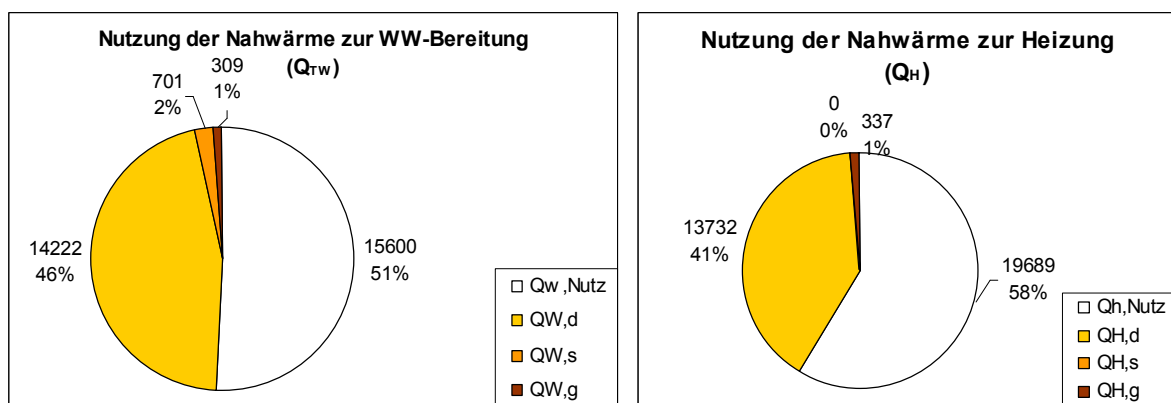


Bild 54 Gesamtbilanz der beiden Netze – Stettinstraße Passivhaus optimal

FAZIT aus diesem Projekt

Das Trinkwarmwassernetz ist von mittlerer Effizienz. Etwa 50 % der eingesetzten Endenergie ist Nutzenergie. Das Netz ist nicht schlecht genug, um sinnvoll durch dezentrale Systeme ersetzt zu werden. Andererseits sind die Leitungen auch praktisch nicht optimierbar. Es liegt – wegen der geringen Wohnungsgrößen – eine hohe Verlegedichte vor.

Das Heiznetz muss mit Dämmung versehen werden, wenn das Gebäude optimiert wird. Insbesondere wenn es eine Passivhausoptimierung ist, bei der – u. a. aufgrund der Lüftungsanlage – sehr geringe Bedarfswerte zu verzeichnen sind. Eine reine Temperaturabsenkung hilft bei der vorgefundenen großen Verlegedichte (und gleichzeitig eher großen Rohrquerschnitten) nicht aus. Insbesondere in den Räumen (Küchen, Bäder) mit dem Doppelpaar Steigestränge würde es zu Überwärmungseffekten kommen.

5.2 Ehemalige Schwerkraftheizungen

5.2.1 Neuerkerode, Wohnhaus I

Aus der Erstellung eines Energiekonzeptes für ein ganzes Dorf lässt sich der Fall eines Gebäudes mit einer Schwerkraftheizung entnehmen [11]. Das Objekt wird innerhalb der Liegenschaft, einer größeren Behindertenstiftung in der Nähe von Braunschweig, "Wohnhaus I" genannt. Es diente seit seiner Erbauung um 1900 als Wohnraum für die Mitarbeiter der Stiftungsleitung. Zuletzt wohnten 3 Mietparteien in dem Objekt.



Bild 55 Neuerkerode, Wohnhaus I im Bestand, nach der Modernisierung Villa Luise

Im Zuge eines DBU-Projektes wurde ein Energiekonzept erstellt, 2010 wurde das Gebäude modernisiert. Die gleichzeitig durchgeführte Umnutzung zum Künstlerhaus für Behinderte – als Villa Luise – bleibt hier unberücksichtigt.

Das Gebäude wurde ursprünglich mit einer Schwerkraftheizung versorgt, daher sind Leitungen in den beheizten Räumen mit sehr großen Querschnitten ausgeführt. Es gibt im beheizten Bereich nur wenige Rohrstrecken mit Dämmung, der Großteil ist ungedämmt, siehe Bild 56. Die Warmwasserbereitung erfolgte zentral in einem Versorgungskern an der Nordseite des Gebäudes.



Bild 56 großformatige Rohre der ehemaligen Schwerkraftheizung

Die für die Betrachtung der Verteilnetze relevanten Kennwerte stellt Tabelle 37 zusammen.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		3
Bewohnerzahl ca.		3 – 5
Wohnfläche		553 m ²
beheiztes Luftvolumen		1824 m ³
Hüllfläche		1220 m ²
	davon Fenster	90 m ²
mittlerer U-Wert		1,04 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	120 MWh/a
Versorgung		
Konstanttemperaturkessel, Heizöl		
300 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt, DN 35-52	98 m
	Verteilung, beheizt, DN 35-52	104 m
	Steigestränge, DN 35-42	46 m
	Anbindeleitungen, DN 22	10 m
Dämmung	Verteilung nach EnEV, Steigestränge 50% Anbindeleitungen ungedämmt	0,25 bis 0,35 W/(mK)
Auslegung		90/70°C
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,18 m/m ²
	beheizter Bereich	0,29 m/m ²
	gesamt	0,47 m/m ²
Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt, DN 32	50 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation, DN 25	25 m
	Stichleitungen, DN 15	45 m
Dämmung	Verteilung im Keller mit 50 % Rest ungedämmt	0,4 oder 0,7 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,09 m/m ²
	beheizter Bereich	0,13 m/m ²
	gesamt	0,22 m/m ²

Tabelle 37 Kenndaten Wohnhaus I Bestand

Die Verlegedichte der Trinkwarmwasserleitungen ist vergleichsweise gering in diesem Gebäude (0,22 m/m²). Auch die Heizungsleitungen wurden sparsam im Bestand installiert. Eine Verlegedichte von 0,47 m/m² ist einer der niedrigsten Werte aller hier aufgeführten Projekte.

Der Energiekennwert des Objektes liegt mit 215 kWh/(m²a) sehr niedrig in Anbetracht der schlechten Bausubstanz und Anlagentechnik. Dies ist auf eine extreme Teilnutzung zum Zeitpunkt der Beratung zurückzuführen. Kurz vor der Modernisierung des Gebäudes bewohnten nur noch 3 bis 5 Personen das Objekt – ca. ¼ bis ⅓ der sonst üblichen Belegungsdichte. Die Wärmeeinträge zur Deckung der Wärmeverluste des beheizten Bereiches stammen trotzdem zu mehr als 50 % aus der geregelten Wärmeabgabe der Heizkörper.

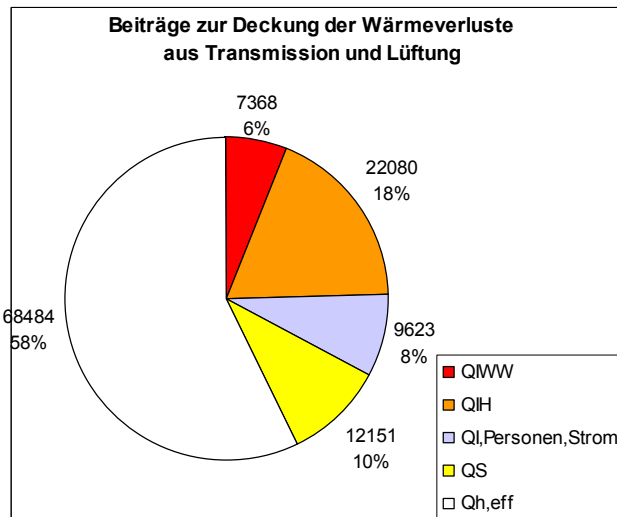


Bild 57 Deckung der Wärmeverluste – Wohnhaus I Bestand

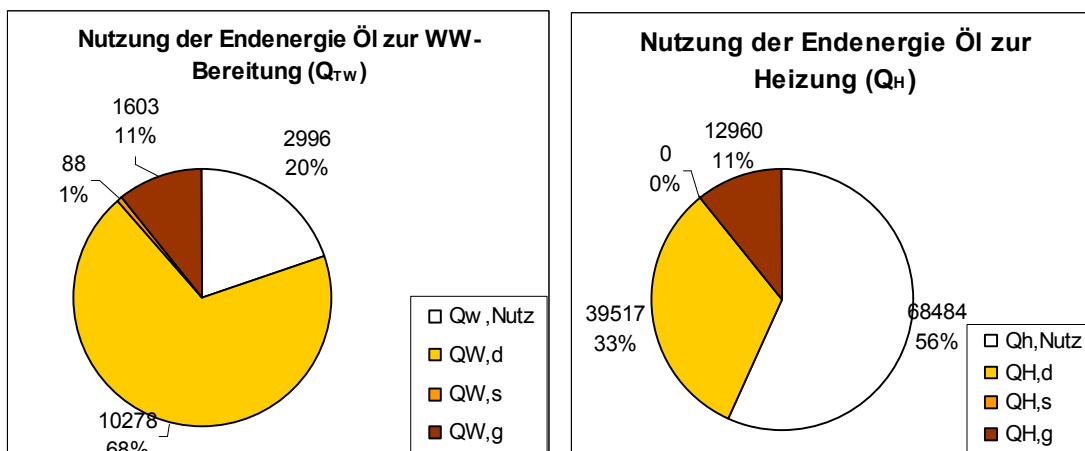


Bild 58 Gesamtbilanz der beiden Netze – Wohnhaus I Bestand

Die Energiebilanz der Heizung nach Bild 58 ergibt eine Wärmeabgabe über Heizkörper von 56 %. Ein Drittel entfällt auf die Rohrwärmeabgabe, 11 % auf die Verluste des Ölkessels. Wegen der großen Leitungsquerschnitte und fehlender Leitungsdämmung ist (trotz geringer Leitungslängen) bereits im Bestand eine geringe geregelte Nutzwärmeabgabe festzustellen.

Die Endenergiebilanz der Trinkwarmwasserbereitung liefert ein sehr schlechtes Bild des Systems. Wegen der geringen Belegungsdichte entfallen nur 20 % der eingesetzten Ölmenge auf Nutzwärme. Dies wäre mit der üblichen Nutzung (3 bis 4 Mal so viele Nutzer) nicht so. Es ergäbe sich dann ein Gesamtnutzungsgrad von knapp 50 %. Falls die Belegungsdichte so gering bliebe, wäre dezentrale Versorgung in jedem Fall angebracht!

Modernisierung ohne Änderung der Verteilnetze

Das Gebäude wurde im Rahmen einer Energieberatung auf Verbesserungspotentiale hin untersucht. Der Gebäudezustand mit bester Dämmung und neuem Kessel soll hier vorgestellt werden. Um sich ein Bild zum Einfluss des Verteilnetzes machen zu können, wird es in der Modernisierungsvariante so belassen wie es im Bestand vorhanden war.

Es ist anzumerken, dass in der Realität eine Umnutzung des Gebäudes zum Nichtwohnbau erfolgte, das oberste Wohngeschoss ungenutzt ist und das Gebäude eine komplett neue Heizungsanlage erhalten hat. Der Dämmstandard der Hülle wurde etwas schlechter (0,34 W/m²K inkl. Wärmebrücken) gewählt.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		3
Bewohnerzahl ca.		12
mittlerer U-Wert		0,26 W/(m²K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		54 MWh/a
Versorgung		
Brennwertkessel		
500 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Auslegung		60/45°C
Dämmung		unverändert
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung		unverändert

Tabelle 38 Kenndaten Wohnhaus I Modernisierung ohne Leitungsnetze

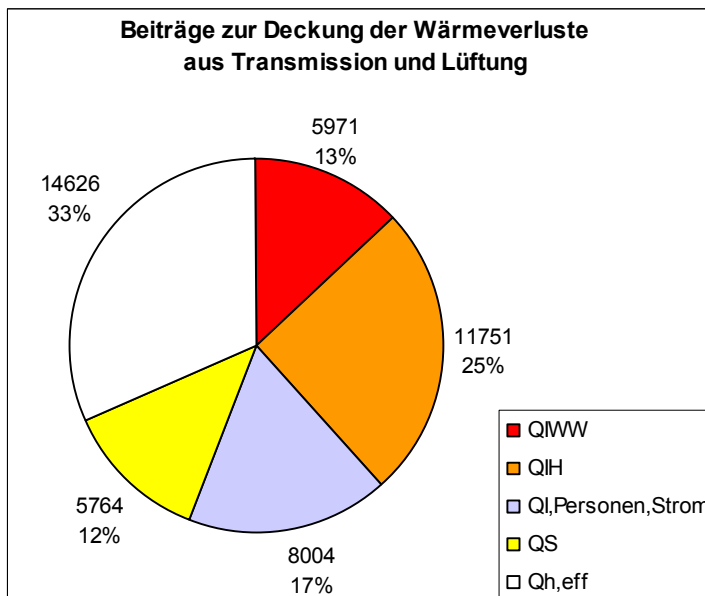


Bild 59 Deckung der Wärmeverluste - Wohnhaus I Modernisierung ohne Leitungsnetze

Nach der Modernisierung stammen ca. 40 % aller Wärmemengen zur Deckung der Wärmeverluste aus Leitungsnetzen (ungeregelt), ca. 30% aus Heizflächen (geregelt) und 30% aus solaren und anderen internen Wärmequellen, siehe Bild 59.

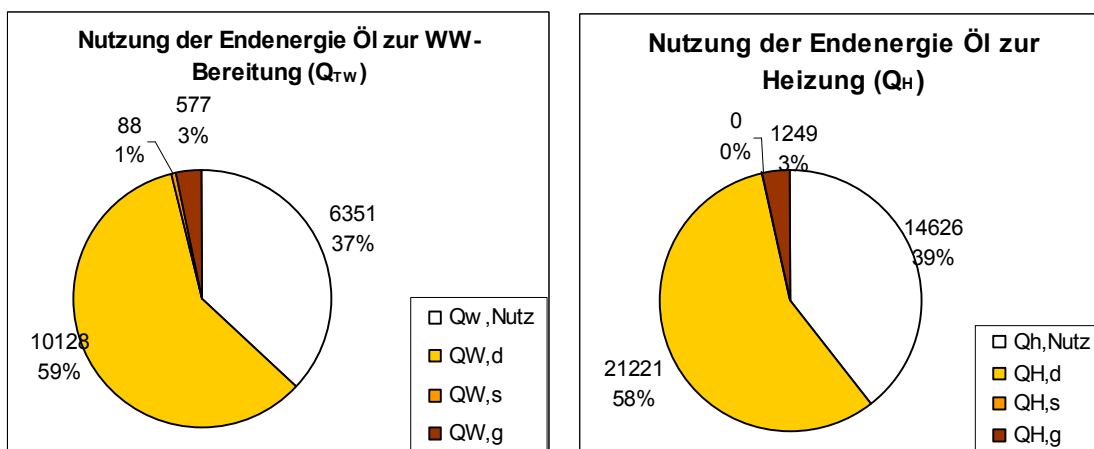


Bild 60 Gesamtbilanz der beiden Netze - Wohnhaus I Modernisierung ohne Leitungsnetze

Die Energiebilanz ergibt eine deutlich sichtbare Änderung im Bereich Trinkwarmwasserbereitung, da Nutzungsänderung unterstellt wurde – es gibt nun eine normale Belegungsdichte. Trotzdem ist das System suboptimal mit einem Gesamtnutzungsgrad von nur 37 % - siehe Bild 60. Dezentral elektrische Warmwasserbereitung wäre besser. Alternativ ist das Verteilnetz zu verbessern.

Die Heizwärme wird trotz angepasster Netztemperaturen nur zu knapp 40 % geregelt als Nutzwärme an die Räume angegeben. Die anderen 60 % sind ungerichtete Wärmeabgaben von Leitungen im beheizten Bereich oder Wärmeerzeugerverluste. Dieser Zustand ist so nicht akzeptabel für ein modernisiertes Gebäude.

Modernisierung mit Änderung der Verteilnetze

Bei einer Modernisierung wie vorher werden nun noch alle Leitungen im Keller, alle zentralen Verteilleitungen im beheizten Bereich und alle Steigestränge des Heiznetzes nach EnEV gedämmt. Nur die Anbindeleitungen bleiben ungedämmt. Das Trinkwarmwassernetz wird komplett mit 100% Dämmstärke gedämmt.

Der Endenergiebedarf sinkt von 54 auf 48 MWh/a durch diese Maßnahme (12%) – und das obwohl die meisten Leitungen im beheizten Bereich angeordnet sind.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		3
Bewohnerzahl ca.		12
mittlerer U-Wert		0,26 W/(m²K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		48 MWh/a
Versorgung		
Brennwertkessel		
500 l Trinkwarmwasserspeicher		
Heiznetz		
Auslegung		60/45°C
Dämmung	Verteilleitungen, Steigestränge	100 % EnEV
Trinkwarmwassernetz		
Dämmung	alles	100 % EnEV

Tabelle 39 Kenndaten Wohnhaus I Modernisierung inkl. Leitungsnetze

Etwa 50 % der Wärmeenergiezufuhr in den beheizten Bereich erfolgt geregelt über die Heizkörper, siehe Bild 61. Dieser Anteil wäre akzeptabel, setzt aber eine Dämmung der überwiegend unter der Zimmerdecke liegenden waagerechten Leitungen voraus.

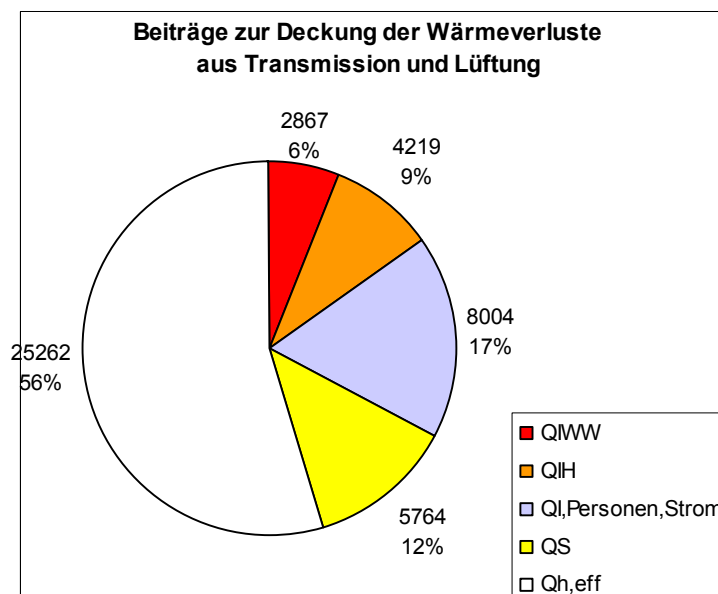


Bild 61 Deckung der Wärmeverluste - Wohnhaus I Modernisierung inkl. Leitungsnetze

Die Bilanz der Trinkwarmwasserbereitung ergibt ein mäßig zufrieden stellendes Bild. Trotz 100 % Dämmung aller Leitungen und einer eigentlich geringen Verlegedichte ($0,22 \text{ m/m}^2$) der Leitungen beträgt der Gesamtnutzungsgrad weiterhin nur 50 %. Das Netz ist mit der gegebenen (realistischen) Nutzerzahl und seinen räumlichen Ausmaßen sowie mit den vergleichsweise großen Querschnitten nicht weiter optimierbar.

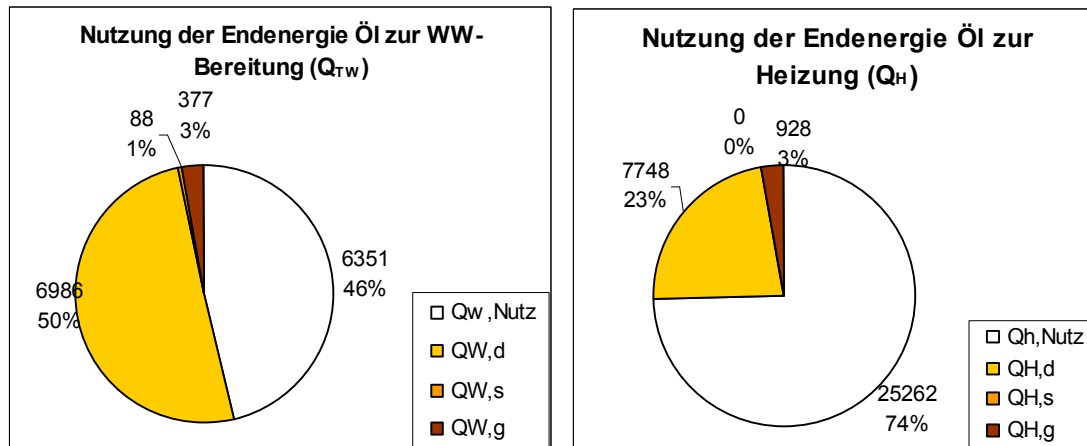


Bild 62 Gesamtbilanz der beiden Netze - Wohnhaus I Modernisierung inkl. Leitungsnetze

Die Energiebilanz des Heiznetzes zeigt, dass nun $\frac{3}{4}$ der Endenergie geregelt über die Heizflächen abgegeben wird.

FAZIT aus diesem Projekt

Das Trinkwarmwassernetz ist kurz ($0,22 \text{ m/m}^2$), jedoch nicht gut gedämmt und weist große Querschnitte auf. Es wäre nur mit einer vollständigen Wärmedämmung (100%) aller Leitungen akzeptabel zu nutzen. Jedoch wird es wegen der gegebenen Leitungsquerschnitte immer suboptimal bleiben. Mit der geringen Nutzerzahl, die beim vorhandenen Zustand zu verzeichnen war, ergäbe sich eine eindeutige Empfehlung zur Umstellung auf dezentrale Durchlauferhitzer.

Das Heiznetz hat als ehemalige Schwerkraftheizung sehr groß dimensionierte Durchmesser, aber eine geringe räumliche Ausdehnung ($0,47 \text{ m/m}^2$ insgesamt, $0,29 \text{ m/m}^2$ im beheizten Bereich). Die Leitungen sind vielfach nicht oder wenig gedämmt. Sie liegen teilweise unter der Zimmerdecke oder in Raumecken.

Dieses Netz kann bei einer Gebäudemodernisierung nicht im Urzustand verbleiben. Die Rohrwärmeabgabe der ungedämmten Leitungen würde das Gebäude – zumindest lokal – übersorgen. Die Leitungen müssten (bis auf die kurzen Anbindeleitungen) durchgängig mit 100 % Dämmung versehen werden. Das ist bei den gewählten Leitungsverlegeorten im beheizten Bereich illusorisch. Daher kann hier nur ein Rückbau helfen. Dieser ist im Zuge der Sanierung des Gebäudes auch erfolgt.

5.2.2 Aschersleben, Salzkoth

Für ein Wohnheim in Aschersleben wurde 2007/08 ein Energiekonzept im Rahmen einer DBU-Förderung erstellt [13]. Das 1911 gebaute Gebäude beherbergte seit seiner Erstellung verschiedenste Nutzungen, derzeit wird es von einem evangelischen Verein gepachtet. Es dient als Wohnheim für ehemalige Obdachlose, die in die Gesellschaft reintegriert werden sollen.



Bild 63 Aschersleben, Salzkoth 1

Der bauliche Zustand des Gebäudes ist mäßig, der energetische schlecht. Die Heizungsanlage ist in Teilen von 1911. Sie wurde als Schwerkraftheizung mit oben liegendem Ausdehnungsgefäß bzw. Druckbehälter erstellt. Zum Zeitpunkt der Begehung waren selbstverständlich bereits Pumpen und Thermostatventile vorhanden. Die Versorgung erfolgt über eine Zweikesselanlage (Holz, Öl) im Keller.



Bild 64 Vorlaufleitung im Dachgeschoss mit Entlüftung zum oben liegenden Hochbehälter

Das Leitungsnetz für die Heizung weist sowohl große Leitungsquerschnitte (DN 22 – 35) als auch eine hohe Verlegedichte ($0,88 \text{ m/m}^2$) auf. Das Netz liegt im beheizten Bereich größtenteils in Form von Steigleitungen auf Putz an den Außenwänden, siehe Skizze in Bild 65.

Trinkwarmwassernetz		
Leitungslängen	Verteilung inkl. Zirkulation, unbeheizt	66 m
	Steigestränge inkl. Zirkulation	36 m
	Stichleitungen	50 m
Dämmung	jeweils ca. halbe Dämmung, DN 15 ... 22	0,4 W/(mK)
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,09 m/m ²
	beheizter Bereich	0,12 m/m ²
	gesamt	0,21 m/m ²

Tabelle 40 Kenndaten Salzkoth Bestand

Bereits im Bestand werden 73 % der Wärmemenge zur Deckung von Transmission und Lüftung aus den Leitungsnetzen gedeckt. Die geregelte Wärmeabgabe der Heizkörper macht nur ca. 1/8 der Bedarfsdeckung aus - Bild 66.

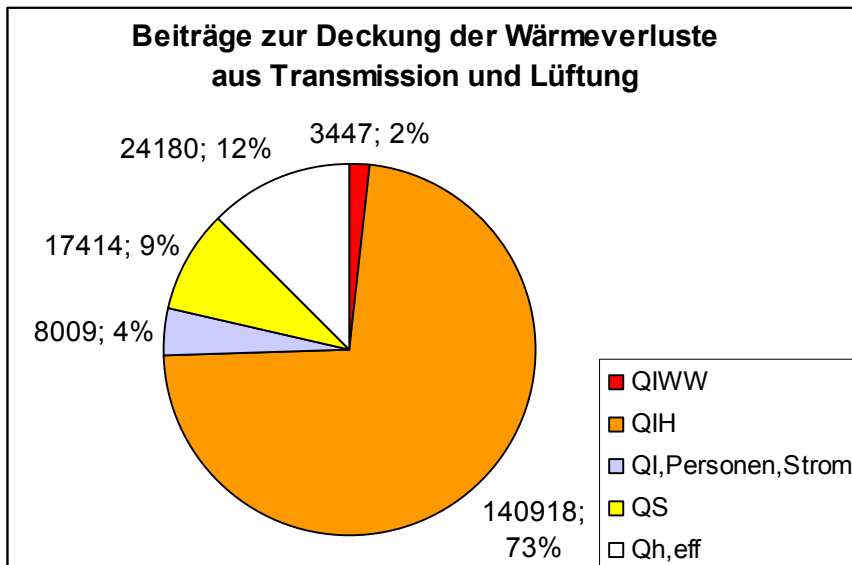


Bild 66 Deckung der Wärmeverluste - Salzkoth Bestand

Die Endenergie für die Trinkwarmwasserbereitung wird nur zu einem Drittel Nutzwärme. 50 % sind Speicher- und Netzverluste. Diese Ausgangslage spricht für einen Systemwechsel. Allerdings ist das Gebäude im Bestand nur zu 50 % belegt. Daher wird das Netz gedanklich belassen und nur optimiert.

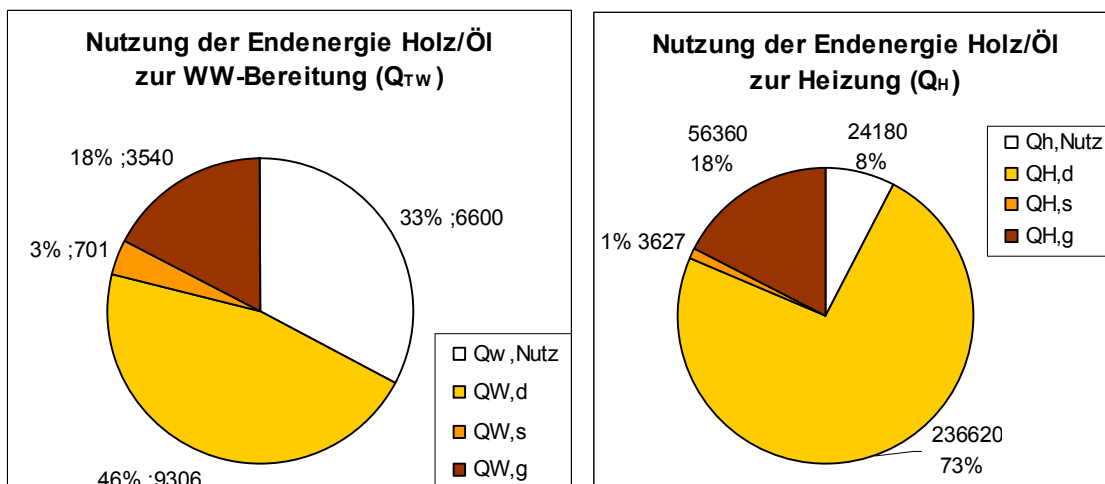


Bild 67 Gesamtbilanz der beiden Netze - Salzkoth Bestand

Die Heizungsanlage weist 19 % Verluste über Speicher und Erzeuger auf. Von den 73 % der Endenergie, welche über das Verteilnetz abgegeben werden, fallen $\frac{2}{3}$ im beheizten Bereich an. Die Heizkörperwärmeabgabe liegt bei 8 % der Endenergie. Das Netz kann auf keinen Fall in der Modernisierung des Gebäudes so belassen werden.

Es zeigt sich, dass bereits eine Verminderung der Wärmeverluste für Transmission und Lüftung um 10 % zu einem Zustand führt, in dem theoretisch gar keine Wärme mehr über Heizflächen abgegeben werden muss.

Vollsanierung von Baukörper und Netz

Das Gebäude erhält im Energiekonzept Dämmung und neue Fenster. Die gesamten Leitungsnetze werden gedämmt. Gleichzeitig wird die volle Belegungsdichte (12 Personen) angesetzt. Der Energiekennwert für die Endenergie liegt nur noch bei einem guten Drittel des Ausgangswertes.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Bewohnerzahl ca.		12
mittlerer U-Wert		0,40 W/(m²K)
Endenergien		
Bedarfsprognose		119 MWh/a
Leitungsnetze		
Auslegung		60/45°C
Heizung	Dämmung aller Verteilleitungen im Keller auf EnEV Niveau	
	Dämmung aller Steigestränge im beheizten Bereich auf EnEV Niveau	
Trinkwarmwasser	Dämmung aller Leitungen auf EnEV Niveau	

Tabelle 41 Kenndaten Salzkoth Sanierung

Der Anteil der geregelten Wärmeabgabe im beheizten Bereich steigt etwas an. Allerdings ist er immer noch wenig zufrieden stellend mit knapp 30 % (Bild 68).

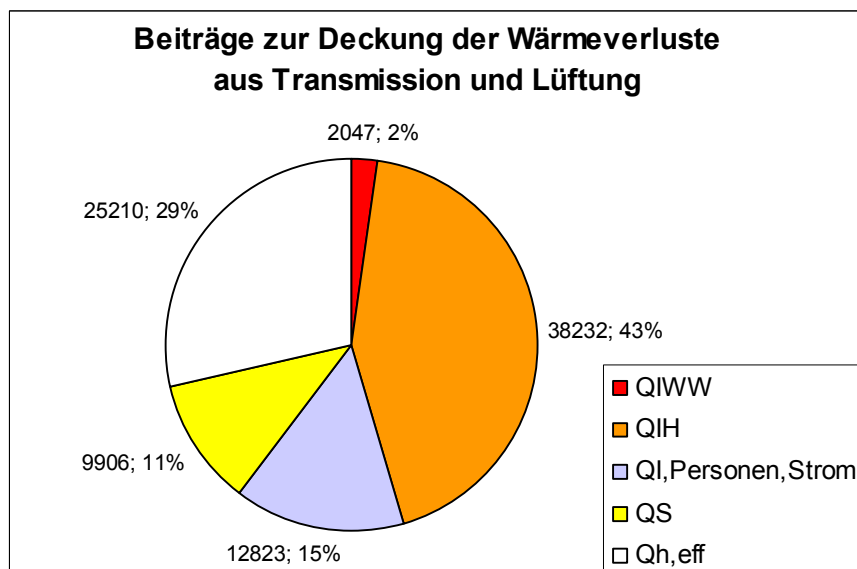


Bild 68 Deckung der Wärmeverluste - Salzkoth Sanierung

Das Trinkwarmwassernetz weist bei doppelter Nutzerzahl und mit gedämmten Leitungen nun 50 % Gesamtnutzungsgrad auf. Das ist für ein Zentralsystem mit Holzkessel zufrieden stellend.

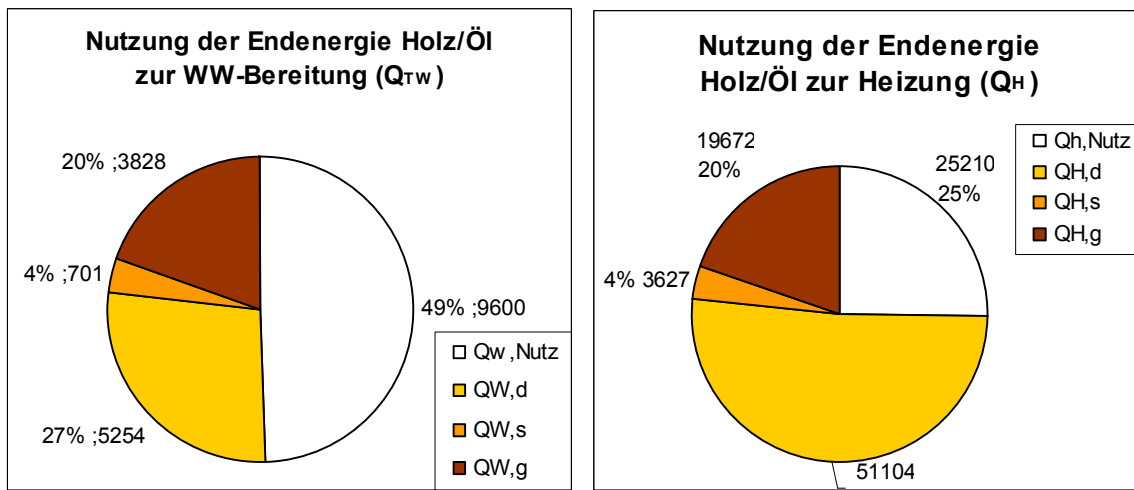


Bild 69 Gesamtbilanz der beiden Netze - Salzkoth Sanierung

Die Heizungsanlage kann durch die Netzdämmung nicht großartig verbessert werden. Immer noch 50 % der eingesetzten Endenergie werden unregelt über das Rohrnetz abgegeben. Es ist davon auszugehen, dass es Räume in dem Gebäude geben wird, in denen die Rohrwärme größer als der Nutzen sein wird. Es kommt dann zu lokaler Überwärmung.

FAZIT aus diesem Projekt

Das Trinkwarmwassernetz ist kurz ($0,21 \text{ m/m}^2$), jedoch nur mäßig gedämmt. Mit der geringen Nutzerzahl, die beim vorhandenen Zustand zu verzeichnen war, ergäbe sich eine eindeutige Empfehlung zur Umstellung auf dezentrale Durchlauferhitzer. Wenn normale Nutzung vorausgesetzt wird, kann nach der Leitungsdämmung ein Gesamtnutzungsgrad von 50 % erreicht werden. Dies ist bei der vorhandenen Holz-/Ölkesselanlage als gut einzustufen.

Das Heiznetz hat als ehemalige Schwerkräftheizung sehr groß dimensionierte Durchmesser und zusätzlich auch noch eine große räumliche Ausdehnung ($0,88 \text{ m/m}^2$ insgesamt, $0,59 \text{ m/m}^2$ im beheizten Bereich). Die Leitungen sind im Keller nur mäßig, im beheizten Bereich nicht gedämmt. Bereits im Bestand ist die geregelte Wärmeabgabe sehr gering. Unter 10 % der zur Heizung eingesetzten Endenergie werden über Heizkörper abgegeben.

Dieses Netz kann bei einer Gebäudemodernisierung nicht im Urzustand verbleiben. Die Rohrwärmeabgabe der ungedämmten Leitungen würde das Gebäude – zumindest lokal – übersorgen. Die Leitungen müssten (bis auf die kurzen Anbindeleitungen) durchgängig mit 100 % Dämmung versehen werden. Aber auch dann ist mit dem Netz das gedämmte Gebäude nicht sinnvoll zu versorgen. Die räumliche Lage der Leitungen ließe eine Wärmedämmung zwar zu, jedoch bleibt der Anteil geregelter Wärmeabgabe gering.

Hier kann nur ein Rückbau helfen. Das Netz muss mit kleineren Querschnitten und guter Leitungsdämmung neu aufgebaut werden. Es ist davon auszugehen, dass dies vor Ort nur dann passieren wird, wenn das Netz abgängig ist, da die Investitionsmittel mehr als knapp bemessen sind.

5.3 Anlagen mit Solareinbindung

Im Rahmen eines BMU-geförderten Projektes [33] werden mehrere Mehrfamilienhäuser mit solarer Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung untersucht. Ziel des Projektes ist einerseits die Simulation von Anlagen, andererseits der Abgleich der Erkenntnisse mit Feldmessungen. Letzterer Aspekt ist in Folge interessant.

5.3.1 Hannover Döhren, Olbersstraße

Die betrachteten beiden Mehrfamilienhäuser (Baujahr 1973) in Hannover, Stadtteil Döhren, haben zusammen 30 Wohneinheiten mit ca. 1350 m² Gesamtwohnfläche. Die Beheizung der Gebäude sowie die Versorgung mit Trinkwarmwasser finden zentral statt (4-Leiter-Netz). Eine Zirkulationsleitung ist installiert.



Bild 70 Hannover, Olbersstraße 9/11

Zusätzlich zur zentralen Kesselanlage ist eine thermische Solaranlage mit 33,6 m² Kollektorfläche installiert. Um den solaren Ertrag zu speichern sind 2 Pufferspeicher mit je 950 Liter Inhalt vorgesehen.

Für das Mehrfamilienhaus wird auf Basis von Messdaten des Jahres 2009 das Energieflussdiagramm in Bild 71 erstellt.

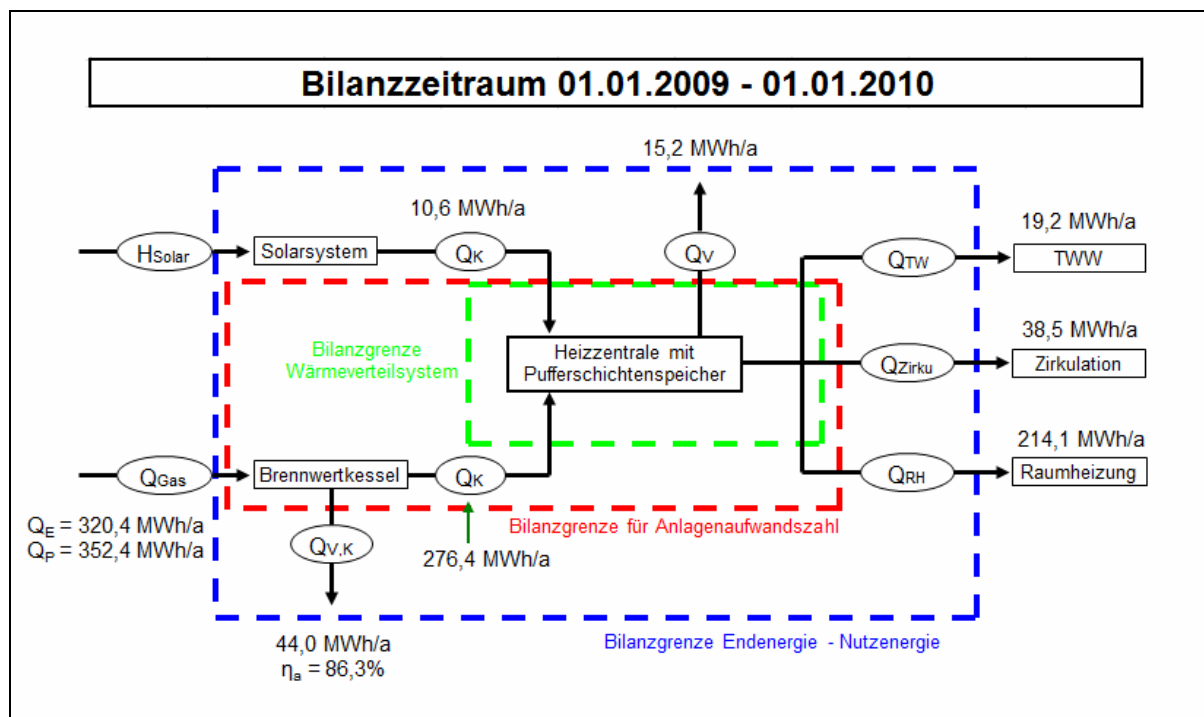


Bild 71 Energiebilanz des Jahres 2009, Hannover Olbersstraße

Die Energiebilanz stellt dar, welche Anteile einzelne Anlagenteile am gesamten Energieverbrauch haben bzw. welche Energiemengen durch Solaranlage sowie Kesselanlage bereitgestellt werden. Die Messdaten hierfür entstammen einem Gaszähler sowie verschiedenen Wärmemengenzählern. Eine Überprüfung der Messdaten auf Plausibilität wurde vor Erstellung des Diagramms durchgeführt. Einzelne Aspekte des Bilanzergebnisses werden nachfolgend näher besprochen.

Solarertrag und Anlagenverluste

Im Jahr 2009 wurde im Kollektorkreis ein Solarertrag von $Q_{K,solar} = 10,6$ MWh/a erfasst. Der Kollektorkreisenertrag ist mit $315 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{Koll} \cdot \text{a})$ durchschnittlich bis gering. Der Solarkreisähler ist in der Heizzentrale zwischen den Kollektoren und dem Pufferspeicher angeordnet.

Dem gegenüber stehen Wärmeverluste der Heizzentrale mit allen Speichern in der Höhe von $Q_V = 15,2$ MWh/a. Nicht alle Verluste sollen der Solaranlage zugeordnet werden, denn ein Speicher sowie ein Teil der Verrohrung wären für die Trinkwarmwasserbereitung sowieso vorhanden gewesen.

Näherungsweise wird davon ausgegangen, dass der Solarertrag fast so groß ist, wie die zusätzlichen Wärmeverluste, die nur aufgrund der Solareinbindung zustande kommen. Die Solaranlage ersetzt hier keine vorher bereits vorhandenen Verluste. Sie wirkt nicht Endenergie mindernd.

Der geringe Ertrag ergibt sich vermutlich aus der ungünstigen Verschaltung der Solarkollektoren.

Trinkwarmwassernutzen und Trinkwarmwasserverluste

Bei der Anlage ist zu erkennen, dass die Verluste für Zirkulation mit $Q_{Zirku} = 38,5$ MWh/a ziemlich genau doppelt so hoch ausfallen wie der eigentliche Brauchwasserbedarf von $Q_{TW} = 19,2$ MWh/a.

Unabhängig vom Netztyp innerhalb des Gebäudes (es wird vom Steigestrangtyp mit senkrechtem Zusammenschluss der Abnehmer ausgegangen) ergibt sich daraus die Erkenntnis, dass eine dezentral elektrische Versorgung primärenergetisch günstiger ausfällt. Aus Sicht der Betriebskosten dürfte dies ebenfalls der Fall sein.

Heizungsverluste und solare Heizungsunterstützung

Es wird davon ausgegangen, dass die Solaranlage kaum zur solaren Heizungsunterstützung beiträgt. Dies ist zu vermuten, weil bereits der Anteil an der Trinkwarmwasserdeckung eher gering ist. An der Gesamtenergielieferung ist die Solarthermie mit 3,7 % beteiligt.

Eine Aussage zum Verteilnetz der Heizung kann nicht erfolgen, weil keine weiteren Daten bekannt sind. Die Erdleitungen zwischen den Gebäuden sind in jedem Fall eher energetisch ungünstig.

Die nachfolgende Grafik stellt vergleichend die wohnflächenbezogenen anteiligen Verbräuche für Heizung (inkl. Netzverluste), Trinkwarmwassernutzen und Trinkwarmwassernetzverluste in den Jahren 2008 bis 2010 dar. Die in Bild 72 genannten Energiemengen haben die Heizzentrale verlassen – die Endenergie war entsprechend höher.

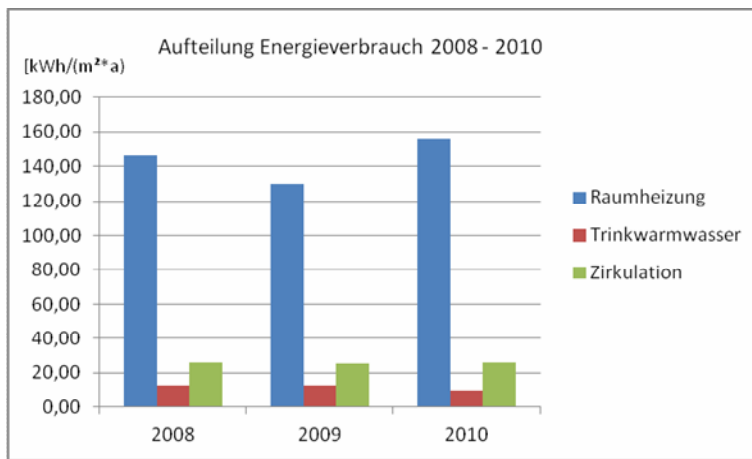


Bild 72 Anteile der Energielieferung aus der Heizzentrale, Olbersstraße Hannover

FAZIT aus diesem Projekt

Eine elektrisch dezentrale Versorgung der Wohnungen mit Warmwasser wäre in diesem Fall primärenergetisch günstiger gewesen. Auch die vorhandene Solaranlage kann an dieser Empfehlung nichts ändern, da sie kaum zur Endenergieminderung beiträgt und nur die durch sie selbst hervorgerufenen Verluste deckt.

Ob eine Einzelversorgung der beiden Gebäude mit je einem Kessel oder eine wohnungszentrale Lösung für die Beheizung empfehlenswerter wären, kann nicht beantwortet werden. Hierzu sind nicht genügend Detailinformationen verfügbar.

Der lang gestreckte Gebäudetyp mit nur 3 Geschossen führt erfahrungsgemäß zu großen anteiligen Verlegedichten (und Wärmeverlusten) im unbeheizten Bereich. Eine wohnungszentrale Variante erscheint realistisch. Ob entsprechende Umbaumöglichkeiten vorhanden wären, ist unbekannt.

5.3.2 Braunschweig Wenden, Allensteinstraße

Bei der Allensteinstraße 25/26 in Braunschweig Wenden handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus (Baujahr 1968) mit 16 Wohneinheiten auf insgesamt ca. 1120 m² Wohnfläche.

Das Gebäude wird zentral mit einer 90 kW Kesselanlage beheizt. Zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung ist eine Solaranlage mit 15,48 m² Kollektorfläche in Verbindung mit zwei Pufferspeichern á 950 Liter installiert.

Die Messdaten werden mit einem Gaszähler sowie verschiedenen, im Bereich der Heizzentrale angeordneten Wärmemengenzählern ermittelt. Anhand der Messwerte von 2010 bzw. 2011 ergibt sich das Energieflussdiagramm in Bild 73.

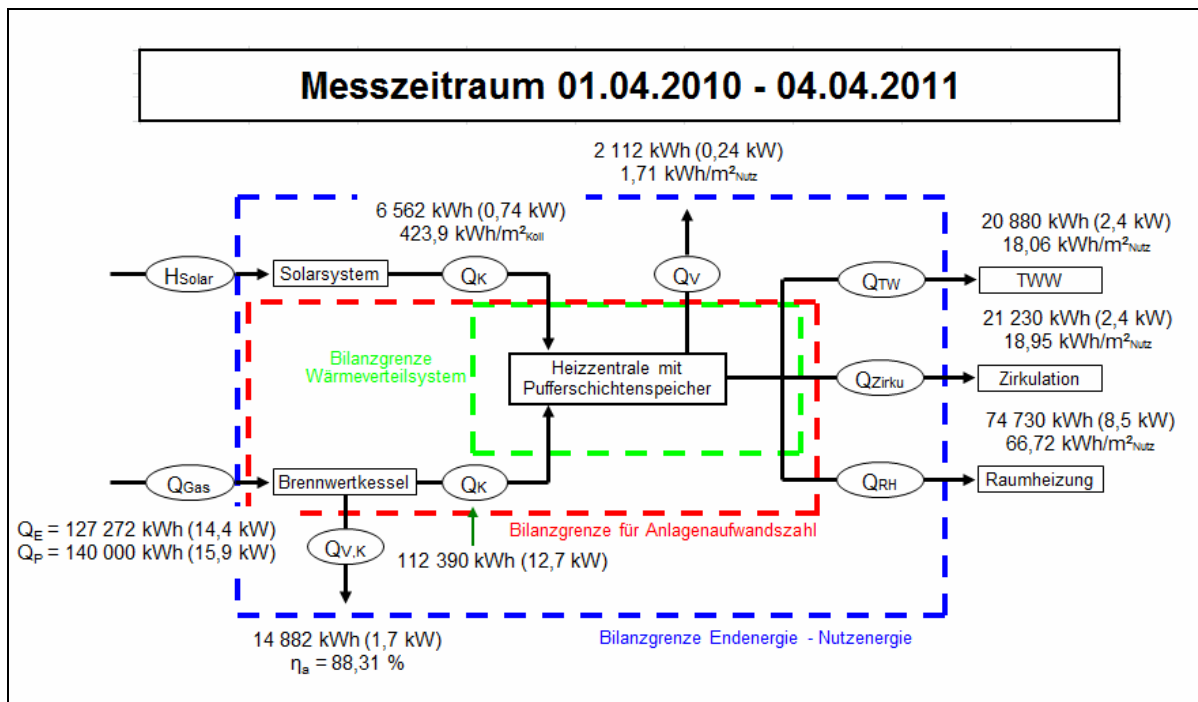


Bild 73 Energiebilanz 2010/2011, Braunschweig Allensteinstraße

Die Energiebilanz stellt dar, welche Anteile einzelne Anlagenteile am gesamten Energieverbrauch haben bzw. welche Energiemengen durch Solaranlage sowie Kesselanlage bereitgestellt werden. Einzelne Aspekte des Bilanzergebnisses werden nachfolgend näher besprochen.

Solarertrag und Anlagenverluste

Im Messzeitraum wurde im Kollektorkreis ein Solarertrag von $Q_{K,solar} = 6,6\text{ MWh/a}$ erfasst. Der Kollektorkreisenertrag ist mit $424\text{ kWh}/(\text{m}^2_{Kolle} \cdot a)$ vergleichsweise hoch. Da die installierte Fläche mit ca. 1 m^2 je Wohneinheit jedoch sehr gering ausfällt, war dies zu erwarten.

Dem gegenüber stehen Wärmeverluste der Heizzentrale mit allen Speichern in der Höhe von $Q_v = 2,1\text{ MWh/a}$. Nicht alle Verluste dürfen der Solaranlage zugeordnet werden, denn ein (kleinerer) Speicher sowie ein Teil der Verrohrung wären für die Trinkwarmwasserbereitung sowieso vorhanden gewesen. Näherungsweise wird davon ausgegangen, dass ca. 1 MWh/a zusätzlicher Verlust vorhanden ist, welcher nur der Solarthermie zuzurechnen ist.

Die Solaranlage liefert hier einen Nettoertrag von etwa $5,6\text{ MWh/a}$.

Trinkwarmwassernutzen und Trinkwarmwasserverluste

Bei der Anlage ist zu erkennen, dass die Verluste für Zirkulation mit $Q_{Zirkul} = 21,2\text{ MWh/a}$ ziemlich genau so hoch ausfallen wie der eigentliche Brauchwasserbedarf von $Q_{TW} = 20,9\text{ MWh/a}$. Damit ist die Anlage als durchschnittlich einzustufen, siehe auch Kapitel 5.1.

Es ist durch die Solaranlage eine Endenergieeinsparung im Bereich der Trinkwassererwärmung festzustellen. Zudem ist das Bestandsnetz selbst durchschnittlich. Die Solareinbindung ist hier als (energetisch) positiv zu werten. Der Systemnutzungsgrad liegt bei 49% . Ohne Solaranlage hätte er bei 43% gelegen, wie die nachfolgende Bilanz zeigt:

	mit Solarthermie	ohne Solarthermie	dez. elektrisch
• Nutzen	20,9 MWh/a	20,9 MWh/a	20,9 MWh/a
• Netzverlust	+ 21,2 MWh/a	+ 21,2 MWh/a	
• Speicherverlust	+ 2,1 MWh/a	+ 1,1 MWh/a	
• Beitrag der Solaranlage	- 6,6 MWh/a		
• Energiemenge ab Kessel	= 37,6 MWh/a	= 43,2 MWh/a	
• Kesselverlust	+ 5,0 MWh/a	+ 5,7 MWh/a	
• Endenergie Gas/Strom	= 42,6 MWh/a	= 48,9 MWh/a	= 20,9 MWh/a
• Ressourcenverbrauch [37]	= 42,6 MWh/a	= 48,9 MWh/a	= 49,1 MWh/a

Die dezentrale Versorgung hätte den Ressourcenverbrauch nicht vermindert. Der zentralen Trinkwarmwasserbereitung mit Solarthermie kann man in diesem Fall zustimmen.

Heizungsverluste und solare Heizungsunterstützung

An der Gesamtenergielieferung ist die Solarthermie mit 5,5 % beteiligt. Es wird bezweifelt, dass es einen nennenswerten Solarthermiebeitrag zur Heizungsunterstützung gibt. Die Kollektorfläche ist so gering, dass man von einer klassischen Trinkwarmwasservorwärmung ausgehen kann. Daher wurden der gesamte Pufferspeicherwärmeverlust, aber auch der gesamte Solarertrag der Trinkwarmwasserbereitung zugeordnet.

Eine Aussage zum Verteilnetz der Heizung kann nicht erfolgen, weil keine weiteren Daten bekannt sind.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Solareinbindung in das Trinkwarmwassernetz ist zumindest energetisch sinnvoll. Die Alternativen einer Zentralanlage ohne Solarthermie oder auch einer dezentral elektrischen Versorgung benötigen mehr Ressourcen.

Dies bedeutet natürlich nicht, dass die Anlage bereits optimiert ist. Sowohl Netzverlust als auch Speicherverlust lassen sich vermutlich verbessern. Hierzu können jedoch keine näheren Angaben gemacht werden.

Ein Fazit der Planung ist jedoch auch, dass die Anlage auch einfacher (Hydraulik, Regelungstechnik, Hilfsenergien) hätte konzipiert werden können, wenn sie ohne Heizungsunterstützung geplant worden wäre. Der Beitrag zur Heizungsunterstützung kann – sofern er überhaupt vorhanden ist – nur sehr gering ausfallen.

5.3.3 Braunschweig Gartenstadt, Wurmbergstraße

Bei der Wurmbergstraße 9 bis 13 in Braunschweig Gartenstadt handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus (Baujahr 1935) mit 25 Wohneinheiten auf insgesamt 1426 m² Wohnfläche. Das Gebäude wurde 2010 komplett baulich modernisiert auf einen Niedrigenergiestandard.



Bild 74 Braunschweig, Wurmbergstraße 9 - 13

Das Gebäude wird zentral mit einer 100 kW Kesselanlage (Therme) beheizt. Zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung ist eine Solaranlage mit 33,18 m² Kollektorfläche in Verbindung mit zwei Pufferspeichern á 1000 Liter installiert. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt im Durchlaufsystem.



Bild 75 Anlagentechnik, Braunschweig Wurmbergstraße

Die Messdaten werden mit einem Gaszähler sowie verschiedenen, im Bereich der Heizzentrale angeordneten Wärmemengenzählern ermittelt. Anhand der Messwerte von 2011 und 2012 ergibt sich das Energieflussdiagramm in Bild 76. Es ist kein Ganzjahreszeitraum vorhanden, jedoch wurden die Zahlen nicht witterungs- oder zeitkorrigiert, da dies für die Solarerträge nicht sinnvoll wäre.

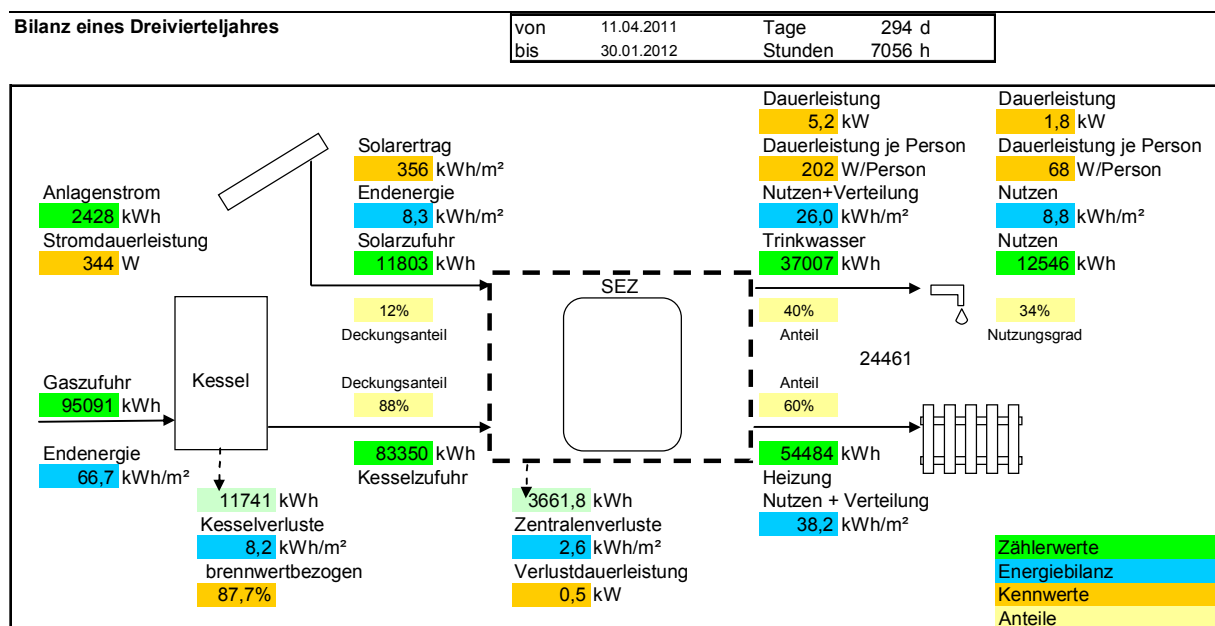


Bild 76 Energiebilanz 2011/2012, Braunschweig Wurmbergstraße

In dem Gebäude wohnen im Messzeitraum nur knapp 26 statt wie geplant 38 Personen. Der Vermietungsgrad nimmt jedoch zu. Die Auswertung der Energiebilanz liefert nachfolgende Erkenntnisse.

Solarertrag und Anlagenverluste

Im Messzeitraum wurde im Kollektorkreis ein Solarertrag von 11,8 MWh erfasst. Der Kollektorkreisenertrag ist mit 356 kWh/m²_{Koll} im Dreivierteljahr vergleichsweise hoch. Die installierte Kollektorfläche ist mit 0,9 m² je Person (Planung) bzw. 1,3 m² je Person (Realzustand) typisch für eine auf den Trinkwarmwasserbedarf ausgelegte Solarthermie im Mehrfamilienhaus – und das obwohl es auch Heizungsunterstützung geben soll.

Die Heizzentrale weist mit beiden Speichern und der kompletten Verrohrung Wärmeverluste in der Höhe von 3,7 MWh auf. Nicht alle Verluste dürfen der Solaranlage zugeordnet werden, denn ein (kleinerer) Speicher sowie ein Teil der Verrohrung wären für die Trinkwarmwasserbereitung sowieso vorhanden gewesen. Näherungsweise wird davon ausgegangen, dass etwa 2,5 MWh zusätzlicher Verlust vorhanden ist, welcher nur der Solarthermie zuzurechnen ist.

Die Solaranlage liefert hier einen Nettoertrag von etwa 9,3 MWh für die Trinkwarmwasserbereitung. Der Wert wird sich noch erhöhen, wenn die Jahresbilanz Ende April gemacht werden kann.

Trinkwarmwassernutzen und Trinkwarmwasserverluste

Bei der Anlage ist zu erkennen, dass die Verluste für das Netz inkl. der Zirkulation mit 24,5 MWh etwa doppelt so hoch ausfallen wie der eigentliche Brauchwasserbedarf von 12,5 MWh. Wenn man unterstellt, dass das Gebäude bereits voll belegt wäre (mit 38 statt 26 Personen), hätte die Nutzwärmemenge bei etwas mehr als 18 MWh gelegen.

Für diesen Vollbelegungsfall wird der Gesamtnutzungsgrad des Systems bestimmt. Er liegt bei 47 %. Ohne Solaranlage hätte er bei 37 % gelegen. Es ist durch die Solaranlage eine Endenergieeinsparung im Bereich der Trinkwassererwärmung festzustellen. Die Solareinbindung ist hier als (energetisch) positiv zu werten. Der Systemnutzungsgrad ergibt sich aus nachfolgender Bilanz:

	mit Solarthermie	ohne Solarthermie	dez. elektrisch
• Nutzen	18,3 MWh	18,3 MWh	18,3 MWh
• Netzverlust	+ 24,5 MWh	+ 24,5 MWh	
• Speicherverlust	+ 3,7 MWh	+ 1,2 MWh	
• Beitrag der Solaranlage	- 11,8 MWh		
• Energiemenge ab Kessel	= 34,7 MWh	= 44,0 MWh	
• Kesselverlust	+ 4,4 MWh	+ 5,6 MWh	
• Endenergie Gas/Strom	= 39,1 MWh	= 49,6 MWh	= 18,3 MWh
• Ressourcenverbrauch [37]	= 39,1 MWh	= 49,6 MWh	= 42,9 MWh

Die dezentrale Versorgung hätte den Ressourcenverbrauch nicht vermindert. Der zentralen Trinkwarmwasserbereitung mit Solarthermie kann man in diesem Fall zustimmen.

Das gilt aber nur, wenn die Vollbelegung irgendwann eintritt! Sofern die Belegungsdichte so gering bleibt wie sie ist, wäre die dezentral elektrische Versorgung ressourcenschonender als die Zentralversorgung mit Solarthermie.

	mit Solarthermie	ohne Solarthermie	dez. elektrisch
• Nutzen	12,5 MWh	12,5 MWh	12,5 MWh
• Netzverlust	+ 24,5 MWh	+ 24,5 MWh	
• Speicherverlust	+ 3,7 MWh	+ 1,2 MWh	
• Beitrag der Solaranlage	- 11,8 MWh		
• Energiemenge ab Kessel	= 28,9 MWh	= 38,2 MWh	
• Kesselverlust	+ 3,7 MWh	+ 4,9 MWh	
• Endenergie Gas/Strom	= 32,6 MWh	= 43,1 MWh	= 12,5 MWh
• Ressourcenverbrauch [37]	= 32,6 MWh	= 43,1 MWh	= 29,4 MWh

Heizungsverluste und solare Heizungsunterstützung

An der Gesamtenergielieferung ist die Solarthermie mit 12 % beteiligt. Für die Trinkwarmwasserbereitung ergibt sich ein (theoretischer) Deckungsanteil von 32 %, wenn keine Heizungsunterstützung unterstellt wird.

Falls es darüber hinaus Solarthermiebeitrag zur Heizungsunterstützung gibt, wird dieser vermutlich gering ausfallen. Die Kollektorfläche ist so dimensioniert, dass man von einer klassischen Trinkwarmwasservorwärmung ausgehen kann. Daher wurden der gesamte Pufferspeicherwärmeverlust, aber auch der gesamte Solarertrag in der obigen Bilanz der Trinkwarmwasserbereitung zugeordnet.

Eine Aussage zum Verteilnetz der Heizung kann nicht erfolgen, weil keine weiteren Daten bekannt sind.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Solareinbindung in das Trinkwarmwassernetz ist bei der derzeitigen – noch nicht maximalen – Belegungsdichte nicht ressourcenschonender als eine dezentral elektrische Versorgung es wäre. Erst bei Vollbelegung des Wohngebäudes ist ein Vorteil sichtbar.

Das Trinkwarmwassernetz weist vermutlich eine eher hohe Verlegedichte auf, da das Gebäude sehr lang gestreckt ist und nur 2 bzw. 3 Geschosse aufweist. Dies ist geometrisch eher ungünstig. Die Leitungen sind im Keller gut gedämmt. In den Wohngeschossen ist von ebenfalls guter Dämmung auszugehen, die ggf. noch besser hätte ausfallen können. Optimierungspotential besteht hier kaum.

Der Beitrag zur Heizungsunterstützung kann – sofern er überhaupt vorhanden ist – nur sehr gering ausfallen. Die Anlage hätte einfacher (Hydraulik, Regelungstechnik, Hilfsenergien) und mit geringeren Wärmeverlusten der Heizzentrale im unbeheizten Bereich konzipiert werden können, wenn sie ohne Heizungsunterstützung geplant worden wäre.

5.4 Gebäude mit Einrohrheizung

5.4.1 Wunstorf, Barnestraße

Bei einer Energieberatung für eine Wohnbaugesellschaft einer niedersächsischen Kleinstadt sollte die Umsetzungseffizienz von bereits abgeschlossenen Einsparmaßnahmen untersucht werden: Einbau von Brennwertkesseln, Solarthermieanlagen und Wärmedämmung der Fassaden. Es stand die Frage im Raum, warum einzelne Maßnahmen weit weniger sparen als geplant [19].



Bild 77 Wunstorf, Barnestraße 79-83

Die detaillierte Gebäudeuntersuchung betraf das Gebäude in der Barnestraße 79-83. Ein dreigeschossiges Mehrfamilienwohnhaus mit 18 Wohneinheiten. Der Baukörper aus den 1960er Jahren ist im Jahr 2000 auf ein mit Wärmeschutzverordnung 1995 vergleichbares Niveau saniert worden.

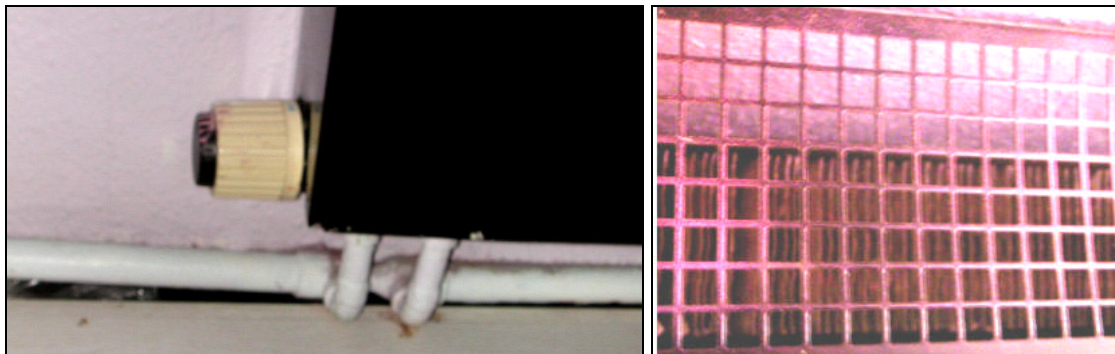


Bild 78 Einrohrheizung mit Konvektoren, Wunstorf Barnestraße

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral, die Heizung über eine Einrohrheizung (Konvektoren, siehe Bild 78) und Brennwertkessel. Das Heiznetz ist in den Wohnungen ungedämmt und als Etagenringleitung in jeder Ebene verlegt. Die Verlegedichte im beheizten Bereich ist dennoch mit 0,49 m/m² vergleichsweise hoch.

Gebäude- und Nutzungskennwerte		
Wohneinheiten		18
Bewohnerzahl ca.		40
Wohnfläche		1105 m ²
beheiztes Luftvolumen		3521 m ³
Hüllfläche		2353 m ²
	davon Fenster	243 m ²
mittlerer U-Wert		0,66 W/(m ² K)
Endenergien		
Verbrauchsdaten	witterungsbereinigt	165 MWh/a
Versorgung		
Brennwertkessel als Zweikesselanlage		
dezentral elektrisch mit Durchlauferhitzer		
Heiznetz		
Leitungslängen	Verteilung, unbeheizt, DN > 50	103 m
	Steigestränge, DN 32 ... 50	50 m
	Ringleitungen in den Geschossen, DN 22	495 m
Dämmung	Verteilung nach EnEV, sonst keine	0,2 oder 0,9 W/(mK)
Auslegung		75/60°C real
Kennwerte Verlegedichte	unbeheizter Bereich	0,09 m/m ²
	beheizter Bereich	0,49 m/m ²
	gesamt	0,58 m/m ²

Tabelle 42 Kenndaten Barnestraße, Bestand

In den Räumen werden über die wohnungsweise umlaufenden Rohrleitungen größere Energiemengen unregelmäßig abgegeben. Für die Barnestraße ergibt die Energiebilanz, dass die Hälfte der Wärmeabgabe der Heizungsanlage im beheizten Bereich über die Rohre erfolgt, die andere Hälfte über Heizflächen.

Überwärmungsproblematik und Ablüften

Für das Gebäude wurde eine raumweise Monatsbilanz über Verluste und Gewinne erstellt. Dabei stellte sich heraus, dass

- im EG in 18 von 31 Räumen,
- im 1. OG in allen 31 Räumen und
- im 2. OG in 20 von 31 Räumen

die Rohrwärmeabgabe größer ist als die Heizkörperwärmeabgabe. Dies bedeutet, dass die Regelbarkeit des Wärmeeintrags abnimmt und der Anteil an Phasen mit Überwärmung, in denen die Überschüsse abgelüftet werden müssen, zunimmt.

Im EG muss in 7 Räumen gar nicht über die Heizkörper geheizt werden, im 1. OG reicht sogar in 14 Räumen die Rohrwärmeabgabe allein zur Beheizung aus.

Betroffen von einer gleichmäßig starken Überversorgung durch Rohrwärme ist vor allem das 1. OG. Hier sind die geringsten Transmissionswärmeverluste (keine Wärmeabflüsse über Decke und Fußboden) zu verzeichnen. Am zweitschwersten betroffen ist das 2. OG mit der recht gut gedämmten obersten Geschossdecke. Alle Räume des EG haben insgesamt höhere Wärmeverluste durch den Boden zum Keller.

Bild 79 zeigt, dass über die Heizperiode gesehen die Überwärmungsproblematik in den Küchen und Bädern am größten und in den Wohnzimmern am kleinsten ist. Die lokale Überversorgung im EG und 1. OG tritt in den Räume mit den Steigesträngen auf. Die meist kleinen Räume (Bad/WC, Küche) haben durch das ungedämmte durchlaufende Rohr großen Durchmessers einen immensen permanenten Wärmeeintrag.

Temperatur		EG		Energienmengen in kWh/a			1.OG		Energienmengen in kWh/a		
Raum	Art	Hüllfläche	Grundfläche	Ablüften	Heizflächen	Rohrwärme	Hüllfläche	Grundfläche	Ablüften	Heizflächen	Rohrwärme
1	Bad/WC	7,8	1,5	667	0	1026	6,3	1,5	751	0	1026
2	Bad/WC	7,4	3,6	45	206	219	3,8	3,6	96	61	219
3	Küche	13,1	7,2	69	435	346	6,0	7,2	161	135	346
4	Schlafzimmer	37,6	17,0	127	676	1201	20,7	17,0	402	24	1201
5	Wohnzimmer	46,2	20,2	140	1936	1346	26,0	20,2	501	770	1346
6	Kinderzimmer	14,8	7,9	46	730	357	6,9	7,9	190	277	357
7	Kinderzimmer	26,3	10,7	10	1073	616	15,7	10,7	157	413	616
8	Küche	12,3	6,0	669	0	1190	6,3	6,0	996	0	1190
9	Wohnzimmer	35,4	19,7	4	1822	811	15,7	19,7	264	593	811
10	Schlafzimmer	24,3	14,3	159	370	1128	10,0	14,3	571	0	1128
11	Bad/WC	12,9	3,5	342	0	969	9,4	3,5	533	0	969
12	Bad/WC	12,9	3,5	580	0	1208	9,4	3,5	771	0	1208
13	Küche	12,5	6,8	102	337	328	5,7	6,8	220	83	328
14	Schlafzimmer	23,7	15,3	157	368	1161	8,5	15,3	624	0	1161
15	Kinderzimmer	22,6	12,6	19	679	925	10,0	12,6	314	25	925
16	Wohnzimmer	36,2	19,0	41	1624	892	17,2	19,0	354	504	892
17	Kinderzimmer	21,4	11,4	60	276	1255	10,0	11,4	646	0	1255
18	Wohnzimmer	37,0	19,8	51	1304	1298	17,2	19,8	448	210	1298
19	Schlafzimmer	23,7	15,3	157	368	1161	8,5	15,3	624	0	1161
20	Küche	12,5	6,8	102	337	328	5,7	6,8	220	83	328
21	Bad/WC	12,9	3,5	580	0	1208	9,4	3,5	771	0	1208
22	Bad/WC	12,9	3,5	580	0	1208	9,4	3,5	771	0	1208
23	Küche	12,5	6,8	102	337	328	5,7	6,8	220	83	328
24	Schlafzimmer	23,7	15,3	157	368	1161	8,5	15,3	624	0	1161
25	Kinderzimmer	22,6	12,6	19	679	925	10,0	12,6	314	25	925
26	Wohnzimmer	36,2	19,0	41	1624	892	17,2	19,0	354	504	892
27	Kinderzimmer	21,4	11,4	60	276	1255	10,0	11,4	646	0	1255
28	Wohnzimmer	44,8	19,8	165	1628	1298	25,1	19,8	587	559	1298
29	Schlafzimmer	35,3	15,3	269	58	1831	20,0	15,3	1045	0	1831
30	Küche	12,5	6,8	102	337	328	5,7	6,8	220	83	328
31	Bad/WC	12,9	3,5	580	0	1208	9,4	3,5	771	0	1208
Flure		36,8	42,7				36,8	42,7			

Temperatur		2.OG		Energienmengen in kWh/a		
Raum	Art	Hüllfläche	Grundfläche	Ablüften	Heizflächen	Rohrwärme
1	Bad/WC	7,83	1,53	120	82	366
2	Bad/WC	7,38	3,6	95	183	219
3	Küche	13,14	7,18	163	383	346
4	Schlafzimmer	37,64	16,96	364	567	1201
5	Wohnzimmer	46,22	20,23	447	1606	1346
6	Kinderzimmer	14,81	7,91	163	598	357
7	Kinderzimmer	26,34	10,69	138	865	616
8	Küche	12,27	5,99	210	244	365
9	Wohnzimmer	35,38	19,73	229	1426	811
10	Schlafzimmer	24,34	14,31	376	295	1128
11	Bad/WC	12,90	3,49	144	390	309
12	Bad/WC	12,92	3,49	192	201	548
13	Küche	12,45	6,8	206	302	328
14	Schlafzimmer	23,73	15,27	389	287	1161
15	Kinderzimmer	22,60	12,57	209	474	925
16	Wohnzimmer	36,19	18,98	296	1282	892
17	Kinderzimmer	21,44	11,41	157	749	519
18	Wohnzimmer	36,96	19,75	348	979	1298
19	Schlafzimmer	23,73	15,27	389	287	1161
20	Küche	12,45	6,8	206	302	328
21	Bad/WC	12,92	3,49	192	201	548
22	Bad/WC	12,92	3,49	192	201	548
23	Küche	12,45	6,8	206	302	328
24	Schlafzimmer	23,73	15,27	389	287	1161
25	Kinderzimmer	22,60	12,57	209	474	925
26	Wohnzimmer	36,19	18,98	296	1282	892
27	Kinderzimmer	21,44	11,41	157	749	519
28	Wohnzimmer	44,80	19,75	500	1341	1298
29	Schlafzimmer	35,26	15,27	572	50	1831
30	Küche	12,45	6,8	206	302	328
31	Bad/WC	12,92	3,49	192	201	548
Flure		36,79	42,7			

Legende:

	keine Wärmeabgabe über Heizflächen
	mehr als 30 % Ablüften der Wärmeabgabe von Heizkörper + Leitungsnetz
	mehr als 15 % Ablüften der Wärmeabgabe von Heizkörper + Leitungsnetz
	weniger als 15 % Ablüften der Wärmeabgabe von Heizkörper + Leitungsnetz

Bild 79 Überwärmungsfälle und Tendenz zum Ablüften nach Räumen und Geschossen

Exemplarisch für drei Räume des Gebäudes geben die nachfolgenden Bilder die Jahresenergiebilanzen wieder. Erkennbar sind Verhältnisse Heizkörperwärme zu Rohrabwärme sowie abgelüftete Energiemengen. Diese sind unkritisch, wenn es sich um ein Ablüften von Solar- und innerer Wärme außerhalb der Heizperiode handelt. Wird jedoch Heizwärme oder Rohrabwärme abgelüftet, ist dies kritisch.

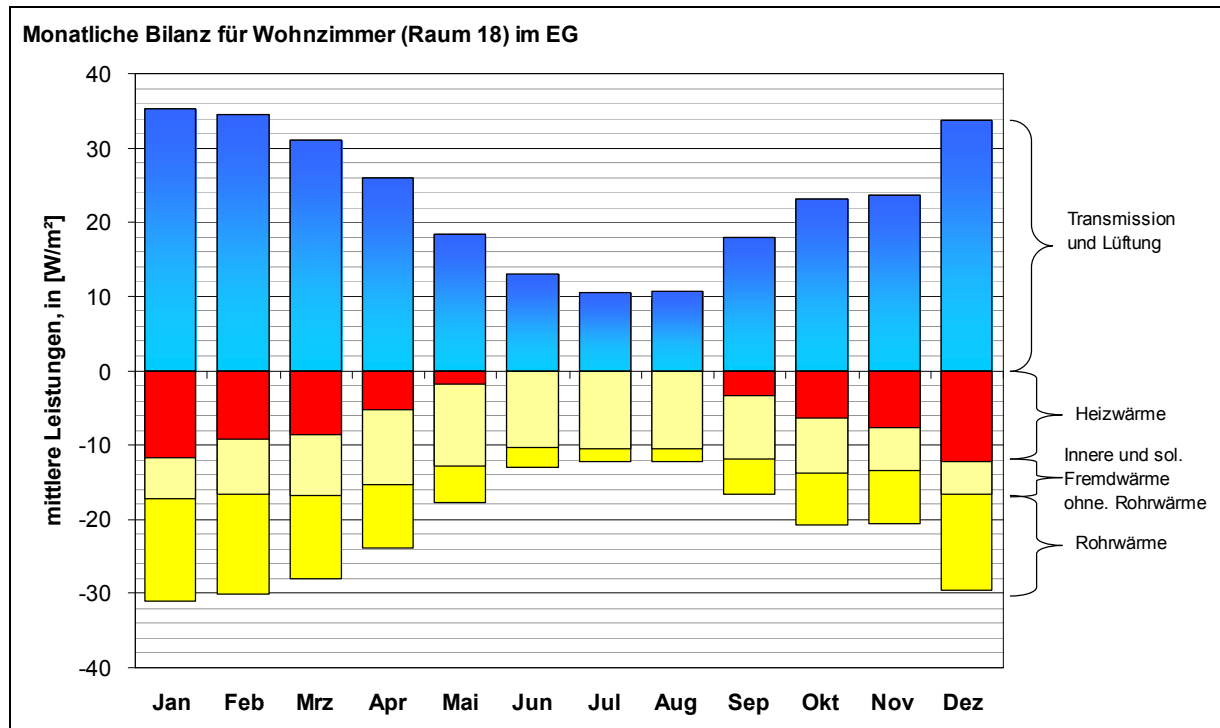


Bild 80 Monatsbilanz für ein Wohnzimmer im EG

Das Wohnzimmer 18 im Erdgeschoss ist nur gering von einer Überwärmung betroffen. Die Heizkörper geben von September bis Mai Wärme ab. Es muss während der Heizperiode keine Wärme unnötig abgelüftet werden.

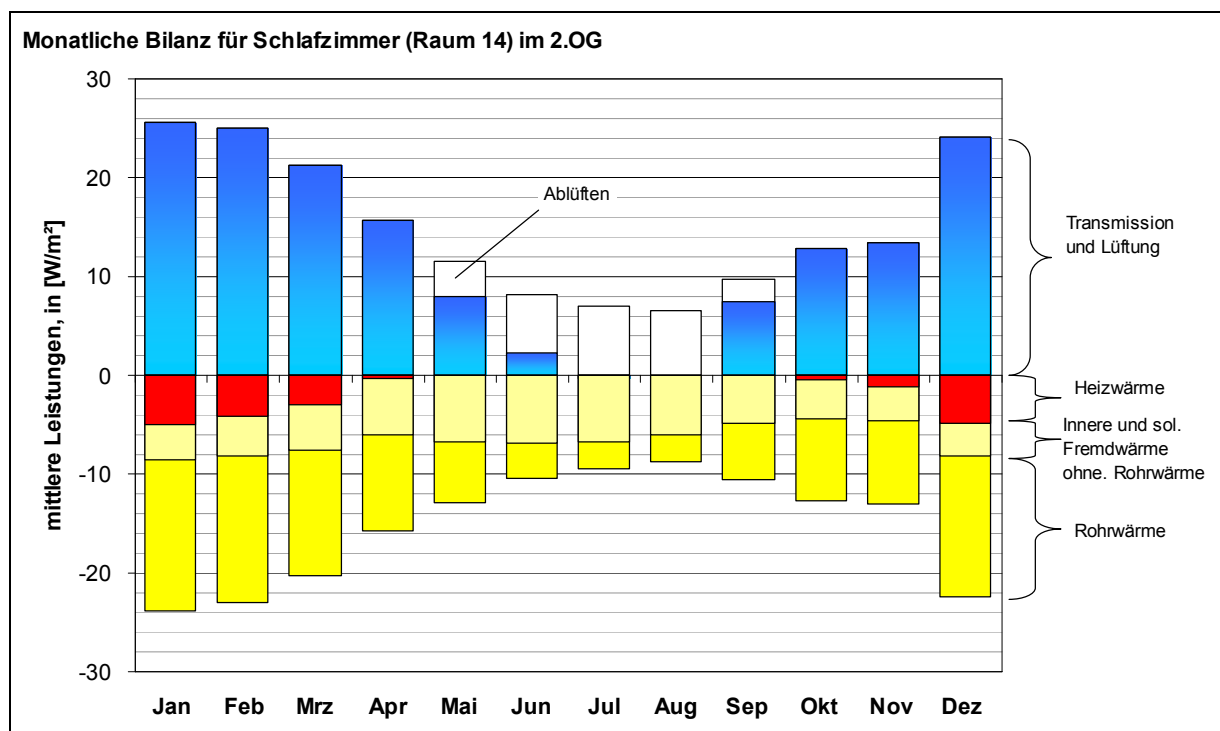


Bild 81 Monatsbilanz für ein Schlafzimmer im 2. OG

Das Schlafzimmer 14 im 2. OG ist mäßig von einer Überwärmung betroffen. Die Heizkörper geben von Oktober bis März Wärme ab. Es muss allerdings im September und Mai auch während der Heizperiode Wärme abgelüftet werden.

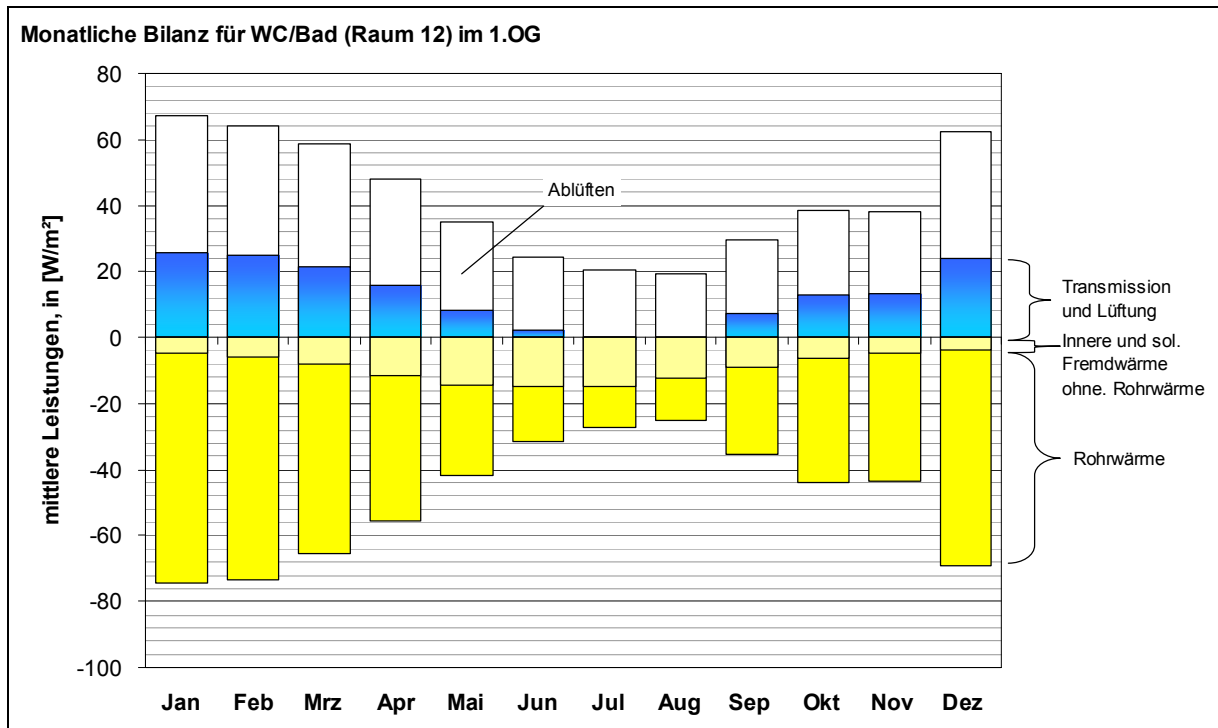


Bild 82 Monatsbilanz für ein WC/Bad im 1. OG

Das Bad/WC 12 im 1. OG ist stark von einer Überwärmung betroffen. Die Heizkörper geben praktisch nie Wärme ab. Es muss während der gesamten Heizperiode Wärme abgelüftet werden.

Verbesserungsmaßnahmen

Der Wohnbaugesellschaft wurde im Beratungsbericht vorgeschlagen, die Leitungen zu dämmen. Es handelte sich einerseits um die Steigestränge in den Bädern und Küchen, andererseits auch um die waagerechten Ringleitungen. Die Ergebnisse der Energiebilanz der beheizten Räume zeigt Bild 83.

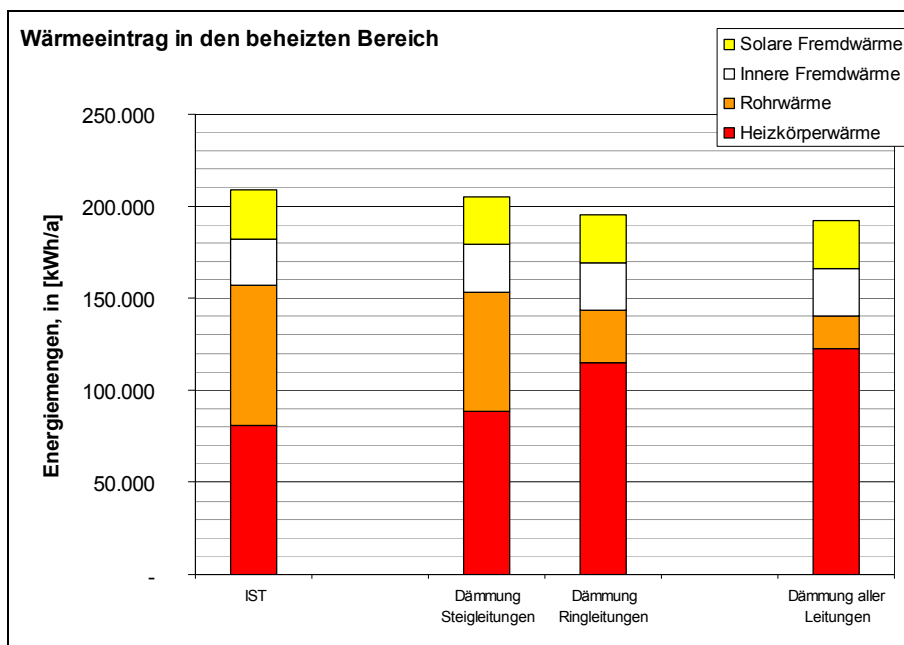


Bild 83 Energiebilanz der beheizten Räume in 4 Varianten, Barnestraße

Die Energiezufuhr in den beheizten Bereich kann von 157 MWh/a (ca. 50 % davon geregelt) auf 140 MWh/a (ca. 85 % geregelt) vermindert werden. Die Einsparung von 11 % resultiert praktisch nur aus der Vermeidung von Überwärmung. Eine Wirtschaftlichkeit ist gegeben.

Heizkostenabrechnung

Eine vom vorherigen Thema getrennte Untersuchung betrifft die an den Heizkörpern elektronisch gezählten Verbrauchseinheiten. Hier interessiert, warum die Werte der Wohnungen sehr unterschiedlich sind. In Gebäudetypen wie dem vorliegenden kommen zwei Effekte zusammen:

1. Der Wärmefluss zwischen den Wohnungen ist sehr groß, weil die Wärmedämmung nach außen gut ist. Davon profitieren vor allem innenliegende Wohnungen mit geringer Transmission nach außen.
2. Nur etwa die Hälfte der zur angenehmen Beheizung (bei durchschnittlichem Nutzerverhalten) notwendigen Wärme wird überhaupt über Heizkörper abgegeben, also gezählt.

Auf das im Bild schematisch dargestellte Gebäude übertragen: die Wohnungen mit wenigen gezählten Verbrauchseinheiten liegen tendenziell nicht im EG bzw. an den Gebäudeecken, sondern eher in der Mitte und oben, weil hier geringere Transmission vorliegt.

Hausnummer								Mittelwert zeilenweise
		83		81		79		
		Dach						
2. OG	Striche	2642	2618	9343	221	520	3109	50
	Striche/m ²	43	43	152	4	11	41	
	Fläche, in m ²	61,37	61,68	61,37	61,68	47,54	75,16	
1. OG	Striche	2785	1353	207	678	69	2609	21
	Striche/m ²	45	22	3	11	1	35	
	Fläche, in m ²	61,37	61,68	61,37	61,68	47,54	75,16	
EG	Striche	7167	12306	1692	2962	7358	435	87
	Striche/m ²	117	201	28	48	155	6	
	Fläche, in m ²	61,37	61,68	61,37	61,68	47,54	75,16	
Mittelwert spaltenweise		68	88	61	21	56	27	
	Striche/m ² Striche/m ²			Striche/m ² Striche/m ²		Striche/m ² Striche/m ²		
		Summe: 58074 Striche 52 Striche/m ²						

Bild 84 Wohnungsweise Heizkostenerfassung, Barnestraße

Überlagert wird dieser Effekt von unterschiedlichem Komfortanspruch der Nutzer. Die in einzelnen Wohnungen über Heizkörper gezählten Energiemengen können sehr verschieden sein, da eine Grundbeheizung der Räume bereits über die Leitungen erfolgt. Diese Energiemengen werden jedoch nicht gezählt. Ein Bewohner mit einem höheren Komfortanspruch bewirkt eine sprunghafte Mehranzeige über die Heizkörper.

FAZIT aus diesem Projekt

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral. Da die Wärmeeinträge in Bäder und Küchen über die Steigestränge der Einrohrheizung bereits immens sind, wäre eine Zentralisierung der Trinkwarmwasserversorgung mit Verlegung weiterer Leitungen in diesen Räumen auch nicht angebracht. Es käme zu einer Verschärfung der Überwärmungsproblematik. Darüber hinaus ist das Gebäude mit seiner lang gestreckten Bauform und den nur 3 übereinander liegenden Geschossen nicht besonders günstig für ein zentrales Netz, wie die anderen Beispielgebäude zeigten. Die Wahl des dezentralen Versorgungssystems war – wahrscheinlich aus anderen Gründen geplant - sinnvoll.

Die eigentliche Problematik ergibt sich aus der in Etagenringen verlegten Einrohrheizung in Kombination mit dem mittelgut wärmedämmten Baukörper. Im vorhandenen gedämmten Zustand wird in der gesamten mittleren Ebene des Gebäudes deutlich mehr Wärme über die Rohre abgegeben als über Heizflächen (ca. 5/6 zu 1/6). Im Erd- und Obergeschoss ist die Transmission größer und damit der geregelte Wärmeeintrag über Heizkörper höher (ca. 50 : 50). Die Heizkostenabrechnung ist jedoch hochgradig ungerecht.

Eine weitere Baukörpersanierung durch Wärmedämmung der Kellerdecke oder Fenstertausch (Bedarfsminderung) wird nicht ohne gleichzeitige Rohrleitungsämmung empfohlen. Das Netz lässt sich – wegen der geringen Leitungsquerschnitte – prinzipiell noch sinnvoll sanieren. Denkbar wäre eine Ummantelung der Ringleitung mit einem gedämmten Sockelleistenkanal. Die Steigestränge könnten nach der Dämmung in einem Gipskartonkasten liegen.

Das Einsparpotential beläuft sich nur durch Verminderung der Überwärmungseffekte im beheizten Bereich (und des daraus resultierenden Ablüftens) auf ca. 11 %.

5.4.2 Braunschweig Weststadt, Emsstraße

Für ein Projekt, in dem es eigentlich um die hydraulische Optimierung von Zweirohrheizungsanlagen ging, wurden im Vorfeld ca. 100 Gebäude ausgesucht [36]. Während der Messung der Verbrauchsdaten in der ersten Heizperiode wurden die Anlagen und Gebäude näher aufgenommen.

In einem der Gebäude in Braunschweig Weststadt sind die Heizkörper in einem Mischsystem aus Ein- und Zweirohrheizung angeschlossen. Das Gebäude wurde 1994 erbaut, hat 18 Wohneinheiten auf 1079 m² beheizter Fläche. Es wird über eine Übergabestation indirekt mit Fernwärme versorgt. Es ist ein Primärzähler sowie ein Unterzähler für die Trinkwarmwasserbereitung vorhanden. Für die Optimierung kam das Objekt aufgrund des vorhandenen gemischten Heizsystems nicht in Frage.



Bild 85 Braunschweig, Emsstraße 18

Bild 86 zeigt den aus Messwerten rekonstruierten Verbrauchsverlauf zwischen November 2002 und Januar 2005. Es zeigt sich, dass praktisch ganzjährig ein Heizwärmeverbrauch zu verzeichnen ist. Die Heizgrenze ergibt sich aus Messwerten bei 22 °C. Dargestellt ist nur der Heizwärmeverbrauch ohne das messtechnisch erfasste Trinkwarmwasser.

Eine Raumtemperatur wird nicht gemessen, in erster Näherung kann aber dennoch für dieses Gebäude vermutet werden, dass die Heizgrenztemperatur etwa der Raumtemperatur entspricht. Dies wird auf ständig durchflossene Rohrleitungsabschnitte zurückgeführt.

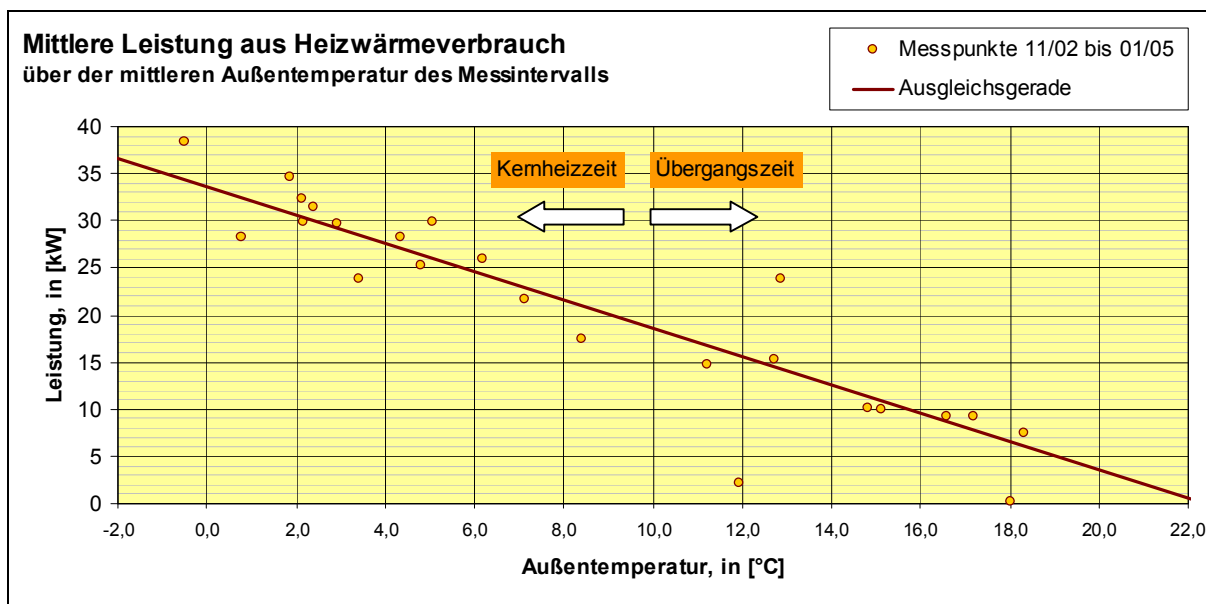


Bild 86 Energieanalyse aus dem Verbrauch, Braunschweig Emsstraße

Bereinigung und Einordnung der Kennwerte

Die Bildung von bereinigten Energiekennwerten für dieses Gebäude ist vergleichsweise schwierig. Bei der Verbrauchsdatenbereinigung mit den Heizgradtagen G_{20} ergeben sich folgende Werte:

mit G_{20} bereinigter Heizwärmeverbrauch, in [kWh/(m ² a)] – Wert in Klammern: unbereinigter Verbrauch			
2002/2003		2003/2004	
Kernheizzeit:	173 (121)	Kernheizzeit:	152 (111)
Jahresverbrauch:	181 (154)	Jahresverbrauch:	161 (148)

Tabelle 43 Bereinigter Verbrauch für ein Gebäude mit Einrohrheizung

Der bereinigte Verbrauch für ein ganzes Jahr liegt in beiden Jahren über dem bereinigten Verbrauch aus den Messwerten der Kernheizzeit. Dies bestätigt die Erkenntnis, dass hier offenbar deutlich mehr Wärme in der Übergangszeit verbraucht wird, als es die Witterung erforderlich macht. Der unbereinigte Verbrauch liegt in beiden Jahren verhältnismäßig nah beieinander. Dies kann als Indiz dafür angesehen werden, dass Heizwärme relativ unabhängig von der Witterung verbraucht wird.

Ein Gebäude sollte einen deutlich geringeren Verbrauchskennwert aufweisen.

Insgesamt wird hier sehr viel mehr Heizwärme verbraucht, als es für ein Gebäude dieses Dämmstandards (entspricht der Wärmeschutzverordnung 1984), dieser Kompaktheit (hoch) und Größe typisch ist. Hier kann von Zwangswärmekonsum gesprochen werden.

Vergleichbare Mehrfamilienhäuser der gleichen Baualtersklasse weisen bereinigte Heizwärmeverbrauchswerte von 68 kWh/(m²a) [1128 m², Baujahr 1993] bis 141 kWh/(m²a) [1159 m², Baujahr 1987] auf.

FAZIT aus diesem Projekt

Der gemessene Trinkwarmwasserwärmeverbrauch liegt – gemessen am Wärmemengenzähler im Keller – bei 40,4 kWh/(m²a). Weitere Angaben gibt es zu der Anlage und seinen Leitungsnetzen nicht. Die Nutzwärmeabnahme dürfte – wegen der geringen Wohnungsgröße und damit eher hohen Belegungsdichte – bei ca. 20 kWh/(m²a) liegen. Der Anlagennutzungsgrad liegt damit bei etwa 50 %. Die elektrische Warmwasserversorgung wäre keine Alternative, zumal das Objekt mit Fernwärme versorgt ist.

Die verlegte Leitungslänge für Heizung im unbeheizten Bereich beträgt nur ca. 10 m. Die Leitungen sind 100 % gedämmt. Die Leitungslängen der Heizungsanlage im beheizten Bereich sind nicht bekannt. Es handelt sich um ein Mischsystem aus Ein- und Zweirohrheizung.

Unabhängig davon ergibt sich ein sehr hoher Heizenergiekennwert von 150 ... 180 kWh/(m²a), gemessen an der Fernwärmeübergabestation. Der Kennwert ist höher, wenn die Übergangszeit in die Witterungskorrektur einbezogen wird. Die Heizgrenze liegt bei 22°C.

Es wird von Zwangswärmekonsum aufgrund des gewählten Verteilnetzes ausgegangen. Ob hier eine Rohrleitungsdämmung zur akzeptablen Verbesserung führen wird, darf bezweifelt werden. Damit ein für diese Gebäudeklasse typischer Verbrauchskennwert eintritt, müssten nur durch Leitungsdämmmaßnahmen im beheizten Bereich ca. 30 % Energie eingespart werden. Es wird vermutet, dass nur ein Rückbau helfen kann.

5.4.3 Berlin Kaulsdorf, Ein- und Zweirohrheizung im Vergleich

Eine Untersuchung zu Einsparpotentialen adaptiver Regelung an Gebäuden in Berlin [24] lieferte als Nebenprodukte eine Gegenüberstellung von Gebäuden mit Ein- und Zweirohrheizung in der Sanierung. Die ganze Siedlung ist in den 1970er Jahren entstanden, die Gebäude wurden Ende der 1990er Jahre modernisiert.



Bild 87 5- und 6-Geschosser mit Zweirohrheizung, 11- und 14-Geschosser mit Einrohrheizung

Über die Verlegedichte der Netze ist nichts bekannt. In beiden Fällen sind jedoch Verteilsysteme gewählt worden, bei denen die jeweils baugleichen Räume übereinander an Steigsträngen zusammengeschlossen sind. Folgende Abschätzung zu den Leitungsnetzen im beheizten Bereich wird getroffen:

- 5, 6-Geschosser: Geschosshöhe 2,7 m, ca. 12,5 m² je Heizkörper → 0,5 m/m²
- 11, 14-Geschosser: Geschosshöhe 2,7 m, ca. 12,5 m² je Heizkörper → 0,3 m/m²

Grundlage sind typische Wohnungszuschnitte in Plattenbauten sowie Anbindeleitungen von maximal 0,5 m Vor- und 0,5 m Rücklauf bis zur Raumecke.

Endenergie und Trinkwarmwasseranteil

Bild 88 zeigt u. a. den Anteil der Heizenergie an der Endenergie. Es ergibt sich als Differenz dieser beiden Kennzahlen folgende flächenbezogene Endenergiemenge für Trinkwarmwasserbereitung von:

- 5-Geschosser: 41 ... 42 kWh/(m²a)
- 6-Geschosser: 30 ... 35 kWh/(m²a)
- 11-Geschosser: 31 ... 36 kWh/(m²a)
- 14-Geschosser: 19 ... 22 kWh/(m²a)

Die Kennwerte enthalten die Nutzwärme und die Verteilverluste für die Warmwasserbereitung in den jeweils letzten beiden Jahren der Auswertung. Die Jahre vorher sind die Phasen vor und während der Modernisierung.

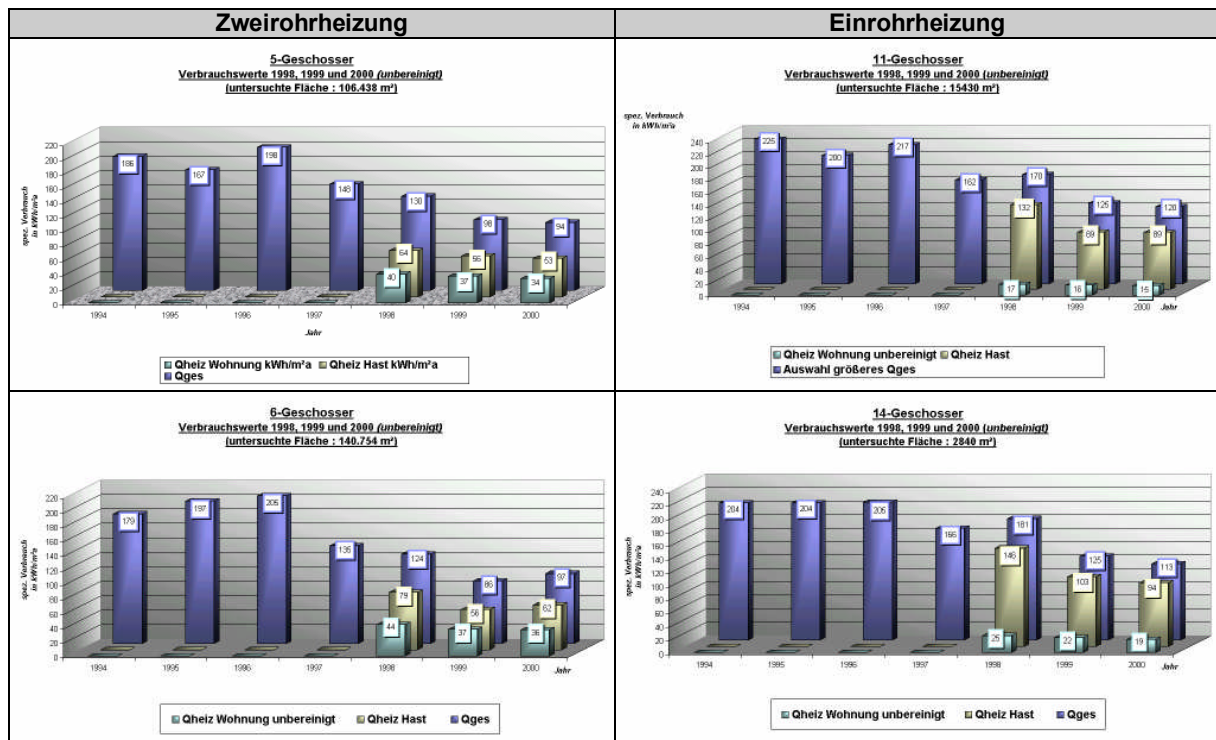


Bild 88 Kennwerte der Endenergie, Heizenergie und Heizkörperwärmeabgabe

Über eine Belegungsdichte der Wohnungen sind keine Aussagen bekannt. Ebenfalls nicht über typische Wohnungsgrößen (und damit den Anteil von Küchen und Bädern in der Gesamtfläche). Generell ist erkennbar, dass die Endenergiemenge für Trinkwarmwasser mit der Gebäudehöhe abnimmt. Dies korreliert mit der Erkenntnis, dass sich in eher lang gestreckten Gebäuden höhere Verlegedichten und damit schlechtere Verteilungsnutzungsgrade ergeben als in Hochhäusern.

Es wird vermutet, dass in etwa folgende Nutzungsgrade vorliegen:

- 5-Geschosser: ca. 40 %
- 6-Geschosser: ca. 50 %
- 11-Geschosser: ca. 50 %
- 14-Geschosser: ca. 75 %

Heizenergiekennwerte

Bild 88 zeigt ebenfalls die Heizenergiekennwerte der Gebäude, d.h. die Summe der im Keller erfassten Wärmemengen für Rohr- und Heizkörperwärmeabgabe.

- 5-Geschosser: 53 ... 56 kWh/(m²a)
- 6-Geschosser: 56 ... 62 kWh/(m²a)
- 11-Geschosser: 89 kWh/(m²a)
- 14-Geschosser: 94 ... 103 kWh/(m²a)

Die Modernisierung aller Gebäude erfolgte in etwa gleich: in der opaken Fassade im Schnitt mit $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, zum unbelüfteten Dachraum bzw. im Dach nach außen $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ und bei den Fenstern U -Werte = $1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Hochhäuser weisen einen leicht höheren Fensterflächenanteil in der Fassade, aber auch eine leicht größere Kompaktheit insgesamt auf. Die Bedarfswerte sollten sehr nah beieinander liegen.

Keinesfalls war man von 65 % (37 kWh/m²a) Mehrverbrauch der Zweirohrheizung gegenüber der Einrohrheizung ausgegangen. Dieser Mehrverbrauch ist – wegen des vorhandenen Fernwärmeanschlusses – nicht auf Erzeugerverluste zurückzuführen. Auch die Leitungsnetze in den unbeheizten Teilen der jeweiligen Gebäude fallen bei den 11- und 14-Geschossern sogar kürzer aus (aber mit größeren Rohrquerschnitten).

Es wird von einer Wärmeverschwendung aufgrund übermäßiger Erwärmung der Wohnungen durch die Steigestränge ausgegangen.

Geregelte und ungeregelte Wärmeabgabe

Bild 89 zeigt die Anteile der geregelten und ungeregelten Wärmeabgabe in den beheizten Bereich der Gebäude. Bei den Zweirohrheizungen liegt der geregelte Wärmeeintrag bei ca. 65 % der gesamten Wärmezufuhr aus dem Heiznetz. Die Einrohrheizungen weisen Anteile um 20 % auf.

Würde man zusätzlich den Wärmeeintrag aus solaren und anderen inneren Wärmequellen in die Betrachtung einbeziehen, ergäben sich noch kleinere geregelte Wärmeabgaben bezogen auf die Gesamtverluste für Transmission und Lüftung.

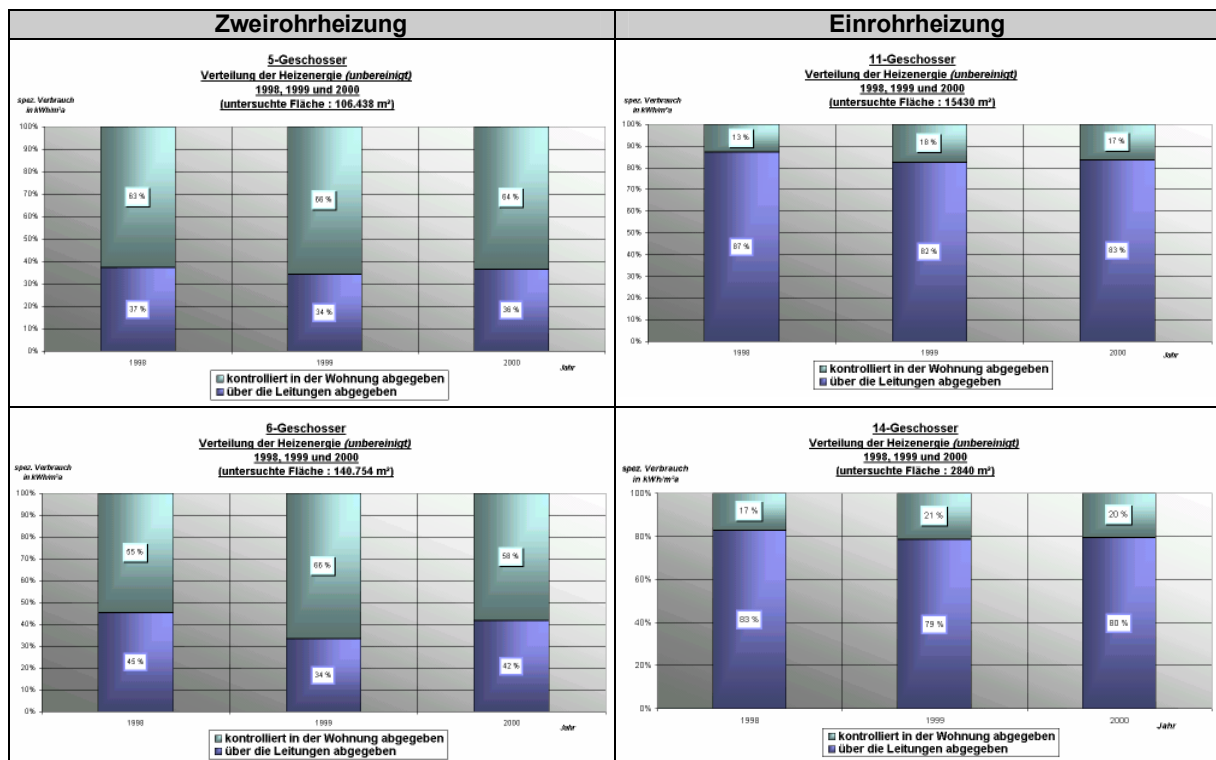


Bild 89 Typische Aufteilung Heizenergie auf Rohrnetz- und Heizkörperwärmeabgabe

Von einer gerechten Heizkostenabrechnung kann hier nicht gesprochen werden.

FAZIT aus diesem Projekt

Die gemessenen Trinkwarmwasserverbrauchskennwerte lassen vermuten, dass die Wahl einer Zentralversorgung bei allen Gebäudetypen sinnvoll war. Insbesondere die 11- und 14-geschossigen Hochhäuser schneiden hier mit sehr guten Energiekennzahlen – vermutlich aufgrund der extrem optimierten Leitungsnetze – ab.

Die verlegten Heizungsleitungslängen sind nicht bekannt. Es wird für die Gebäude mit Einrohrheizung von ca. 0,3 m/m² im beheizten Bereich ausgegangen. Bei einer Auslegung mit 70/50°C und Rohren in DN 35 ... 42 ergibt sich nach Bild 11 ein längenbezogener Wärmeverlust von 100 ... 150 kWh/(m·a). Allein die Wärmeabgabe der Rohre in die Räume beträgt dann durchschnittlich 30 ... 45 kWh/(m²a).

So lässt sich erklären, warum die Gebäude mit Einrohrheizung im Schnitt trotz gleichen Dämmstandards wie die Gebäude mit Zweirohrheizung etwa 65 % bzw. 37 kWh/(m²a) mehr Heizenergie verbrauchen.

Es wird von Zwangswärmekonsum aufgrund des gewählten Verteilnetzes ausgegangen. Eine 100%-Rohrleitungsdämmung mit anschließender Verkleidung der in den Raumecken liegenden Steigestränge wird vermutlich zur akzeptablen Verbesserung führen, da die Verlegedichte nicht hoch und die Platzierung der Rohre günstig ist.

Ohne Dämmung war das System bereits im unsanierten Plattenbau grenzwertig praktikabel.

5.5 Hannover, Concerto act 2

Im Rahmen des Concerto-act2-Projekts [3] wurden in Hannover insgesamt 52 Gebäude mit 398 Wohnungen und etwa 25.600 m² Wohnfläche energetisch saniert. Der überwiegende Teil (39 Mehrfamilienhäuser mit 340 Wohnungen und 20.600 m² Wohnfläche) gehört den beiden Wohnungsbaugesellschaften Gundlach und Spar- und Bauverein. In allen Gebäuden wurde eine energetische Komplettsanierung durchgeführt, die deutlich besser ist als die gesetzlichen Anforderungen: Mit 14-16 cm Dämmstärke für die Außenwände bzw. 20 cm in der obersten Geschossdecke werden die Anforderungen übertroffen, die nach der Energieeinsparverordnung eigentlich nur für Neubauten vorgeschrieben sind.

Im Zuge der Sanierungen wurden die Gasetagenheizungen (Kombithermen) durch eine zentrale Beheizung und Warmwasserversorgung ersetzt. Die hier näher betrachteten Gebäude wurden an die Fernwärme angeschlossen, die durch den hohen Kraftwärmekopplungsanteil eine (nach heutiger Bewertung) deutlich bessere Umweltbilanz aufweist als eine Erdgasbeheizung.

Die für die Zentralisierung erforderlichen Steigeleitungen von den für jeweils 3-4 Gebäude konzipierten Fernwärmezentralen wurden in den ehemaligen Schornsteinen verlegt. In den Gundlach-Objekten wurde ein 2-Leiter-System mit TWW-Bereitung in den Wohnungsübergabestationen ("Thermenersatzgeräte") eingesetzt, in den Gebäuden des Spar- und Bauvereins ein 4-Leiter-System mit getrennter Heizungs- und TWW-Versorgung aus der Heizzentrale im Keller (vgl. Schemata in Bild 90).

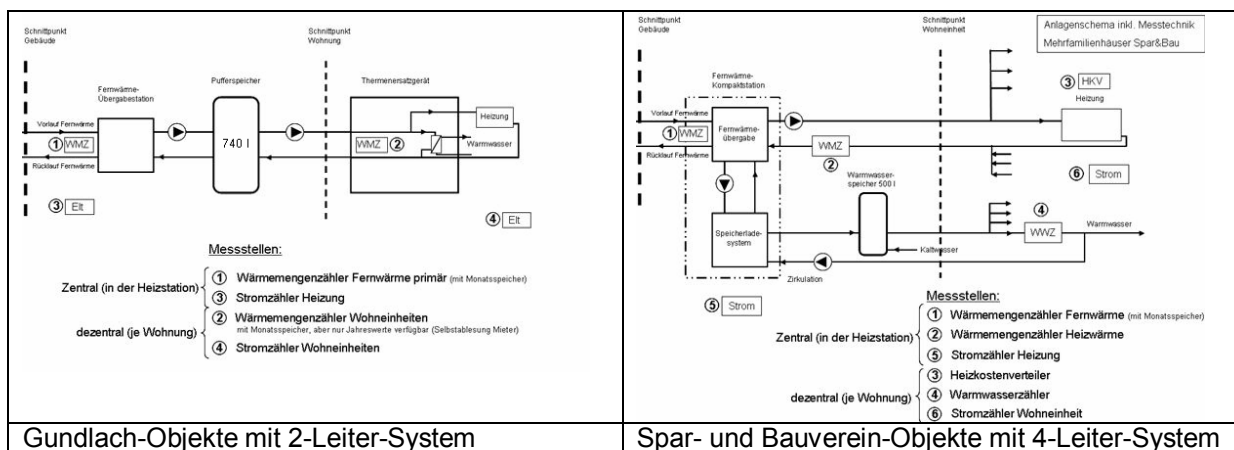


Bild 90: Versorgungsschemata und Messtechnik der Concerto-Objekte

Die Verteilung in den Etagen erfolgt, wie bereits vor der Sanierung, in allen Objekten über Ringleitungen. Sämtliche Verteilleitungen im unbeheizten Bereich einschließlich der Steigestränge wurden nach EnEV (100%) gedämmt, die Zirkulationsleitungen in den Steigesträngen des 4-Leiter-Systems wurden als Rohr-in-Rohr-Verlegung ausgeführt.

Die Ergebnisse von acht 4-geschossigen Objekten mit 29 Gebäuden bzw. Hauseingängen und insgesamt 242 Wohnungen mit zusammen rd. 14.200 m² Wohnfläche sind für die hier betrachtete Fragestellung interessant und werden im Folgenden näher vorgestellt.

Die gemessenen Verbrauchswerte aus 3 oder 4 Heizperioden bleiben zwar etwas hinter den vorausgerechneten Ergebnissen zurück, schneiden aber mit etwa 50-70% Heizenergieeinsparung deutlich besser ab als bei üblichen Sanierungen. Mit der deutlich verbesserten Dämmung ist die Bedeutung des Warmwasserverbrauchs stark gestiegen: sein prozentualer Anteil am Energieverbrauch stieg von 10-15% auf 30-40%. Mit im Mittel etwa 30 kWh/m²a liegt er nach der Sanierung durch die anteiligen Speicher- und Verteilungsverluste auch absolut etwa 50% höher als vorher.

Sämtliche Verbrauchsdaten aus den Wärmemengenzählern sowie teilweise den Heizkostenabrechnungen wurden erfasst und witterungsbereinigt aufbereitet. Dabei lagen die Daten der zentralen Fernwärme-Zähler in der Regel als Monatswerte vor, die der Wohnungszähler lediglich als Jahreswerte. Bei den meisten Objekten mit 4-Leiter-System wird außerdem der Verbrauch des Heizungsstrangs mit einem zweiten Zähler (WMZ 2 in Bild 90) erfasst; für zwei Objekte sind hier Monatswerte verfügbar, sonst nur Jahreswerte.

Auswertung der Messwerte

In Tabelle 44 sind die wesentlichen Kenndaten und Monitoring-Ergebnisse im Überblick dargestellt. Aufgrund eines etwas besseren Sanierungsstandards schneiden die Gundlach-Objekte geringfügig besser ab als diejenigen des Spar- und Bauvereins.

Objekt	Gebäudezahl	Wohnungen	Wohnfläche [m ²]	A/V-Verhältnis	Versorgungs- und Messtechnik
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	3	24	1512	0,44	2-Leiter-System, 740 l Pufferspeicher, TWW-Bereitung in den Wohnungen, zentraler WMZ für Fernwärme, WMZ für Hzg. und TWW in den Wohnungen
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	4	32	2032	0,45	
Auf dem Hollen 15-19	3	24	1600	0,45	4-Leiter-System, zentraler 500 l TWW-Speicher, Zirkulationsleitung, 2 zentrale WMZ für Fernwärme und Heizkreislauf, Warmwasserzähler in den Wohnungen
Linsingenstr. 23-29	4	36	2124	0,40	
Linsingenstr. 31, 31a,b,c	4	32	1975	0,36	
Linsingenstr. 33-37	3	24	1193	0,42	
Linsingenstr. 46, 46 a,b,c	4	38	1832	0,46	
Hirtenweg 18-24	4	32	1900	0,43	
Summe	29	242	14168		

Objekt	"mittlerer U-Wert" H _T ' [W/m ² K]		Endenergieverbrauch für Heizung und TWW (witterungsbereinigt) [kWh/m ² a]		
	vor Sanierung	nach Sanierung	vor Sanierung	nach Sanierung	Einsparung
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	1,85	0,43	170	87	49%
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	1,85	0,45	129	71	45%
Auf dem Hollen 15-19	1,85	0,41	185	84	54%
Linsingenstr. 23-29	1,43	0,51	141	89	37%
Linsingenstr. 31, 31a,b,c	1,27	0,49	146	86	41%
Linsingenstr. 33-37	1,87	0,47	176	98	44%
Linsingenstr. 46, 46 a,b,c	1,44	0,48	161	89	44%
Hirtenweg 18-24	1,90	0,51	156	94	40%

Tabelle 44: Kenndaten und Messergebnisse der Concerto-Objekte

In Bild 91 sind die nicht witterungsbereinigten auf die Wohnfläche bezogenen monatlichen Ergebnisse der Wärmemengenzähler für vier Heizperioden im Überblick dargestellt. Die Objekte unterscheiden sich sowohl bezüglich der Maximalverbrauchs als auch hinsichtlich der sommerlichen Grundlast. Der minimale Monatsverbrauch für Heizung und Warmwasser (einschließlich Verlusten) schwankt je nach Objekt zwischen 2 und 3,5 kWh/m² und ist stark von der TWW-Versorgung geprägt. Für die beiden Objekte mit verfügbaren Monatsdaten liegen die sommerlichen Mindestwerte des Heizwärmestrangs zwischen 0 und 1 kWh/m². Im Sommer sind hier offenbar nahezu sämtliche Heizkörper abgestellt bzw. die Thermostatventile geschlossen, so dass auch keine relevanten Verteilungsverluste im Heiznetz mehr auftreten. Im Hirtenweg 24 lässt sich gut der Effekt einer Änderung der Regelungseinstellungen Ende 2008 ablesen, nach der die sommerlichen Heizungsverluste drastisch zurückgingen.

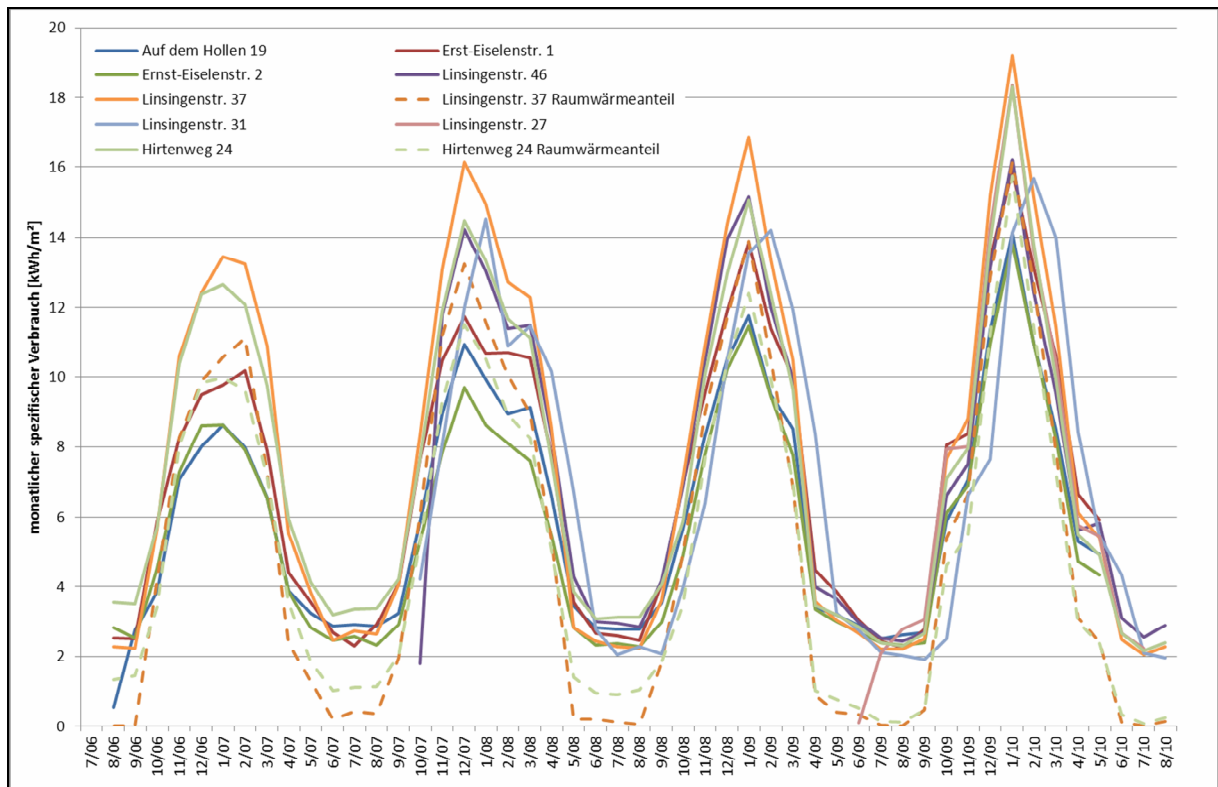


Bild 91: Monatsergebnisse der Concerto-Objekte

Energieanalyse aus Verbrauchsdaten (EAV)

Ergänzend zu den Auswertungen der Messwerte (vgl. auch die Erläuterungen zu 2-Leiter-Systemen in Kapitel 3.2.3) wurde für alle Concerto-Objekte eine Energieanalyse aus Verbrauchsdaten (vgl. Kapitel 4.3) erstellt.

In Bild 92 sind exemplarisch die verwendeten monatlichen Wärmezählerdaten eines Objekts mit 2-Leitersystem für vier Heizperioden und das damit erstellte EAV-Diagramm dargestellt.

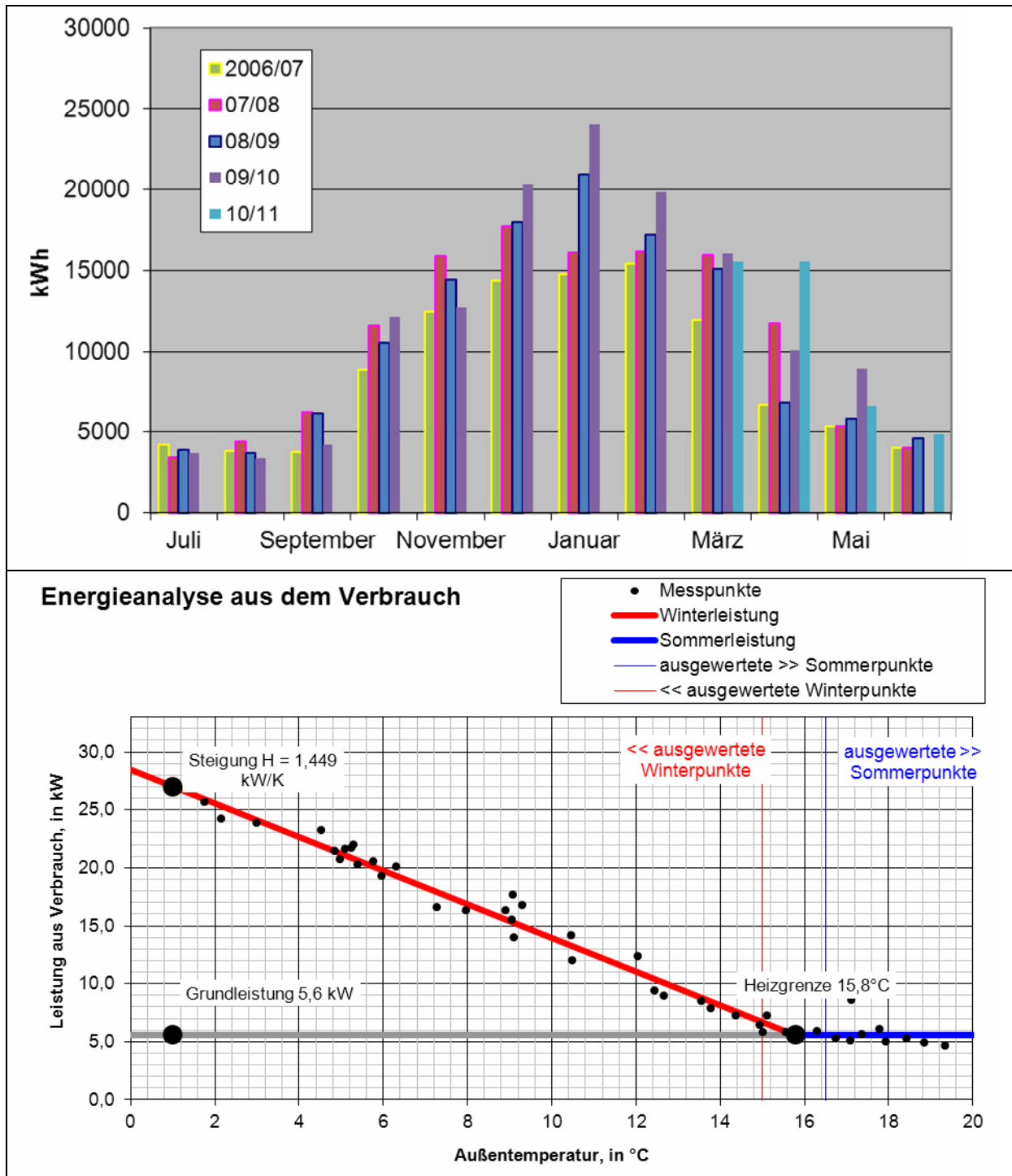


Bild 92: monatlicher Fernwärmeverbrauch (nicht witterungsbereinigt) und EAV-Diagramm für die Ernst-Eiselen-Str. 1-5 (Wohnfläche: 1512 m²)

Bild 93 zeigt im Vergleich die EAV-Ergebnisse für ein Objekt mit 4-Leiter-System, und zwar für den kompletten Fernwärmeverbrauch (oben) und für den Wärmemengenzähler des Heizstranges (unten).

In dem betrachteten Beispiel fällt die Grundlast ohne die TWW-Bereitung nahezu auf Null, was eine gute Regelung bzw. entsprechendes Nutzerverhalten (Abdrehen der Heizkörper im Sommer) voraussetzt.

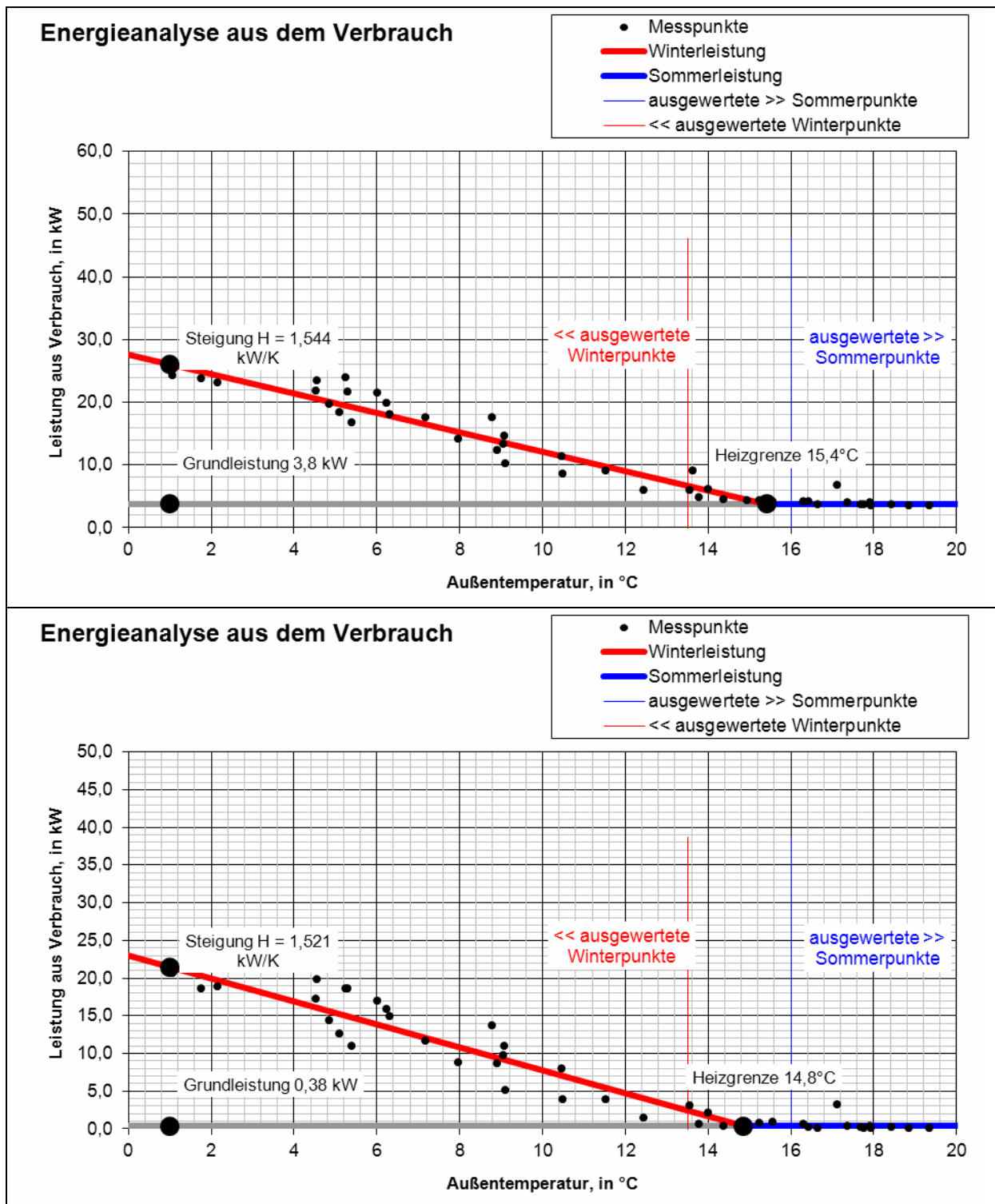


Bild 93: EAV-Diagramme für die Linsingenstr. 37 mit (oben) und ohne TWW (unten)

Aus den ausgewerteten Daten geht hervor, dass dies nicht in allen Objekten der Fall ist. Die Steigung der Verlustgeraden stimmt für beide Fälle mit guter Genauigkeit überein. Die Heizgrenze verschiebt sich (auch im zweiten auswertbaren Objekt) unter Einbeziehung der TWW-Bereitung mit den Speicher- und Verteilverlusten um etwa 0,5°C zu höheren Werten, obwohl theoretisch eher das Gegenteil der Fall sein sollte (vgl. Bild 27).

In Tabelle 45 sind die Berechnungsergebnisse für alle untersuchten Objekte im Vergleich dargestellt. Die Heizgrenze liegt mit rund 15°C etwas höher als dies für den guten Dämmstandard eigentlich zu erwarten wäre, zumal durch die teilweise relativ hohen Verteilverluste noch eine Absenkung gegenüberüblichen Verhältnissen zu erwarten gewesen wäre.

Aus dem spezifischen auf die Wohnfläche bezogenen Wärmeverlust H_{ges} lässt sich mit Hilfe des aus den EnEV-Berechnungen bekannten mittleren U-Wertes (siehe Tabelle 44) der Transmissionswärmeverlust H_T und damit als Differenz der Lüftungswärmeverlust H_V berechnen¹. Der damit korrespondierende mittlere Luftwechsel liegt mit Werten von teilweise deutlich unter $0,3 \text{ h}^{-1}$ niedriger als dies in Berechnungen häufig angenommen wird. Die Werte sind aber durchaus mit Erkenntnissen zum eher zurückhaltenden Nutzerverhalten bei dichten Gebäuden mit Fensterlüftung vereinbar.

Stichprobenhafte Luftdichtheitsmessungen nach der Sanierung haben mit n_{50} -Werten von $0,7\text{-}2,0 \text{ h}^{-1}$ gute Ergebnisse erbracht, die nur geringe Fugen-Lüftungsverluste erwarten lassen. Zumindest im Mittel über die Wohnung und bei teilweiser Abwesenheit sind damit in den meisten Fällen auch keine hygienischen oder Feuchteprobleme zu erwarten, wobei die Fälle mit Luftwechseln deutlich unter $0,2 \text{ h}^{-1}$ allerdings als grenzwertig einzustufen wären.

Objekt	max. Heizlast bei -15° [kW]	Grundleistung [kW]	Heizgrenze $[\text{°C}]$	H_{ges} $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	H_T $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	H_V $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	Luftwechsel $[\text{1}/\text{h}]$
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	50	5,6	15,8	0,958	0,708	0,250	0,24
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	58	6,83	14,2	0,863	0,732	0,131	0,13
Auf dem Hollen 15-19	53	6,33	14,7	0,975	0,701	0,274	0,27
Linsingenstr. 23-29	81	7,42	14,2	1,192	0,789	0,403	0,38
Linsingenstr. 31, 31a,b,c	71	6,82	15,1	1,072	0,726	0,347	0,31
Linsingenstr. 33-37	51	3,8	15,4	1,294	0,838	0,456	0,40
Linsingenstr. 46, 46 a,b,c	65	6,8	15,2	1,046	0,864	0,183	0,17
Hirtenweg 18-24	74	7,8	14,5	1,176	0,866	0,310	0,29
Objekt	Gesamtverbrauch $[\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}]$	Lüftungsverluste		Grundlast		WW-Nutzenergie $[\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}]$	Summe Verluste $[\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}]$
		$[\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}]$		$[\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}]$			
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	87	14	16%	32	37%	13	20
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	70	6	9%	29	42%	13	17
Auf dem Hollen 15-19	83	14	16%	35	42%	13	22
Linsingenstr. 23-29	86	19	22%	31	35%	15	16
Linsingenstr. 31, 31a,b,c	87	18	21%	30	35%	12	19
Linsingenstr. 33-37	98	25	25%	28	28%	13	15
Linsingenstr. 46, 46 a,b,c	88	10	11%	33	37%	13	20
Hirtenweg 18-24	93	15	16%	36	39%	11	25

Tabelle 45: Ergebnisse der Energieanalyse aus Verbrauchsdaten

Aus der Grundlast und der Steigung der Wärmeverlust-Geraden lässt sich mit Hilfe der Raumtemperatur (20°C) sowie der Jahresmitteltemperatur ($6,8^\circ\text{C}$) an Heiztagen (264 d/a) der jährliche Verbrauch für Heizung und TWW-Bereitung berechnen. Die Ergebnisse stimmen für alle Objekte sehr gut mit den gemessenen Werten überein.

Die Lüftungsverluste haben mit 10 bis über 20 % einen vergleichsweise geringen Anteil am Gesamtverbrauch incl. Warmwasser.

Deutlich höher fällt der Anteil der Grundlast mit knapp 30 bis über 40 % aus. Aus diesem mit Hilfe der EAV aus Messwerten abgeleiteten Größe lässt sich für die Gebäude des Spar- und Bauvereins mit dem aus den Heizkostenabrechnungen bekannten, Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung (Messwerte der Warmwasserzähler mit angenommen Temperatur von 57°C) als Differenz die Summe der witterungsunabhängigen Verluste berechnen. Für die Gundlach-Gebäude ist der TWW-Verbrauch nicht bekannt, weshalb der Mittelwert der anderen Gebäude angesetzt wurde.

¹ Prinzipiell müssten auch die Verteilverluste im unbeheizten Bereich abgezogen werden, die sich aus dem EAV-Diagramm jedoch nicht ableiten lassen. Mit ihrer Berücksichtigung würden die Luftwechselverluste bzw. die korrespondierende Luftwechselrate noch geringer ausfallen.

Die Verteilungsverluste, die wiederum zu großen Teilen auf die TWW-Zirkulation entfallen (s. u.), machen also durchgängig den größten Teil der Grundlast aus und übertreffen in allen Objekten den eigentlichen TWW-Bedarf. In den so ermittelten Werten sind die Verluste über die Heizungsverteilung innerhalb der Wohnungen allerdings nicht enthalten (vgl. dazu auch Bild 27). Ein Teil der Verluste aus den Steigesträngen kommt während der Heizzeit der Raumwärme zugute, ohne jedoch regelbar zu sein.

Auffällig ist, dass sich die Verluste in den Objekten mit 2-Leiter-System trotz etwa halbiertes Leitungslängen nicht signifikant von den übrigen Objekten unterscheiden. Darauf wird weiter unten noch näher eingegangen.

Vergleich der EAV-Ergebnisse mit Messwerten

Ein Teil der Ergebnisse aus der EAV kann mit Messwerten abgeglichen werden. So ist für die Objekte mit **2-Leiternetz** aus der Differenz zwischen zentralem Wärmemengenzähler und der Summe der Zähler in den Wohnungen unmittelbar der Verteilungsverlust bis zu den Wohnungsstationen bekannt.

Wie Tabelle 46 zeigt, liegen die aus den Messwerten abgeleiteten Verluste zumindest für zwei Objekte deutlich höher als dies aus der EAV ersichtlich ist.

Objekt	Fernwärmeübergabestation [kWh/m ² a]	Summe der Wohnungs-WMZ [kWh/m ² a]	-> Verluste [kWh/m ² a]	Vgl. EAV [kWh/m ² a]	Abweichung
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	87	63	24	20	-17%
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	71	43	27	17	-38%
Auf dem Hollen 15-19	84	53	31	22	-30%

Tabelle 46: Verteilverluste zwischen Heizzentrale und den Wohnungsstationen für Objekte mit 2-Leiter-System

Die Ursache kann demnach nur in den Verhältnissen während der Heizzeit (und ggf. einem zu hoch veranschlagten TWW-Bedarf) begründet liegen, da für diese Zeit aus dem EAV-Diagramm keine unmittelbaren Schlussfolgerungen zu den Verlusten möglich sind.

Es ist also davon auszugehen, dass die Netzverluste im Winter deutlich höher sind als im Sommer. Bei optimierter Regelung sollte dies zwar kaum der Fall sein, da die zur TWW-Bereitung erforderliche Zirkulationstemperatur von 50-60°C oberhalb von etwa -5°C auch für die Beheizung ausreicht.

Aus den in den zentralen Wärmemengenzählern abgespeicherten Daten ist ersichtlich, dass im Winter zumindest primärseitig Vorlauftemperaturen von über 100°C auftreten. Für die Wohnungsstationen liegen keine Daten vor, aber der Schluss liegt nah, dass in den Verteilungen über einen relevanten Teil der Heizperiode deutlich überhöhte Temperaturen vorliegen müssen. Nach Angabe des Herstellers der Wohnungsstationen wird statt einer Außentemperaturgesteuerten Heizkurve eine Rücklauftemperaturgesteuerte Volumenstromregelung empfohlen. Deren Funktionsfähigkeit bzw. richtige Einstellung sollte überprüft werden.

In die berechneten Verluste basieren auf einem Nutzungsgrad der Heizwärmeerzeugung von 100 %. Es ist nicht bekannt, an welcher Stelle genau die Wärmemessung in der Fernwärmeübergabestation erfolgt. Ist dies primärseitig der Fall, sind die Übertragungsverluste jedoch in den Messwerten und damit auch in der EAV-Grundlast enthalten. Bei durchschnittlich 5 % Verlusten (DIN 4701-10 gibt für TWW-Bereitung sogar eine Aufwandszahl von 0,88 an) würden sich mittlere Umwandlungsverluste von rd. 10 kWh/m²a ergeben, wodurch sich die oben ermittelten Verluste um mindestens 1/3 reduzieren würden.

Leitungslängen und berechnete Verlustleistungen

Für die Concerto-Gebäude liegen nur unvollständige und teilweise widersprüchliche Angaben zu den Verteilleitungen vor. Für die Ernst-Eiselen-Str. 1-5 und die Linsingenstr. 46 konnten die Leitungslängen von der Fernwärmeübergabestation bis zu den Wohnungen, nicht aber innerhalb der Wohnungen, aus Plänen ermittelt werden.

Im Vergleich zu den Formel-Ansätzen aus Kapitel 4.2.3 war die Übereinstimmung bei den Verteilleitungen gut (bei den Gundlach-Objekten lagen die tatsächlichen Werte 25-30 % niedriger), während die Steigestränge bis auf die Gundlach-Objekte um rd. 80 % über den Formelwerten lagen.

Auch die Angaben aus den für die energetische Bewertung durchgeführten Berechnungen nach dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) erwiesen sich als unzuverlässig, die Leitungslängen im unbeheizten Bereich lagen dort bis auf einen Fall deutlich (30-80 %) zu niedrig, was zusammen mit den zu optimistischen spezifischen Verlusten auch einen Teil der zu guten Ergebnisse der Verbrauchsberechnungen im Vergleich zu den tatsächlich erreichten Ergebnissen erklärt.

Die aus den Plänen ermittelten Leitungslängen bis zu den Wohnungsstationen betragen 0,17 m/m² Wohnfläche für das 2-Leiter-System und je 0,28 m/m² für Heizungsverteilung und TWW für das 4-Leiter-System. Damit errechnen sich Verluste im unbeheizten Bereich zwischen 8 (2-Leiter) und 15 kWh/m²a (4-Leiter) einschließlich der anteiligen Speicherverluste sowie 9 bzw. 16 kWh/m²a im beheizten Bereich (einschließlich der auf rd. 0,8 W/m² abgeschätzten Verlustleistung der Thermenersatzgeräte, aber ohne die Wohnungsverteilung).

Die Ergebnisse der Berechnungen weichen für die Grundlast in der heizfreien Zeit von den EAV-Ergebnissen aus Tabelle 45 erheblich ab, wobei relativ große objektspezifische Unterschiede bestehen (vgl. Tabelle 47). Vor allem bei 2-Leiter-Netzen werden die Verluste mit rd. 2/3 deutlich unterschätzt, während die Abweichungen bei den 4-Leiter-Netzen etwas geringer ausfallen. Mögliche Ursachen sind außer objektspezifischen Aspekten und den speziell für das 2-Leiter-System weiter unten erörterten Ursachen vor allem in überhöhten Temperaturen zu sehen.

Objekt	Heizungsverteilung		TWW-Verteilung		Leitungsverluste außerhalb der Heizperiode	
	[kWh/m ² a]		[kWh/m ² a]		[kWh/m ² a]	
	beheizt	unbeheizt	beheizt	unbeheizt	berechnet	Abweichung zu EAV
Ernst-Eiselen-Str. 1-5	35	7	8	1	6	-69%
Ernst-Eiselen-Str. 2-8	34	7	8	1	6	-65%
Auf dem Hollen 15-19	34	7	7	1	6	-72%
Linsingenstr. 23-29	32	5	22	10	11	-30%
Linsingenstr. 31, 31a,b,c	32	5	22	10	11	-41%
Linsingenstr. 33-37	32	5	23	10	11	-25%
Linsingenstr. 46, 46 a,b,c	32	5	22	10	11	-43%
Hirtenweg 18-24	32	5	22	10	11	-56%

Tabelle 47: berechnete Leitungsverluste

Für die Objekte mit **4-Leiter-Netz** können die rechnerisch ermittelten Leitungsverluste außerdem mit Messwerten für die TWW-Bereitung verglichen werden. In Tabelle 48 wird aus der Differenz der Wärmezähler für die Fernwärme und die Heizstränge der TWW-Verbrauch einschließlich der Speicher- und Verteilverluste (und der Heizungsverteilung bis zum zweiten Wärmezähler) ermittelt und daraus mit Hilfe der Warmwasserverbräuche aus der Heizkostenabrechnung der Speicher- und Zirkulationsverlust abgeleitet.

Objekt	TWW-Verbrauch incl. Verluste aus Wärmezähler [kWh/m ² a]	TWW-Verbrauch aus Heizkosten-Abrechnung [kWh/m ² a]	=> Speicher- und Zirkulationsverluste [kWh/m ² a]	Zum Vergleich: Berechnung aus Leitungslängen [kWh/m ² a]
Linsingenstr. 23-29	37	15	22	15
Linsingenstr. 31-31a	29	12	17	15
Linsingenstr. 33-37	30	13	17	15
Linsingenstr. 46-46c	34	13	21	16
Hirtenweg 18-24	29	11	19	15

Tabelle 48: Vergleich von Messwerten mit EAV-Ergebnissen für Objekte mit 4-Leiter-System

Im Vergleich zu den aus den Leitungslängen berechneten Verlusten liegt das Ergebnis i. d. R. um etwa ein Drittel höher. Die rechnerischen Verluste unterschätzen also die tatsächlichen Verluste. Ursache dürften auch hierfür höhere Temperaturen sein als angenommen, woraus sich ein entsprechendes Optimierungspotenzial ableiten lässt.

Besonderheiten des 2-Leiter-Systems

Abschließend sollen einige Besonderheiten für das 2-Leiter-System und die daraus resultierenden Verluste erörtert werden. Als mögliche Gründe für die unerwartet hohen Verluste - sowohl im Vergleich zu rechnerischen Ergebnissen als auch zu den ansonsten weitgehend vergleichbaren Objekten mit 4-Leiter-Netz mit ähnlichen Verlusten trotz doppelter Leitungslänge.

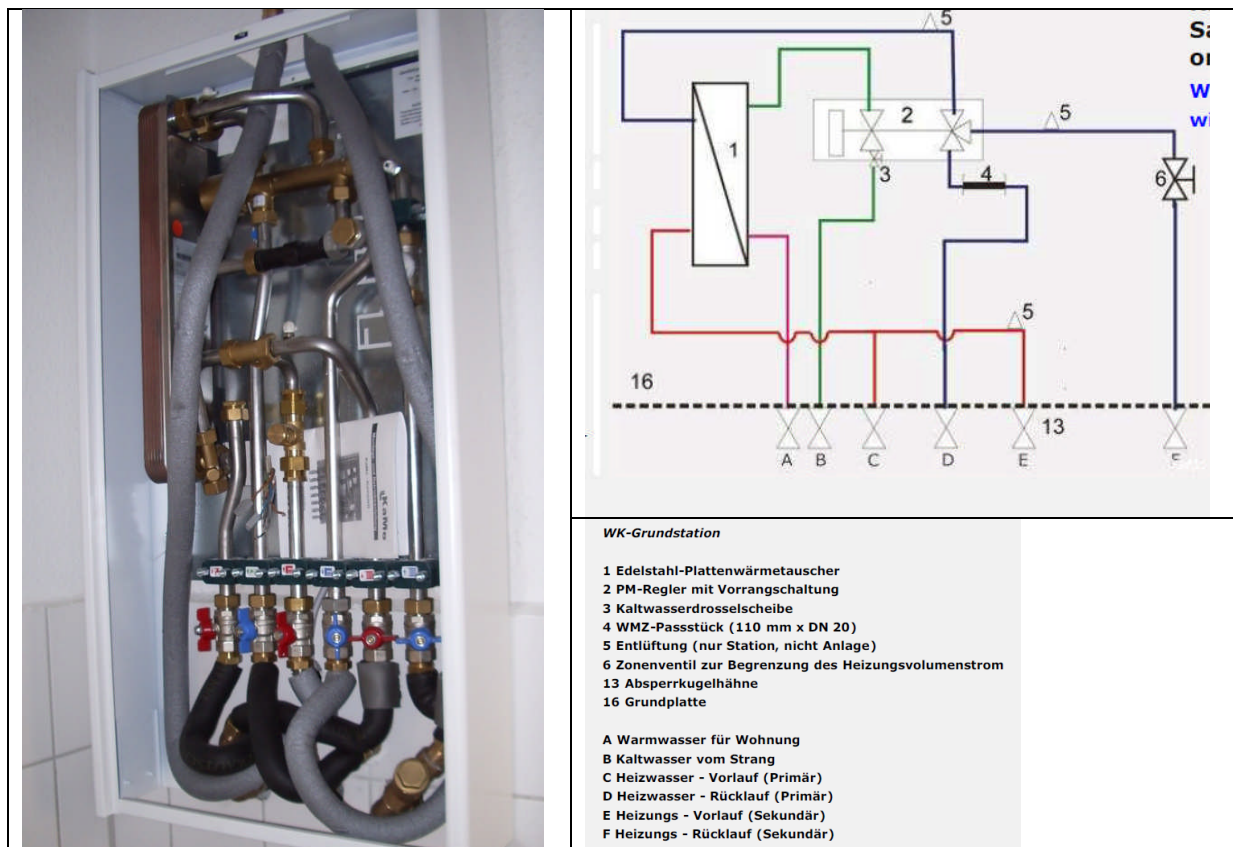


Bild 94: "Thermenersatzgerät" in Gundlach-Objekten

Wie Bild 94 zeigt, stellen die Wohnungsübergabestationen eine zusätzliche Verlustquelle durch die weitgehend ungedämmten Leitungen und den TWW-Wärmetauscher im Inneren des Gerätes dar. Während der Wärmetauscher durch einen Druckschalter gesteuert und nur bei Warmwasserzapfungen durchströmt wird, werden die Heizleitungen immer erwärmt, solange mindestens ein Heizungsventil geöffnet ist.

Im Zusammenhang mit den hohen primärseitigen Fernwärmepertemperaturen stellt dies eine potenziell hohe Verlustquelle dar, wenn die Vorlauftemperatur nicht ganzjährig soweit wie möglich heruntergeregt wird.

Da die Verluste hinter dem Wärmehler anfallen, werden sie zwar korrekt abgerechnet und sind in den o. g. Messdaten auch nicht enthalten. Sofern sie aber außerhalb der Heizzeit anfallen oder in der Übergangszeit die Raumtemperatur über das gewünschte Maß anheben sind sie als echte Verluste zu werten die auch zu der im EAV-Diagramm dargestellten Grundlast beitragen. Die durchschnittliche Verlustwärme kann pro Gerät auf ca. 50 W bzw. 0,8 W/m² Wohnfläche geschätzt werden.

Die für die TWW-Erwärmung erforderlichen ganzjährig hohen Temperaturen erhöhen ebenso die Leitungsverluste im Keller und den Steigesträngen wie dies bei unzureichender Regelung durch die hohen Fernwärme-Vorlauftemperaturen der Fall ist. Wie bereits in Tabelle 27 und Tabelle 46 dargestellt, belegen die Messergebnisse sowohl hohe sommerliche Verluste in mindestens gleicher Höhe wie der TWW-Bedarf als auch, dass die Vorlauftemperaturen während der Heizzeit weiter deutlich ansteigen.

Eine weitere Verlustquelle stellen die für die Steigeleitungen genutzten ehemaligen Schornsteine dar. Es ist nicht bekannt, ob die Schächte zum unbeheizten Dachboden geschlossen und abgedichtet wurden. In allen Heizungs-Steigeschächte (auch bei den 4-Leiter-Objekten) laufen die Leitungen zur Entlüftung weiter bis ins Dachgeschoss. Die Schächte verfügen über keine thermische Trennung zum unbeheizten Dachboden und sind dort lediglich mit Revisionsöffnungen versehen worden. Es dürfte hier zu einem Kamineffekt kommen könnte, der sowohl die absoluten Verluste erhöhen als auch den zur Raumwärme nutzbaren Anteil reduzieren würde.

Schließlich sind prinzipiell auch Mess- bzw. Ablesefehler als Ursache für die hohe Differenz zwischen dem zentralen und der Summe der Wohnungs-Wärmehler denkbar: Obwohl die eingebauten Ultraschallgeräte eigentlich im Millisekundentakt messen können, ist auf den Messprotokollen eine Temperatur-Messfrequenz von 30 s ausgewiesen. Falls dadurch kurzfristige Warmwasserzapfungen nicht korrekt erfasst würden, würden die als Differenz berechneten Verluste dadurch scheinbar erhöht werden.

Genauere Aussagen und Optimierungshinweise sind nur durch Vor-Ort-Analysen sowie ggf. Messungen und/oder tagesweise Auswertung der Wärmehler über einen längeren Zeitraum einschließlich einer repräsentativen Auswahl in den Wohnungen möglich.

FAZIT aus diesem Projekt

Durch die kombinierte Gebäude- und Heizungssanierung konnte der Energieverbrauch der Concerto-Gebäude auf das Niveau von Neubauten verbessert werden. Durch die Zentralisierung der Heizung und Umstellung auf Fernwärmeversorgung konnte eine maßgebliche Reduzierung des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen erreicht werden, auch wenn dadurch die Verluste durch die Heizungsverteilung und insbesondere die TWW-Zirkulation deutlich angestiegen sind. Die witterungsunabhängige Grundlast macht nach der Sanierung zwischen knapp 30 und über 40 % des gesamten Verbrauchs aus, wovon weniger als die Hälfte auf den TWW-Bedarf entfallen. Daraus lassen sich Verluste von 15-25 kWh/m²a ableiten, die nur teilweise für Heizzwecke nutzbar sind. Beim 2-Leiter-System betragen die zwischen Heizzentrale und den Wohnungen gemessenen Verluste 25-30 kWh/m²a.

Die Auswertung der Messwerte sowie die Energieanalyse aus Verbrauchsdaten deuten darauf hin, dass durch eine Optimierung der Regelung mit Reduzierung der Vorlauftemperaturen und im Falle der Objekte mit 2-Leiter-System Begrenzung auf 50-55°C im Sommer eine deutliche Reduzierung der Verteilverluste möglich wäre.

Es sollte daher geprüft werden, inwieweit eine Reduzierung der Heizkurve auf 55°C Vorlauf mit den vorhandenen Heizkörpern möglich ist.

Die als Steigeschächte genutzten ehemaligen Schornsteine und ihre Revisionsöffnungen müssen zum unbeheizten Dachboden verschlossen und abgedichtet werden.

Im Falle künftiger Sanierungen sollte die stärkere Dämmung der Leitungen (150 % EnEV-Anforderungen) geprüft werden, sofern die bauliche Situation dies zulässt. Auch bei den Wohnungsstationen des 2-Leiter-Systems sollten die Wärmeverluste durch geeignete Geräteauswahl und ggf. nachträgliche Dämmung minimiert werden.

5.6 Weitere Projekte

Der letzte Unterabschnitt stellt abschließend drei Projekte vor, in denen zu Sonderfragestellungen weitere Erkenntnisse gewonnen wurden.

Einerseits konnten in einem der Projekte Verteilverluste von Heizungsnetzen gemessen werden. Das zweite Projekt untersuchte die Sinnhaftigkeit von Zentralisierungen bei Gaseta- genheizungen bzw. Dezentralisierungen von Zentralheizungen. Im letzten Projekt wurden anhand des Gebäudebestandes einer Braunschweiger Wohnbaugesellschaft Kennwerte für verlegte Leitungsnetze bestimmt.

5.6.1 Halberstadt, Breiter Weg

Die Untersuchung eines Contracting-Vorhabens für mehrere Wohnblöcke einer Halberstädter Wohnbaugesellschaft führte auch zu einer Detailanalyse eines 4248 m² großen Wohnobjektes im Breiten Weg [9].

Drei der in Bild 95 skizzierten Gebäude (Baujahr 1958) á 1416 m² Wohnfläche sind nebeneinander gebaut, so dass sich ein Objekt mit insgesamt 72 WE (jeweils 59 m²) ergibt. Das Gebäude ist an Fernwärme angeschlossen. Es hat 2005 eine bauliche Teilsanierung stattgefunden, die Außenwände sind gedämmt (0,28 W/m²K).

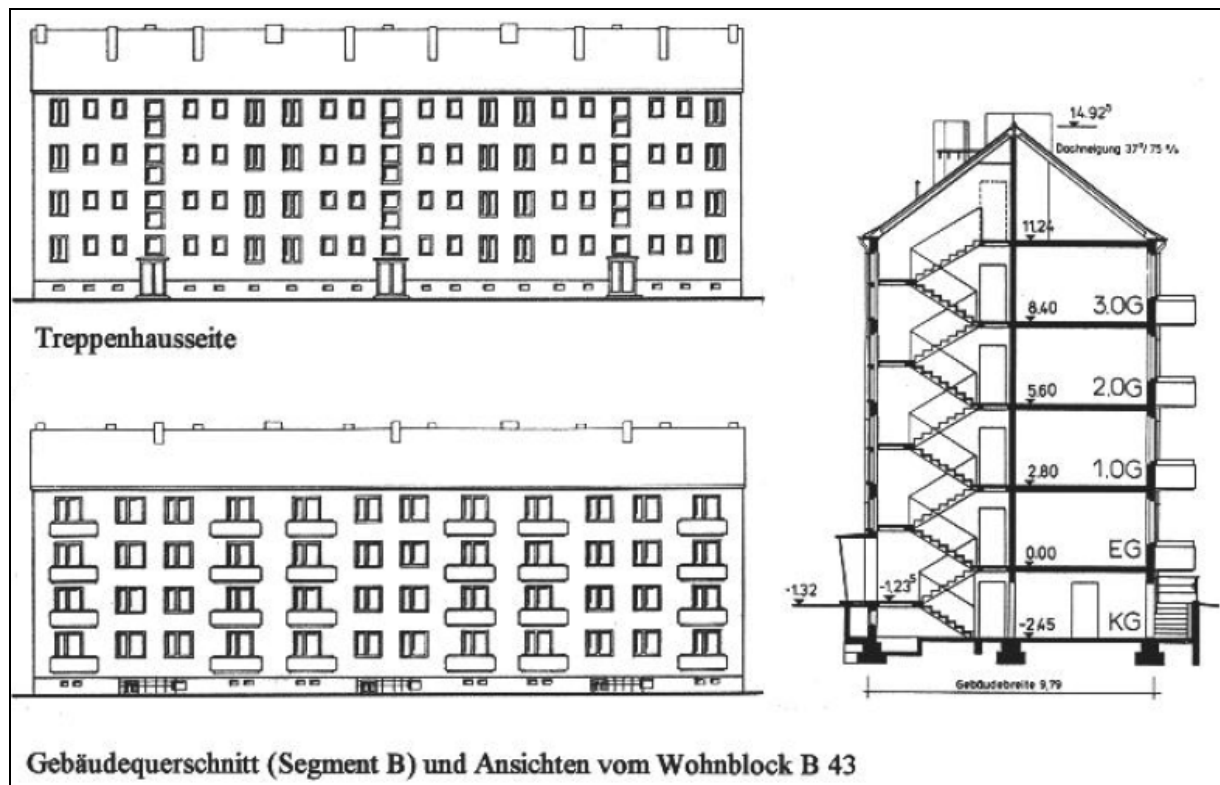


Bild 95 Gebäudeansichten und -schnitte, Halberstadt, Breiter Weg

Die Erfassung der Energiemengen zur Raumbeheizung erfolgt über fernauslesbare Wärmemengenzähler, welche sich jeweils in den einzelnen Wohneinheiten befinden.

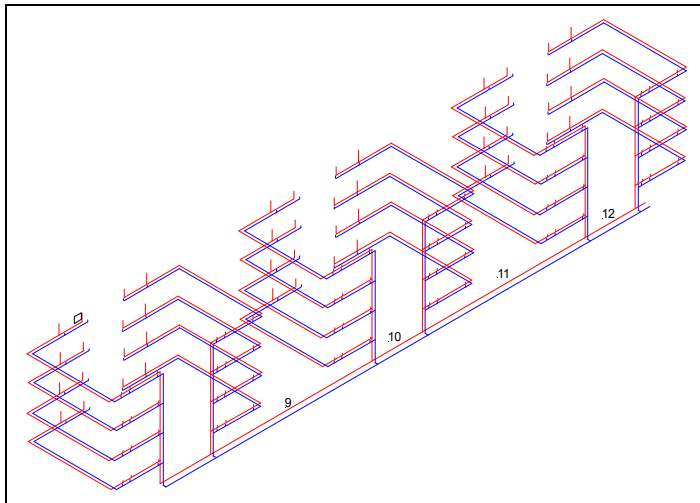


Bild 96 Skizze des Heizungsnetzes (teilweise), Halberstadt, Breiter Weg

Die Netzkennwerte wurden nicht detailliert ermittelt. Die Länge der Leitung in einer Wohnung beträgt ca. 50 m, bestehend aus 40 m waagerechter Ringleitung, 5 m Anbindeleitung und ca. 5 m Steigestrang. Der Kennwert für die im beheizten Bereich liegende Leitung liegt bei 0,85 m/m². Dazu kommt die Verteilung unter der Kellerdecke entlang der Länge des Gebäudes.

Über einen separaten Wärmeübertrager und insgesamt 2250 Liter Warmwasserspeichervorrat erfolgt die Warmwasserversorgung mit permanenter Zirkulation, seit der Sanierung ebenfalls zentral. Der Warm- und Kaltwasserverbrauch wird über Wohnungswasserzähler erfasst.

An der Fernwärmeübergabestation befindet sich ein zusätzlicher Wärmemengenzähler, von dem die bereitgestellte Endenergie abgelesen werden kann.

Messwerte

Die Endenergiemenge an der Gebäudegrenze für das Jahr 2005 beträgt witterungsbereinigt 619 MWh/a. Aufteilung nach gezählter Nutzwärme in den Wohnungen (Warmwasserzähler und Wärmemengenzähler) und Verlusten bis zur Wohnungszählung:

- Nutzen: 464 MWh/a – 109,2 kWh/(m²a)
- Verluste: 155 MWh/a – 36,5 kWh/(m²a)

Der Anteil der Verluste umfasst alle Leitungsteile des Trinkwarmwassernetzes im beheizten und unbeheizten Bereich sowie alle Wärmeverluste des Heiznetzes bis einschließlich des Steigestranges.

Aufteilung der Nutzwärmemenge nach Gewerken:

- Nutzen: 464 MWh/a – 109,2 kWh/(m²a)
- davon Heizung: 367 MWh/a – 86,4 kWh/(m²a)
- und Trinkwarmwasser: 97 MWh/a – 22,8 kWh/(m²a)

Aufteilung des Verlustkennwertes auf die Netze

Die beiden Netze, die zu den Wohneinheiten führen, sind fast gleich lang. Jedoch ist das Trinkwarmwassernetz höher temperiert und ganzjährig länger in Betrieb als das Heiznetz. Es wird von ca. 60°C Trinkwarmwassertemperatur im Speicher, aber nur ca. 50°C mittlerer Auslegungsnetztemperatur in der Heizung ausgegangen.

Alle Leitungen im Keller sind gut gedämmt. Im beheizten Bereich sind die Trinkwarmwasserleitungen gut gedämmt, während die Heizungsleitungen vermutlich ungedämmt sind.

Mit Hilfe von Bild 10 werden längenbezogene Heizleitungsverluste bestimmt. Aus Bild 15 erfolgt dies für die Trinkwarmwasserbereitung:

- Heizung, unbeheizt: 25 kWh/(m · a)
- Heizung, beheizt: 60 kWh/(m · a)
- Trinkwarmwasser, unbeheizt: 100 kWh/(m · a)
- Trinkwarmwasser, beheizt: 80 kWh/(m · a)

Etwa die Hälfte der Gesamtleitungslänge zwischen Hauptzähler und Wohnungswärmemengenzähler der Heizung liegt im unbeheizten Bereich. Im Falle der Trinkwarmwasserbereitung ist dies etwa ebenso. Im Mittel kann daher davon ausgegangen werden, dass die Verluste sich zu $\frac{1}{3}$ auf die Heizung und $\frac{2}{3}$ auf die Trinkwarmwasserbereitung aufteilen.

- Verluste insgesamt: 36,5 kWh/(m²a)
- davon Heizung: 12,2 kWh/(m²a)
- und Trinkwarmwasserbereitung: 24,3 kWh/(m²a)

Bei der Trinkwarmwasserbereitung entfällt fast die Hälfte aller Verluste auf Leitungsteile im Keller, bei der Heizung nur 30 % auf Leitungen im Keller:

- Verluste Heizung: 12,2 kWh/(m²a)
- davon unbeheizt: 3,6 kWh/(m²a)
- und beheizt: 8,6 kWh/(m²a)

- Verluste Trinkwarmwasser: 24,3 kWh/(m²a)
- davon unbeheizt: 13,5 kWh/(m²a)
- und beheizt: 10,8 kWh/(m²a), d.h. ca. 7,6 kWh/(m²a) in der Heizperiode

Einordnung der Kennwerte

Das Trinkwarmwassernetz weist mit 22,8 kWh/(m²a) Nutzwärmemenge und 24,3 kWh/(m²a) Verlusten eine gerade noch akzeptable Endenergiebilanz auf. Der Nutzungsgrad liegt bei 48 %. Der Speicher wurde nicht separat bewertet. Das Trinkwarmwassernetz ist mit knapp 50 % Nutzungsgrad der Endenergie durchschnittlich. Hier war der Verbleib an Fernwärme sinnvoll.

Für die Heizung stehen zur Verfügung: die Wärmeabgabe von Heizkörpern und Ringleitung in der Wohnung mit 86,4 kWh/(m²a), darüber hinaus die Abwärme der Heizungssteigestränge mit 8,6 kWh/(m²a) und die Abwärme der Trinkwarmwasserleitungen im beheizten Bereich von ca. 7,6 kWh/(m²a) in der Heizperiode. Der Gesamtkennwert von 102,6 kWh/(m²a) erscheint hoch, wenn man die bereits vorhandene Außenwanddämmung bedenkt.

Das Heiznetz weist eine hohe Verlegedichte auf. Die Wärmemengenzählung pro Wohnung erfolgt so, dass die Wärmeabgabe der Ringleitung und der Heizkörper zusammen gezählt werden.

Die Wärmeverluste nur der Steigestränge für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung betragen zusammen 19,4 kWh/(m²a). Es kann davon ausgegangen werden, dass hier lokale Überwärmung am Verlegeort (Küche, Bäder) stattfindet. Im obersten Geschoss wird dies nicht festzustellen sein, weil die Stränge dort enden.

Steigestränge in Netzen dieser Bauart sollten in jedem Fall auch innerhalb des beheizten Bereichs wärme gedämmt werden.

5.6.2 Wolfenbüttel, Ahlumer Siedlung

Für eine Wolfenbütteler Wohnbaugesellschaft hat eine Studie Potentiale zur Dezentralisierung oder Zentralisierung der Gebäudeheizungen untersucht [6]. Es handelte sich um 69 Gebäude der Baujahre 1955 bis 1973 in der Ahlumer Siedlung.



Bild 97 Verschiedene Gebäude in der Ahlumer Siedlung

Für die 407 Wohneinheiten auf 25.875 m² Wohnfläche lagen Verbrauchswerte vor. Der durchschnittliche Verbrauch von 187 kWh/(m²a) schwankte in den einzelnen Abrechnungseinheiten (Gebäude mit Zentralheizung oder Wohnung mit Etagenheizung) zwischen 126 und 253 kWh/(m²a).



Bild 98 Ahlumer Siedlung im Überblick

Die Gebäude liegen teils zusammenhängend, teils mit erheblichen räumlichen Abständen in der Siedlung, siehe Bild 98. Generell kommen innerhalb der Studie für die Wärmeerzeugung folgende Lösungen in Frage:

- wohngebietszentral
- gebäudezentral (wasser- oder luftbasiert)
- wohnungszentral (wasser- oder luftbasiert)

Insellösungen und Nahwärme

Die gebäude- und wohnungszentrale Aufstellung von Erzeugern ist bereits im Bestand annähernd gleich verteilt. Das untersuchte Gebiet der Ahlumer Siedlung weist 31 Gebäude mit Etagenheizung und 38 mit Zentralheizung auf. Weiterhin liegt eine durchmischte Verteilung der beiden Anlagenkonzepte im untersuchten Gebiet vor, was die Zusammenfassung einzelner Gebäude für eine eventuelle Inselheizzentrale erschwert – siehe Bild 99.



Bild 99 Verteilung von Zentralheizungen und Etagenheizungen

Eine sinnvolle Bildung einer zentralen Inselheizzentrale ist aufgrund der vorhandenen Verteilung nur mit erheblichem Investitionsaufwand ohne sichtbaren mittelfristigen energetischen Nutzen möglich, da zumeist Etagen- und Zentralheizungen durchmischt vorliegen. Sie wird nicht weiter untersucht.

Die zukünftig zu erwartende immer niedriger werdende Anschlussdichte in der Siedlung spielt die entscheidende Rolle für die Empfehlung, kein Nahwärmekonzept zu etablieren. Ganzjährig hohe Verluste von mindestens 10 bis 15 kWh/m²a (Standardwerte des Instituts Wohnen und Umwelt) – wahrscheinlich aber höhere Werte - sind in einem neuen Nahwärmenetz zu erwarten.

Für das untersuchte Gebiet in der Ahlumer Siedlung sind Inzellösungen mit Kompaktheizzentralen für mehrere Gebäude beim derzeitigen Wissensstand aufgrund zu hoher ganzjähriger Verteilverluste und geringer Anschlussdichte nicht sinnvoll. Dies gilt auch, wenn zusätzlich die Installation eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) für die Grundlastauslegung zusätzlich zu einer Kesselzentrale vorgesehen wird.

Gebäude- oder wohnungszentrale Versorgung

Die weitere Betrachtung des Projektes "Ahlumer Siedlung" betrifft Konzepte mit wohnungs- bzw. gebäudezentraler Versorgung. Beide Varianten ergeben aus wirtschaftlicher Sicht sehr nah bei einander liegende Lösungen.

Die wohnungszentrale Anordnung neuer Brennwertgeräte mit einer besseren Effizienz gegenüber ca. 3 – 10 Jahre alten Wärmeerzeugern hat auch auf der Grundlage jüngst veröffentlichter Studien sowie nach Vergleichsrechnungen auf Basis anerkannter technischer Richtlinien in vielen Fällen energetische Vorteile.

Die "gefühlte Unabhängigkeit der Nutzer" spielt weiterhin eine entscheidende Rolle, da jeder Bewohner seine Gasabrechnung selbst "kontrollieren" kann. Die Beibehaltung eines Konzepts mit Etagenheizung ist mit höheren Investitions- und Wartungskosten verbunden.

Im Falle einer Zentralisierung von Etagenheizungen kann sich das genannte Verhältnis aus Endenergiebedarf und Kosten umkehren. Bei einer Umstellung von Etagen- auf Zentralheizungen sind Verteil- und Steigeleitungen nachzurüsten. Bei vorhandenen Gasetagenheizungen ist die Sanierung der Gasverteilung zu prüfen.

Die Studie [6] kommt zu dem Ergebnis, dass es sinnvoll ist, bereits bestehenden Bedingungen zu belassen. Bereits zentralisierte Gebäude sollten belassen werden, da ein Rückbau unwirtschaftlich und nicht sinnvoll wäre. Gebäude mit Etagenheizungen können ebenfalls die bisherige Art der Beheizung beibehalten. Beide Varianten unterscheiden sich aus wirtschaftlicher Sicht kaum. Zum Vergleich der Varianten unter nicht-monetären Gesichtspunkten wird in dieser Untersuchung eine ausführliche Bewertungsmatrix präsentiert.

Unter ökologischen Aspekten kann eine Zentralisierung trotz höherer endenergetischer Aufwendungen sinnvoll sein, wenn damit der Anschluss an Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder der Einsatz regenerativer Energien ermöglicht wird.

In jedem Fall werden Anlagen mit Brennwerttechnik und mit Hocheffizienzpumpen empfohlen. Solarthermie soll erst im Zuge einer kompletten Anlagenmodernisierung eingebaut werden (grenzwirtschaftlich). BHKW werden nur mit einer Voruntersuchung zum Strom- und Wärmebedarf empfohlen. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass der Bedarf an Wärme über die geplante Laufzeit des BHKW erhalten bleibt.

5.6.3 Kennwerte für Warmwasser- und Heiznetze

Bei der systematischen Auswertung großer Teile des Gebäudebestandes einer Braunschweiger Wohnbaugesellschaft im Rahmen von 2 Diplomarbeiten sollte festgestellt werden, wie sich bestimmte Gebäudekompaktheiten und Gebäudegrößen auf die Effizienz durchgeführter Modernisierungen auswirken [20].

Für die Gebäude sind Verbrauchswerte bekannt sowie Pläne und ggf. technische Unterlagen. An dieser Stelle sollen nur die Erkenntnisse zu installierten Netzen und Verbrauchsmengen zusammengestellt werden. Aus dem Gebäudebestand werden 8 Gebäude gewählt, die vollständig dokumentiert sind, siehe Bild 100.



Pregelstraße



Saarstraße 1



Warndtstraße



Saarstraße 6



Am Queckenberg



Wasserkamp



Kriemhildstraße



Okerstraße

Bild 100 Gebäude als Grundlage für weitere Kennzahlen

Trinkwarmwassernetze

Die Leitungsnetze der Trinkwarmwasserversorgung wurden vollständig hinsichtlich der Leitungslängen und Durchmesser erfasst, siehe Tabelle 49. Es kann eine Verlegedichte bestimmt werden. Bei den lang gestreckten Gebäuden ergeben sich größere Kennwerte.

	WE	beheizte Fläche A_{EB}		gemessene Dauerleistung Q_{TWW}		Leitungslänge, Warmwasser, mit Zirkulation, in m			Zapfleitungslänge, in m	Summe Leitungs- länge, in m	Kennwert m/m ²
		m ²	m ² /WE	kW	W/m ²	DN 10- 15	DN 20- 32	DN 40- 65			
Saarstr. 1	4	238,6	59,7	1,0	4,0	16	24		16	56	0,23
Warndtstr. 1	4	258,4	64,6	1,2	4,5	15	17		14	46	0,18
Pregelstr. 5	4	307,1	76,8	1,5	5,0	20	20		20	60	0,20
Saarstr. 6	4	371,6	92,9	2,2	5,9	22	28		16	66	0,18
Am Queckenberg 21-23	21	1235,0	58,8	7,0	5,6	126	80	50	84	340	0,28
Kriemhildstr. 1-4	24	1242,5	51,8	9,5	7,6	84	252		96	432	0,35
Im Wasserkamp 1-6	42	2489,2	59,3	11,4	4,6	252	160	100	168	680	0,27
Okerstr. 8a-b	98	4581,0	46,7	21,6	4,7	107	107		428	642	0,14

Tabelle 49 Rohrlängen Trinkwarmwasser und Trinkwarmwasserleistung

Zusätzlich sind für die Gebäude aus Wärmemengenmessungen die Trinkwarmwasserverbrauchsanteile bekannt. Diese sind in Dauerleistungen umgerechnet, welche ebenfalls Tabelle 49 zu entnehmen sind. Diese Dauerleistungen hängen vom Nutzerverhalten, der Belegungsdichte, aber auch von den Leitungsnetzen und zugehörigen Verlusten ab.

Eine grafische Auswertung der Kennwerte zeigt Bild 101. Es ist zu erkennen, dass die Werte streuen. Um eine statistische Sicherheit zu erreichen, müsste die Stichprobe viel größer sein.

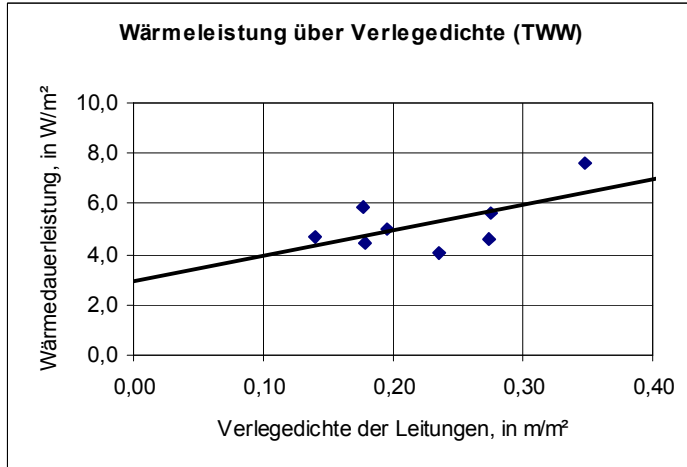


Bild 101 Trinkwasserwärmeleistung über Verlegedichte

In den untersuchten Mehrfamilienhäusern liegt die Verlegedichte um 0,2 m/m² bei einer Dauerleistung von 5 W/m² für Nutzwärmemenge und alle Verluste (außer dem Erzeugerverlust). Es wird anhand aller Praxiserkenntnisse vermutet, dass ca. 2 ... 2,5 W/m² Nutzwärmemenge sind.

Heizungsnetze

Das Heiznetz wurde nur im unbeheizten Bereich mit Länge und Dimension erfasst. Es ist in Tabelle 50 erkennbar, dass die lang gestreckten Gebäude etwas mehr Leitungslänge im Keller aufweisen als die kleinen bzw. hohen.

	beheizte Fläche A_{EB}	Geschosse	Fläche einer Ebene	Leitungslänge Heizung, in m				Kennwert m/m^2
	m^2		m^2	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	Summe	
Saarstr. 1	238,6	2	119	10	26		36	0,15
Warndtstr. 1	258,4	2	129	20	12		32	0,12
Pregelstr. 5	307,1	2	154	8	75		83	0,27
Saarstr. 6	371,6	2	186	22	36		58	0,16
Am Queckenberg 21-23	1235,0	3	412	20	188	71	279	0,23
Kriemhildstr. 1-4	1242,5	3	414	20	210	114	344	0,28
Im Wasserkamp 1-6	2489,2	3	830	40	376	142	558	0,22
Okerstr. 8a-b	4581,0	8	573	75	139	153	367	0,08

Tabelle 50 Rohrlängen Heizung

Die Darstellung in Bild 102 bestätigt dies: die Etagenfläche eines Geschosses (näherungsweise die Nettogrundfläche des Kellers) bestimmt bei den ausgewerteten Gebäuden die Leitungslänge.

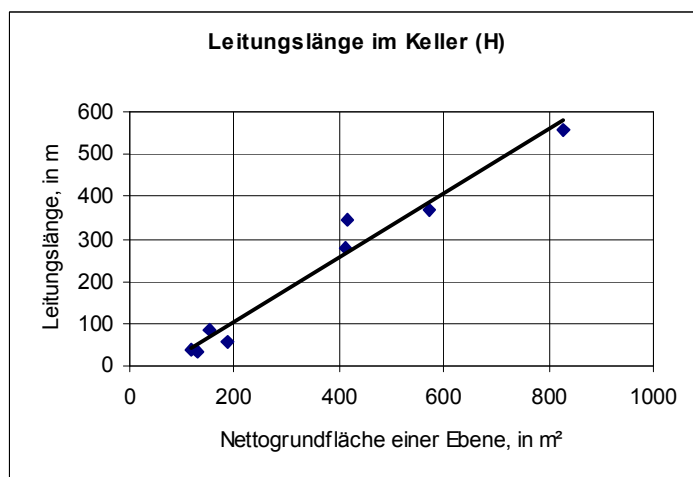


Bild 102 Leitungslängen im Keller abhängig von der Nettogrundfläche einer Etage

Ein typischer Kennwert für Verlegedichten von Heizleitungen im Keller liegt bei 0,2 m/m². Die Auswertungen zeigen, dass der Wert geringer sein kann, wenn das Gebäude eine hohe Bauform hat.

5.7 Zusammenfassung der Praxisprojekte

Die Auswertung der Praxisprojekte lässt einige Verallgemeinerungen zu. Tabelle 51 zeigt zunächst die vorgefundenen Kennwerte sowie Empfehlungen zu den beiden Netzen für Heizung bzw. Trinkwarmwasser.

Gebäude	Baujahr (Jahr der Modernisierung)	Hauseingänge	Etagen	Netztyp Heizung, Ein- oder Zweirohrheizung	Verlegedichte Heizung insgesamt, in m/m ²	Verlegedichte Heizung im beheizten Bereich, in m/m ²	Anteil geregelter Wärmeabgabe (in Klammern: nach Modernisierung)	Empfehlung Heizung (bei NEH-Standard des Gebäudes)	Netztyp Warmwasser	Verlegedichte Warmwasser insgesamt, in m/m ²	Verlegedichte Warmwasser im beheizten Bereich, in m/m ²	Nutzungsgrad (in Klammern: nach Modernisierung)	Empfehlung Trinkwarmwasser (bei NEH-Standard des Gebäudes)
Papenkamp	1998	2	4	II Z	0,89	0,81	44 %	unverändert belassen, aber künftig besser dämmen & kürzer bauen	I	0,39	0,26	42 %	belassen (wegen Fernwärme aus KWK)
Boizenburger Straße	1978, 1998	7	5	III Z	0,69	0,49	58 %	Steigestränge in Bad/Küche nachdämmen	I	0,25	0,19	57 %	Steigestränge in Bad/Küche dämmen
Mettlacher Straße	1930er (künftig)	2	2	I Z	0,92	0,82	70 % (48 %)	Leitungen in Bad und Küche nachdämmen	I	0,34	0,24	50 %	alle Leitungen nachdämmen
Behringstraße	1960er (künftig)	4	3	III Z	0,56	0,31	72 % (38 %)	keine		0,34	0,20	38 %	elektrische Warmwasserbereitung
Stettinstraße	1965 (künftig)	2	3	I Z	1,21	1,08	51 % (35 %)	Leitungen im beheizten Bereich nachdämmen	I	0,38	0,25	49 % (51 %)	alle Leitungen nachdämmen
Neuerode	1900, 2009	1	3	III Z	0,47	0,29	58 % (56 %)	Rückbau der ehem. Schwerkraftheizung und Neuinstallation	I	0,22	0,13	20 %	elektrische Warmwasserbereitung
Salzkoth	1911 (künftig)	1	3	III Z	0,88	0,59	12 % (29 %)	Rückbau der ehem. Schwerkraftheizung und Neuinstallation	I	0,21	0,12	33 % (49 %)	alle Leitungen nachdämmen
Obersstraße	1973	5	3	---	k. A.	k. A.	k. A.	keine solare Heizungsunterstützung	---	k. A.	k. A.	33 %	elektrische Warmwasserbereitung
Allensteinstraße	1968	2	4	---	k. A.	k. A.	k. A.	keine solare Heizungsunterstützung	---	k. A.	k. A.	49 %	Netz ggf. Nachdämmen, aber zentral mit Solar
Wurmbergstraße	1935, 2010	5	3	---	k. A.	k. A.	k. A.	keine solare Heizungsunterstützung	---	k. A.	k. A.	38 % (47 %)	Belegungsichte verbessern, aber zentral mit Solar
Barnestraße	1960er, 2000	3	3	I E	0,58	0,49	39 % (64 %)	nachdämmen der Steigestränge und Ringleitung	III	dez.	dez.	~100%	dezentral belassen
Emsstraße	1994 (künftig)	1	6	E/Z	k. A.	k. A.	k. A.	näher untersuchen, vermutlich Rückbau und Neuinstallation	---	k. A.	k. A.	~50%	belassen, aber ggf. nachdämmen
Kaulsdorf	1970er 1998	?	5 6	III Z	k. A.	0,5	~50%	Netz belassen	I	k. A.	k. A.	40...50 %	belassen, aber ggf. nachdämmen
Kaulsdorf	1970er 1998	?	11 14	III E	k. A.	0,3	~15%	Wärmedämmung aller Steigestränge auf 100%	I	k. A.	k. A.	50...75 %	belassen, aber ggf. nachdämmen
Halberstadt	1958, 2005	9	4	I Z	k. A.	0,85	k. A.	Steigestränge in Bad/Küche nachdämmen	I	k. A.	k. A.	~50%	belassen, aber ggf. nachdämmen

Tabelle 51 Zusammenfassung der Ergebnisse der Praxisprojekte

Für alle Netze einheitlich gilt die Empfehlung, Leitungsteile in den unbeheizten Räumen mit 100 % oder mehr Dämmdicke zu versehen. Dies wurde nicht jeweils separat vermerkt.

Heizung

Die Heizungsanlagen wurden unter der Maßgabe betrachtet, ob sich im Falle baulicher Änderungen (Verbesserung des Wärmeschutzes auf Niedrigenergieniveau) noch akzeptable Versorgungszustände einstellen. Nicht akzeptabel wären lokale oder großflächige Überverordnungen der Räume allein aufgrund der Wärmeabgabe der Rohrnetze. Eine Gegenmaßnahme wäre die Leitungsdämmung, alternativ der Rückbau.

Für die untersuchten **ehemaligen Schwerkraftheizungen** mit großen Leitungsquerschnitten ergab sich in beiden Fällen eine Empfehlung zum Rückbau, wenn das Gebäude modernisiert wird. Es ergeben sich bereits im Bestand sehr große ungerichtete Wärmemengen der ungedämmten Leitungen. Dieser Effekt verschärft sich nach einer baulichen Modernisierung. Die ungerichtete Wärmeabgabe ließe sich durch Wärmedämmmaßnahmen an Steigesträngen und Anbindeleitungen begrenzen. Jedoch ist die bauliche Umsetzung in beiden Fällen fragwürdig. Außerdem ergeben sich auch mit wärmegeämmten Rohren keine optimalen Verhältnisse.

Für die Gebäude mit **Einrohrheizung** wurde empfohlen die Leitungen in den Wohnungen nachzudämmen. Da in beiden Fällen bereits eine bauliche Modernisierung stattgefunden hat, ist die geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen extrem klein und die Rohrwärmeabgabe hoch. Es kommt zu Überwärmung und Mehrverbrauch aufgrund von Ablüften der Überschüsse. Die Dämmung der Ringleitung (mit kleinem Durchmesser) auf der Sockelleiste im einen Fall bzw. der größer dimensionierten Steigleitungen in den Raumecken im anderen Fall lässt sich baulich machen.

Für die Gebäude mit klassischer **2-Rohrheizung als Etagenringtyp** ergab sich zweimal die Empfehlung zum Nachdämmen der Steigleitungen in Bädern, Küchen oder Fluren, damit es nicht zur lokalen Überwärmung kommt. Nur einmal – bei einer extrem hohen Verlegedichte von $1,08 \text{ m/m}^2$ im beheizten Bereich – wurde eine Dämmempfehlung für alle Etagenleitungen ausgesprochen.

Ebenfalls häufig tritt die **2-Rohrheizung als Steigestrangtyp** in der Praxis auf. Hier wurde für den Fall einer Gebäudemodernisierung auch empfohlen, die Steigestränge auf 100 % zu dämmen. Das gilt in jedem Falle für Leitungen in Bädern und Küchen bzw. andere Räume mit einer hohen Verlegedichte von Rohren (auch in Schächten). Bei einer Verlegedichte von mehr als $0,5 \text{ m/m}^2$ im beheizten Bereich werden alle Leitungen zur Nachdämmung empfohlen. Sofern die Leitungen unter Putz in der Konstruktion liegen und wenigstens 25 % Dämmdicke aufweisen, kann das Netz so bleiben.

Die Verlegung von **2-Rohrheizungen mit Estrichverteiler** kam nur in zwei der untersuchten Praxisanlagen vor. Es handelt sich um ein typisches Neubausystem. Die Leitungsverlegedichte ist hoch und die Leitungen nicht mehr zugänglich. Modernisierungen wurden hier daher nicht empfohlen. Allerdings sind bei künftigen Projekten insbesondere in Fluren, Bädern und Küchen (Ablufträume, Räume mit wenig Bedarf) auch die Anbindeleitungen im Estrich zu dämmen. Es kommt zu lokaler Überwärmung und auch Mehrenergiebedarf.

Trinkwarmwasserbereitung

Die endenergiebezogenen Nutzungsgrade bei den zentralen Warmwassernetzen liegen in allen Projekten bei etwa 50 %. Dieser Wert lässt sich durch Leitungsdämmung kaum verbessern. Nur in seltenen Fällen bei Gebäuden mit großer Höhe ergeben sich bessere Werte (über 60%). Fehlt die entsprechende Nutzerstruktur (Abnahme) ergeben sich Werte auch sehr weit unter 50 %.

Es zeigt sich, dass die Empfehlung zur Umstellung auf elektrische Warmwasserbereitung trotzdem selten vorkommt. Tritt dies auf, handelt es sich um relativ flache (max. 3 Wohngeschosse), lang gestreckte (mindestens 4 Hauseingänge) Wohnblöcke. Alternativ ergibt sich diese Empfehlung bei Nutzungen, die stark vom Wohnbau abweichen und zu deutlich weniger Nutzwarmwasserabnahme führen.

Es kann die allgemeine Empfehlung zur Nachdämmung von Leitungen ausgesprochen werden. Das betrifft zuerst die Leitungen im Keller, danach Steigestränge. In beiden Fällen sollten 100 % Dämmdicke erreicht werden. Bei den Steigesträngen werden Überwärmungseffekte in Bädern und Küchen hierdurch vermindert.

Das Nachdämmen nicht zirkulierender Leitungsteile wird auch empfohlen, wobei klar ist, dass der nächste allgemeine Sanierungszyklus dafür genutzt werden muss, wenn die Leitungen unter Putz liegen.

Solarthermie

Bei den drei Anlagen mit solarer Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung konnte festgestellt werden, dass die solaren Beiträge zur Trinkwarmwasserbereitung eher gering ausfallen. Es darf daher vermutet werden, dass die Kollektorfelder so klein sind, dass der Betrag zur Heizungsunterstützung praktisch nicht vorhanden ist.

Rückblickend betrachtet ist die Heizungsunterstützung mit den Anschaffungs- und laufenden Energiekosten (anteilige Speicher- und Netzverlusten, Regelungs- und Pumpenstromaufwand) fragwürdig. In zwei der drei Fälle wäre eine reine solare Trinkwarmwasserunterstützung empfehlenswert, in der dritten Anlage ein System ohne jegliche Solarthermie (elektrische Durchlauferhitzer).

Dezentralisierung

Es wurde nicht geprüft, ob ein System mit Wohnungsübergabestationen oder Etagenheizung sinnvoller gewesen wäre.

6 Untersuchungen zu De/zentralisierung

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich anhand eines typisierten Mehrfamilienhauses mit 1000 m² Wohnfläche mit der Frage, unter welchen Randbedingungen sich eine zentrale oder eine dezentrale Versorgung lohnen. Die zentrale Fragestellung lautet: welche Wärmeerzeugerverluste darf die Zentralanlage höchstens aufweisen (welchen Nutzungsgrad muss sie mindestens aufweisen), damit die Endenergiebilanz nicht schlechter wird als bei Dezentralversorgung.

Der Abschnitt beschreibt zunächst das Gebäude, die gewählten Randdaten und die Variationsgrößen (Dämmstandards, Netztypen). Anschließend werden die Ergebnisse interpretiert und – soweit möglich – verallgemeinert.

Es handelt sich um eine exemplarische Betrachtung. An dieser kann gezeigt werden, welche Vorgehensweise zielführend sein kann, um auch über das Projekt hinaus die Thematik weiter zu verfolgen. Die Schwächen des derzeitigen Rechenmodells werden aufgezeigt.

6.1 Ziel und Vorgehensweise

Ein im Geschosswohnbau viel und oft diskutiertes Thema ist die Fragestellung nach dem Aufstellort des / der Wärmeerzeugers: ein Wärmeerzeuger im beheizten Bereich je Wohnung (dezentral) oder ein Wärmeerzeuger für die Gesamtheit der Wohnungen meist im unbeheizten Bereich (zentral).

Die zentrale Aufstellung eines Wärmeerzeugers für ein gesamtes Gebäude hat den Vorteil, dass er aufgrund einer vermeintlich besseren Auslastung weniger Verluste wie z.B. Stillstandsverluste / Bereitschaftsverluste aufweist. Dem gegenüber stehen jedoch die Argumente, dass dieser Wärmeerzeuger im unbeheizten Bereich (meist Keller oder Dachboden) aufgestellt wird und dass aufgrund der geometrischen Anordnung im Gebäude weitere Verteilverluste des hier erforderlichen Rohrleitungssystems und Speicherverluste des Warmwasserspeichers hinzukommen.

Weiterhin ist festzustellen, dass moderne wandhängende Brennwertgeräte aufgrund ihrer gut gedämmten Ausführung und ihres hohen Modulationsbereichs heutzutage geringere technische Verluste aufweisen und somit effizienter betrieben werden können als ihre dezentralen Vorgänger vor ca. 10 oder 20 Jahren.

Für ein idealisiertes Modellgebäude werden unterschiedliche Variationen von Gebäudestandards, unterschiedlichen Verteilsystemen (zentral/dezentral & gut/schlecht gedämmt) und Erzeugern gegenübergestellt. Es wird untersucht, wie sich die Verteilverluste gegenüber den Erzeugerverlusten verhalten.

6.2 Definition eines Typgebäudes

Zur einheitlichen Darstellung und zum besseren Verständnis der im Folgenden gewählten Szenarien dient das nachfolgend beschriebene Modellgebäude. Anhand dieses Modells sollen die Tendenzen möglicher Kombinationen und Zusammenspiele aus Gebäude- und Anlagenqualität / -komponenten verdeutlicht werden.

6.2.1 Geometrie

Die gewählte Geometrie entspricht einem typischen Wohnblock mit unbeheiztem Keller, der als Aufstellort des zentralen Wärmeerzeugers dient und drei weiteren beheizten Wohnetagen, die sich auf zwei Eingänge mit jeweils zwei Wohnungen pro Etage aufteilen.

Ob sich darüber ein Flachdach oder ein unbeheizter Steildachraum befinden, spielt für die Untersuchung keine Rolle.

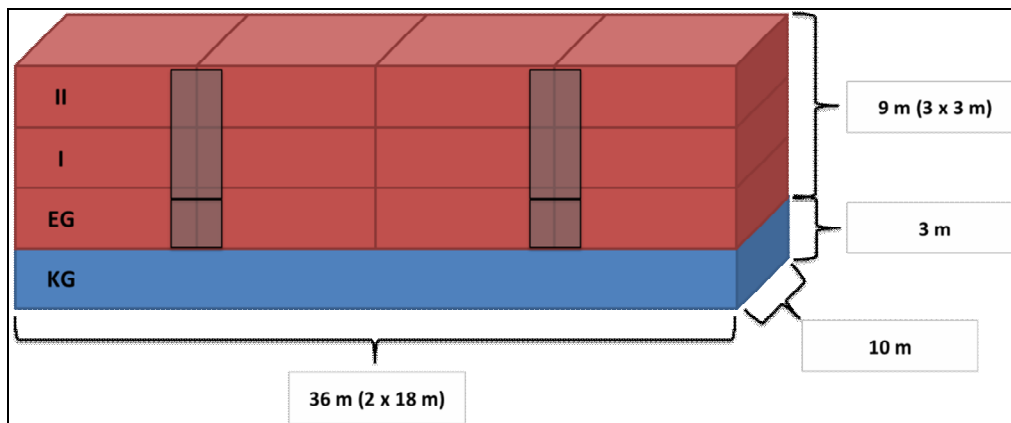


Bild 103 Typgebäude

6.2.2 Daten-Eingabe

Für das Modellgebäude sind die folgenden Parameter frei wählbar. Die Bedeutung bzw. Auswirkung der unterschiedlichen Eingabemöglichkeiten werden im Folgenden kurz erläutert. Die Beschreibung bezieht sich auf eine Exceltabelle mit der diese Berechnungen erstellt wurden.

Allgemeine Angaben		
	Heizgrenztemperatur	Die Heizgrenztemperatur ist die Außentemperatur, ab der ein Gebäude nicht mehr beheizt werden muss, da sich Wärmegewinne (innere, passiv solare und durch Technikeintrag) und Wärmeverluste ausgleichen. Diese Kenngröße ist zum einen kennzeichnend für die Qualität der Gebäudehülle und legt zum anderen die Dauer der Heizperiode, die in der Heizperiode herrschende mittlere Außentemperatur und die mittleren solaren Gewinne aus Sonneneinstrahlung durch opake Bauteile fest. Als typische / charakteristische Heizgrenztemperaturen wurden je nach Baustandard 10, 12 und 15°C gewählt.
Nutzungs- und Temperaturdaten		
	Anzahl der Hausbewohner	Die Anzahl der im Haus wohnenden Personen hat Einfluss auf den Trinkwarmwasserbedarf innerhalb der Bilanz. Als Standardwert wurde eine personenbezogene Nutzwärmemenge von 650 kWh/a angenommen (Quelle: IWU). Für das Modellgebäude wurde mit einer durchschnittlichen Belegung von 2,0 Personen je Wohneinheit gerechnet.
	mittlere Raumtemperatur im beheizten Bereich	Dieser Wert wird standardmäßig auf 20 °C festgelegt und dient beispielsweise der Berechnung des Heizwärmebedarfs, der maßgeblich von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur abhängt. Weiterhin ist diese Angabe für die Berechnung der Rohrleitungsverluste im beheizten Bereich relevant.
	mittlere Raumtemperatur im unbeheizten Bereich	Dieser Wert wird zur Bestimmung der Rohrleitungsverluste im unbeheizten Bereich herangezogen und wird im Beispiel auf 13°C festgelegt.
	Luftwechselrate des Gebäudes	Die Luftwechselrate gibt an, in welchem Zeitraum das beheizte Luftvolumen des Gebäudes einmal vollständig ausgetauscht wird und wird zur Bestimmung der Lüftungswärmeverluste benötigt. Diese Angabe ist von der Gebäudedichtheit abhängig und wird je nach Baualter oder Qualität der Luftdichtheit gewählt.
Geometriedaten		
	Wohnfläche	Die gewählte Wohnfläche legt unter anderem das zu beheizende Gebäudevolumen fest, das sich als Produkt aus Wohnfläche und lichter Geschosshöhe ergibt. Zur deutlichen Vereinheitlichung wurde für das hier gewählte Beispiel eine Wohnfläche von 1.000 m ² zugrunde gelegt.
	Lichte Raumhöhe	Wie unter "Wohnfläche" beschrieben dient die lichte Raumhöhe zur Berechnung des zu beheizenden Gebäudevolumens.
	Luftvolumen des beheizten Bereichs	Das Raumvolumen des beheizten Bereichs geht rechnerisch in die Bestimmung der Lüftungswärmeverluste ein und wird als Produkt aus Wohnfläche und lichter Raumhöhe berechnet.
	Geschosshöhe	Die Geschosshöhe ergibt sich aus lichter Raumhöhe und der Dicke der entsprechenden Geschosssdecke. Diese Angabe wird zur Abschätzung der Steigeitungslängen herangezogen.
	Wärmeübertragende Umfassungsfläche	Diese Fläche dient der Ermittlung der Transmissionsverluste des Gebäudes. Der für das Modell gewählte Wert ergibt sich aus der beigefügten Skizze.

	Fensterflächenanteil	Der Fensterflächenanteil der Fassadenfläche wird zur Berechnung der solaren Wärmegevinne herangezogen. Die Angabe der Fensterflächen erfolgt als flächenspezifische Größe bezogen auf die Wohnfläche des Gebäudes (20 % - vgl. EnEV)
Bauteilqualitäten		
	Spezifischer Transmissionswärmeverlust	Zur Berechnung der gesamten Transmissionswärmeverluste des Gebäudes wird der Gesamtheit der wärmeübertragenden Umfassungsfläche ein mittlerer U-Wert zugeordnet – in Analogie zur EnEV der so genannte spezifische Transmissionswärmeverlust H_{tr}' . Der einzutragende Wert richtet sich nach der Qualität der verbauten Komponenten und kann der jeweiligen Baualtersklasse bzw. dem Modernisierungsstand des Gebäudes angepasst werden.
	Wärmedurchlassgrad der Fenster	Dieser Wert gibt an, wieviel Energie der solaren Einstrahlung durch die Fenster ins Gebäudeinnere hindurch gelassen wird und geht in die Berechnung der solaren Wärmegevinne ein. Der Durchlassgrad richtet sich nach Art der verbauten Fenster.
Allgemeine Technische Daten		
	Wärmeverlustkoeffizient der Rohrleitungen	Diese Angabe hat Einfluss auf die Wärmeabgabe und somit auf die Verluste der Rohrleitungen des Heizungssystems und des Warmwasserrohrnetzes.
	Anteil der Rohrleitungslängen im unbeheizten Bereich	Diese Angaben dienen der Bestimmung von Rohrleitungsverlusten im unbeheizten Bereich.
	Anteil der Fremdwärmegevinne aus Rohrleitungsverlusten	Dieser Anteil gibt an, wieviel Wärme aus den Rohrleitungsverlusten der Heizwärmebilanz als Gutschrift dienen, da nicht alle Rohrleitungsverluste vollständig als Gewinne nutzbar gemacht werden können.
	Jahresnutzungsgrad des Kessels	Dieser Wert berücksichtigt die Verluste des Wärmeerzeugers im Mittel der jährlich benötigten Wärmemenge. Die Berechnung der Kesselverluste erfolgt nach der Annahme: $3,0 \text{ kWh/m}^2\text{a} + 0,075 \times \text{Kesselnutzwärme (Output)}$
Technische Daten der Heizungsanlage		
	Vor- & Rücklauftemperaturen der Heizung	Diese Angaben dienen der Berechnung der Rohrleitungsverluste des Heizungssystems. Für das Modell variiert die Spreizung je nach Baustandard.
	Art des Heizungsnetzes	In der Studie "Vereinfachung des Berechnungsverfahrens von Rohrleitungslängen für eine Fortschreibung der DIN V 18599 Teil 5 und 8" wurden für die dort unterschiedlichen untersuchten Rohrleitungstypen Formeln zur Abschätzung der installierten Rohrleitungslängen hergeleitet, die sich in dieser Modellrechnung wiederfinden.
Technische Daten der Trinkwarmwasseranlage		
	Temperaturen der Trinkwarmwasserleitungen mit & ohne Zirkulation	Diese Angaben dienen der Berechnung der Rohrleitungsverluste der Trinkwarmwasserleitungen – mit und ohne Zirkulationsanteil. Für das Modell wurden folgende Annahmen getroffen: Temperatur in zirkulierenden Leitungen – 57,5 °C Temperatur in nicht zirkulierenden Leitungen – 32 °C
	Art des Trinkwarmwasser-netzes	In der Studie "Vereinfachung des Berechnungsverfahrens von Rohrleitungslängen für eine Fortschreibung der DIN V 18599 Teil 5 und 8" wurden für die dort unterschiedlichen untersuchten Rohrleitungstypen Formeln zur Abschätzung der installierten Rohrleitungslängen hergeleitet, die sich in dieser Modellrechnung wiederfinden.
	Zirkulationsdauer	In Abhängigkeit zur Zirkulationsdauer steigen bzw. sinken die Rohrleitungsverluste des Trinkwarmwassernetzes.
	Größe des Trinkwarmwasserspeichers	Nach der Größe des Trinkwarmwasserspeichers richten sich die Strahlungsverluste des Speichers. Die Größe kann beispielsweise aus der beigefügten Auslegungshilfe in Abhängigkeit zur versorgten Wohnfläche abgeschätzt werden.
	Wärmeverlustkoeffizient des Warmwasserspeichers	Wie die Größe des besagten Speichers dient auch diese Angabe der Berechnung der Wärmeverluste des Speichers an seinen Aufstellungsraum und hängt vom Dämmstandard des eingesetzten Speichers ab.
Daten zur Solaranlage		
	Kollektorfläche	Die Größe des Solarkollektorfeldes hat Einfluss auf den zu erwartenden Solarertrag der Anlage.
	Spezifischer Solarertrag	An dieser Stelle ist der zu erwartende jährliche Solarertrag je Quadratmeter Kollektorfläche einzutragen.
	Mittlere Temperatur des Solarmediums	Dieser Wert wird zur Berechnung der Rohrleitungsverluste des Solarsystems benötigt.
	Wärmeverlustkoeffizient der Solarrohrleitungen	s. o.
	Rohrleitungslängen im beheizten / unbeheizten Bereich	Durch diese Unterteilung werden die Rohrleitungsverluste der Solaranlage dem beheizten und dem unbeheizten Bereich zugeordnet.

Tabelle 52 Beschreibung der Eingaben des Typgebäudes

6.2.3 Daten-Ausgabe

Aus den zuvor aufgeführten Eingaben wird in einer Excel-Datei die Jahreswärmebilanz errechnet. Die dabei benötigten Energiemengen ermitteln sich nach den in Tabelle 53 wiedergegebenen Gleichungsansätzen.

Heizwärmebedarf		
	Transmissionswärmeverluste	Die Transmissionswärmeverluste errechnen sich aus den Größen mittlerer U-Wert (H_T'), wärmeübertragende Umfassungsfläche $A_{Hüll}$, der Temperaturdifferenz zwischen Innenraumtemperatur im beheizten Bereich $t_{i,beh}$ und mittleren Außentemperatur der Heizperiode $t_{a,m,HP}$ und der Dauer der Heizperiode Z_{HP} : $Q_T = H_T' \cdot A_{Hüll} \cdot (t_{i,beh} - t_{a,m,HP}) \cdot Z_{HP}$
	Lüftungswärmeverluste	Die Lüftungswärmeverluste errechnen sich aus den Größen Luftwechselrate n , beheiztes Gebäudevolumen V , spezifische Wärmekapazität der Luft von $0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$, der Temperaturdifferenz zwischen Innenraumtemperatur im beheizten Bereich $t_{i,beh}$ und mittleren Außentemperatur der Heizperiode $t_{a,m,HP}$ und der Dauer der Heizperiode Z_{HP} : $Q_V = 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot n \cdot V \cdot (t_{i,beh} - t_{a,m,HP}) \cdot Z_{HP}$
	Solare Wärmegewinne	In die Berechnung der solaren Wärmegewinne durch transparente Bauteile gehen folgende Größen ein: Mittlere spezifische Sonnenstrahlung q_{sol} , Größe der Fensterflächen A_{Fe} , Durchlassgrad der Verglasung und ein pauschaler Abminderungsfaktor für Verschattung, Rahmenanteile u. ä. von 0,567 zu $Q_S = 0,567 \cdot A_{Fe} \cdot g \cdot q_{sol}$
	Innere Wärmegewinne (ohne Zugewinne aus Rohrleitungsverlusten)	In die Berechnung der inneren Wärmegewinne gehen die Wohnfläche A_{Wohn} , die spezifischen Wärmegewinne je Quadratmeter Wohnfläche q_i und die Dauer der Heizperiode Z_{HP} ein: $Q_i = q_i \cdot A_{Wohn} \cdot Z_{HP}$
	Wärmegutschriften aus Rohrleitungsverlusten (Heizungs-, Trinkwarmwasser- & Solarleitungen)	Die Wärmegutschrift aus Rohrleitungsverlusten ergibt sich aus dem Anteil der Fremdwärmegewinne aus Rohrleitungsverlusten η_F im beheizten Bereich (beh.) während der Heizperiode (HP) und wird wie folgt berechnet: $Q_{G,d} = Q_{d,beh,HP}$
Trinkwarmwasser-Wärmebedarf		
	Trinkwarmwasser-Wärmebedarf	Der hier berechnete Wärmebedarf für Trinkwarmwasser entspricht dem Nutzwärmebedarf und wird mit einem Pro-Kopf-Bedarf von 650 kWh/a berechnet (Quelle: IWU – Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt)
Technische Verluste		
	Rohrleitungsverluste	Für alle Rohrleitungen gilt im Wesentlichen folgende allgemeine Formel: $Q_{di} = L_{rohr,i} \cdot U_{rohr,i} \cdot (t_{rohr,innen,i} - t_{rohr,außen,i}) \cdot Z_i$ Entsprechend den unterschiedlichen Rohrleitungen müssen die verschiedenen Faktoren wie Rohrlänge L_{rohr} , spezifischer Wärmeverlustkoeffizient U_{rohr} , die herrschende Temperaturdifferenz innerhalb und außerhalb des Rohres $t_{rohr,innen} / t_{rohr,außen}$ (z.B. Trinkwarmwasser mit Zirkulation gegenüber unbeheiztem Raum) und die zugehörige Betriebszeit (z.B. Heizperiode) ergänzt werden.
	Wärmeverluste des Trinkwarmwasserspeichers	Die Wärmeverluste des Trinkwarmwasserspeichers werden aus dem Volumen des Speichers $V_{TWW,S}$, dem spezifischen Wärmeverlustkoeffizienten $U_{TWW,S}$, der Temperaturdifferenz von Speicherwassertemperatur zu Umgebungstemperatur des Aufstellraumes und der Betriebsdauer (für TWW 8.760 h/a) berechnet: $Q_S = V_{TWW,S} \cdot U_{TWW,S} \cdot (t_{S,innen} - t_{S,außen}) \cdot 8.760 \frac{\text{h}}{\text{a}}$
Solarertrag		
	Solarertrag	Der Solarertrag wird als Produkt aus Kollektorfläche A_{koll} und spezifischer Solarstrahlung q_{sol} gebildet: $Q_{sol} = A_{koll} \cdot q_{sol}$

Tabelle 53 Beschreibung der Rechenschritte der Energiebilanz

Aus den vorher beschriebenen bilanziellen Gewinnen und Verlusten erfolgt die Ergebnisbilanz in tabellarischer (Tabelle 54) und grafischer (Bild 104) Form. Die Angaben, welche sich auf die Sommerzeit bzw. die Heizperiode beziehen, sind als mittlere Jahreswerte angegeben.

Heizwärmebedarf		25768	kWh/a	25,8	kWh/m²a
Transmissionswärmeverluste		66963	kWh/a	67,0	kWh/m ² a
Lüftungswärmeverluste		36769	kWh/a	36,8	kWh/m ² a
solare Wärmegewinne		33204	kWh/a	33,2	kWh/m ² a
innere Wärmegewinne (ohne Zugewinne aus Rohrleitungen)		20208	kWh/a	20,2	kWh/m ² a
Wärmegutschrift der Hgz-Rohre		19853	kWh/a	19,9	kWh/m ² a
Wärmegutschrift der TWW-Rohre		4700	kWh/a	4,7	kWh/m ² a
Wärmegutschrift der Solar-Rohre		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
TWW-Wärmebedarf		11700	kWh/a	11,7	kWh/m²a
TWW-Wärmebedarf		11700	kWh/a	11,7	kWh/m ² a
technische Verluste		47706	kWh/a	47,7	kWh/m²a
Wärmeverluste der Hgz-Rohre im unbeheizten Bereich		3365	kWh/a	3,4	kWh/m ² a
Wärmeverluste der Hgz-Rohre im beheizten Bereich		24817	kWh/a	24,8	kWh/m ² a
Wärmeverluste der TWW-Rohre im unbeheizten Bereich in HP		6768	kWh/a	6,8	kWh/m ² a
Wärmeverluste der TWW-Rohre im beheizten Bereich in HP		5875	kWh/a	5,9	kWh/m ² a
Wärmeverluste der TWW-Rohre im unbeheizten Bereich im Sommer		2620	kWh/a	2,6	kWh/m ² a
Wärmeverluste der TWW-Rohre im beheizten Bereich im Sommer		2274	kWh/a	2,3	kWh/m ² a
Wärmeverluste des TWW-Speichers im unbeheizten Bereich		1987	kWh/a	2,0	kWh/m ² a
Wärmeverluste der Solar-Rohre im unbeheizten Bereich in HP		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
Wärmeverluste der Solar-Rohre im beheizten Bereich in HP		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
Wärmeverluste der Solar-Rohre im unbeheizten Bereich im Sommer		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
Wärmeverluste der Solar-Rohre im beheizten Bereich im Sommer		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
Solarertrag		0	kWh/a	0,0	kWh/m²a
Solarertrag		0	kWh/a	0,0	kWh/m ² a
Kesselverluste (bzgl. H_s)		21293	kWh/a	21,3	kWh/m²a
Wärmeverluste des Kessels (bzgl. H _s)		21293	kWh/a	21,3	kWh/m ² a
Endenergiebedarf (bzgl. H_s)		106467	kWh/a	106,5	kWh/m²a
Endenergiebedarf (bzgl. H _s)		106467	kWh/a	106,5	kWh/m ² a

Tabelle 54 Tabellarische Ergebnisdarstellung bei der Berechnung des Typgebäudes

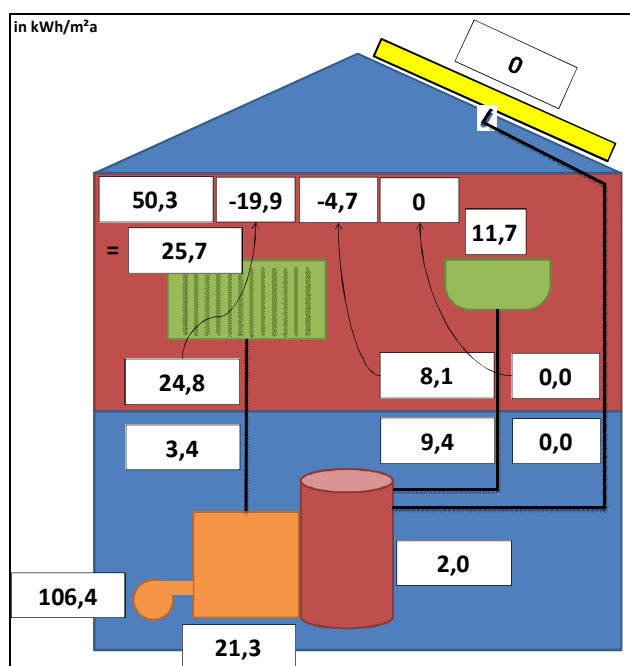


Bild 104 Grafische Ergebnisdarstellung bei der Berechnung des Typgebäudes

6.3 Festlegung von Variationsparametern

Anhand des skizzierten Modellgebäudes sollen die nachfolgenden Parameter variiert werden, um im Ergebnis eine Empfehlung für oder gegen die Zentralisierung von Wärmeerzeugern unter den jeweiligen Randbedingungen aussprechen zu können.

Bauliche Randdaten und Netztemperaturen

In Abhängigkeit des Gebäudestandards ergeben sich die in Tabelle 55 beschriebenen Variationen für den mittleren U-Wert (inkl. Wärmebrücken und ggf. Abminderungsfaktoren zum Keller), die Luftwechselrate sowie Systemtemperaturen der Heizung.

Baualter / Baustandard	PH	UNEH	NEH	80er/ 90er	70er/ 80er	älter 70er	Einheit
"mittlerer U-Wert" H_T'	0,25	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	W/m ² K
Luftwechsel n	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	1/h
Durchlassgrad der Fenster g_{Fe}	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	-
Heizgrenztemperatur t_{HG}	10	12	12	15	15	15	°C
Systemtemperaturen (Heizung)	45/35	50/40	55/45	65/45	70/50	75/55	°C

Tabelle 55 Variation baulicher Randdaten und Netztemperaturen

Verteilssysteme

Die Verteilssysteme für Trinkwarmwasser und Raumwärme unterscheiden sich in die unter Kapitel 3.1 näher erläuterten Systeme. Mögliche Grundprinzipien und Kürzel sind in Tabelle 56 zusammengestellt.

Heizung	Etagenringtyp Typ I Typ A	Etagenverteiler- typ Typ II Typ B	Steigestrangtyp Typ III Typ C	Strahlungs- und Luftheizung Typ IV Typ D
Trinkwarmwasser	Steigestrangtyp Typ I Typ R		Ebentyp Typ II Typ S	dezentrale Versorgung Typ III Typ T

Tabelle 56 Mögliche Verlegearten für Verteilnetze

Die Strahlungs- und Luftheizung (Typ IV bzw. D) wurde nicht untersucht, da es sich um eine für den Geschosswohnbau untypische Verteilungsart handelt. Gleiches gilt für die Trinkwarmwasserbereitung mit überwiegender Verteilung in der Ebene (Typ II bzw. S).

In der weiterführenden Betrachtung sollen jeweils Systeme miteinander verglichen werden, die auch im realen Gebäude ineinander überführbar, d.h. umbaubar wären. Da der Steigestrangtyp (Typ III bzw. C) dezentral nicht sinnvoll umsetzbar ist und damit ein direkter Vergleich nicht zielführend wäre, wird auch dieser nicht weiter untersucht.

Tabelle 57 zeigt die Variantenkombinationen, die untersucht werden.

gebäudezentral	wohnungsweise
Etagenringe Heizung + Steigestrangtyp für TWW (A + R)	Etagenringe Heizung + dezentral für TWW (A + T)
Etagenverteiler Heizung + Steigestrangtyp für TWW (B + R)	Etagenringe Heizung + dezentral für TWW (B + T)

Tabelle 57 Getestete Kombinationen von Verteilnetzen

Weiterhin werden folgende Dämmstandards für Rohrleitungen und Speicher beschrieben, wie man sie häufig vorfindet.

	U_{rohr} in W/mK	U_{Sp} in W/m ³ K
ungedämmt	1,0	12,0
50%-EnEV	0,5	7,0
100%-EnEV	0,3	5,0
150%-EnEV	0,2	5,0

Tabelle 58 Variationen für U-Werte

Die U-Werte wurden aufgerundet, um Schwachstellen wie ungedämmte Armaturen usw. zu berücksichtigen.

Energieträger und Erzeuger

Für alle Betrachtungen werden die Verluste der wandhängenden Brennwertgeräte in der dezentralen Variante mit folgender Formel angenommen:

$$q_g = 3,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,075 \cdot q_{\text{outg}}$$

Dabei ergeben sich von der Belastung unabhängige Verluste von 3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Wohnfläche sowie 7,5 % Abgasverluste bezogen auf die zu erzeugende Wärmemenge (Brennwertbezug).

Grundlage zur Berechnung des brennwertbezogenen Wärmeerzeugerverlustes q_g ist die Wärmemenge, die der Kessel erzeugen muss (Kesselnutzwärmemenge q_{outg}).

Die Auswertung beantwortet folgende Frage: welchen Wärmeerzeugerverlust dürfte ein zentraler Kessel maximal haben, um das zusätzliche Verteilnetz (und seine Verluste) auszugleichen.

Bei Bestimmung dieses Jahresnutzungsgrad-Grenzwertes für die zentrale Lösung ist noch nicht berücksichtigt, dass die dezentralen Wandgeräte eine zusätzliche Wärmegutschrift an den beheizten Bereich bedeuten würden, was die dezentrale Variante bzgl. ihrer Endenergie noch besser dastehen ließe.

Es besteht die Möglichkeit, dass heutige wandhängende Brennwertgeräte einen durchaus geringeren Erzeugerverlust aufweisen als den hier gewählten, was wiederum die dezentralen Bilanzen hinsichtlich ihres Endenergiebedarfs verbessern würden. Somit wäre der tatsächlich resultierende Grenzwert des Jahresnutzungsgrads am Zentralheizkessel unter Umständen noch höher als der hier bestimmte.

6.4 Ergebnisse und Erkenntnisse für einzelne Systeme

Für die Darstellung der Ergebnisse wurden die in Kapitel 6.3 beschriebenen Parameter hinsichtlich der Gebäudequalität, des Dämmstandards der Leitungen und Speicher sowie der Verteilnetzart einmal zentral und im Gegenzug dezentral variiert. Dabei folgen die Ergebnistabellen der in Bild 105 angeführten Matrix.

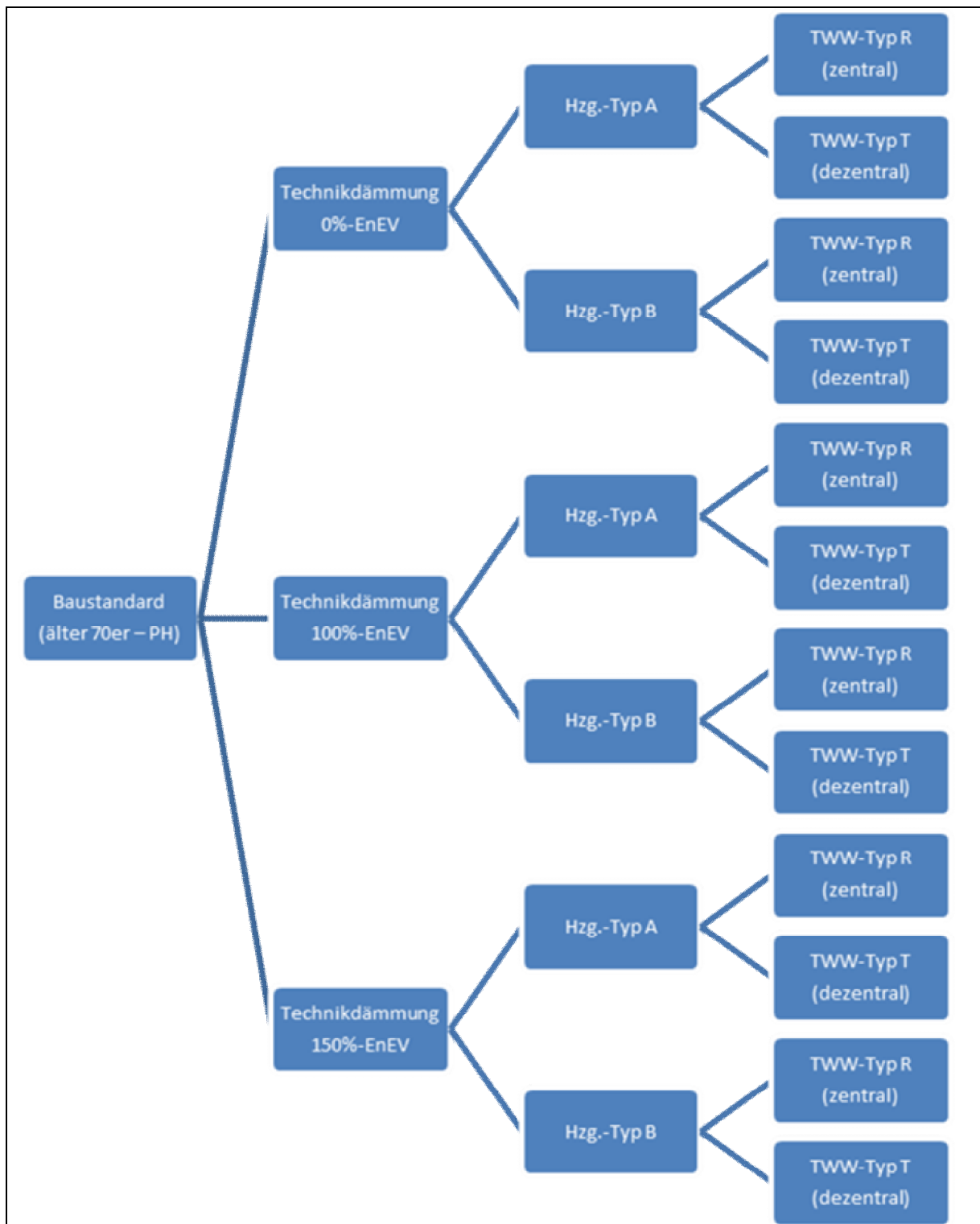


Bild 105 Variationsfälle für den Vergleich zentrale und wohnungsweise Versorgung

Die Resultate lassen sich den nachfolgenden Tabellen in Abhängigkeit der Gebäudequalität / des Baustandards entnehmen.

Die Angabe "neg." bedeutet, dass es für die entsprechenden Varianten keine Lösung des Problems gibt, da die Rohrwärmeabgabe im beheizten Bereich im Jahresmittel größer als die eigentlich benötigte Heizwärme ist.

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	9,0	neg	12,0	111,1	117,0	110,8	117,9	128,5	132,4	128,3	133,1
Verteilverluste in kWh/m ² a		195,6		191,7	90,7	58,7	94,5	57,5	60,5	39,1	63,0	38,3
Speicherverluste in kWh/m ² a		0,0		0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	222,9	18,3	222,0	18,3	-11,8	16,2	-15,4	16,2	-3,4	15,9	-5,8	15,9
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	222,9	222,9	222,0	222,0	191,9	191,9	191,6	191,6	187,4	187,4	187,3	187,3
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	91,8		91,8		91,6		91,6		91,5		91,5	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		106,1		108,1		101,8		103,1	

Tabelle 59 Gebäude 70er Jahre und älter

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	neg	neg	neg	82,0	87,8	81,7	88,6	97,7	101,6	97,5	102,2
Verteilverluste in kWh/m ² a					83,9	52,5	87,2	51,4	55,9	35,0	58,2	34,3
Speicherverluste in kWh/m ² a					1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	-13,8	13,5	-17,1	13,5	-5,5	13,2	-7,7	13,2
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	153,8	153,8	153,6	153,6	149,8	149,8	149,7	149,7
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		91,2		91,2		91,2		91,2	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		108,9		111,1		103,7		105,2	

Tabelle 60 Gebäude 70/80er Jahre

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	neg	neg	neg	65,7	71,5	65,4	72,3	79,8	83,7	79,6	84,1
Verteilverluste in kWh/m ² a					77,0	46,3	80,0	45,4	51,3	30,8	53,3	30,2
Speicherverluste in kWh/m ² a					1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	-14,8	11,8	-17,7	11,8	-6,7	11,6	-8,7	11,6
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	129,6	129,6	129,4	129,4	126,1	126,1	126,0	126,0
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		90,9		90,9		90,8		90,8	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		111,4		113,7		105,3		106,9	

Tabelle 61 Gebäude 80/90er Jahre

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	neg	neg	neg	55,0	59,8	54,8	60,3	65,1	68,3	65,0	68,7
Verteilverluste in kWh/m ² a					62,2	33,1	64,4	32,5	41,5	22,1	42,9	21,7
Speicherverluste in kWh/m ² a					1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	-16,1	10,0	-18,2	10,0	-8,2	9,8	-9,6	9,8
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	102,9	102,9	102,8	102,8	100,2	100,2	100,1	100,1
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		90,3		90,3		90,2		90,2	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		115,6		117,7		108,2		109,6	

Tabelle 62 Niedrigenergiehäuser (NEH)

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	neg	neg	neg	38,0	42,8	37,9	43,2	46,8	50,0	46,7	50,3
Verteilverluste in kWh/m ² a					56,6	28,1	58,5	27,6	37,8	18,7	39,0	18,4
Speicherverluste in kWh/m ² a					1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	-17,2	8,3	-19,0	8,3	-9,4	8,2	-10,6	8,1
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	79,2	79,2	79,1	79,1	76,9	76,9	76,8	76,8
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		89,5		89,5		89,4		89,4	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		121,7		124,0		112,3		113,9	

Tabelle 63 Ultra-Niedrigenergiehäuser (UNEH)

	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV			
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B	
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)
Nutzwärmebedarf in kWh/m ² a	neg	neg	neg	neg	neg	neg	neg	neg	31,6	34,4	31,6	34,6
Verteilverluste in kWh/m ² a									31,8	13,4	32,7	13,2
Speicherverluste in kWh/m ² a									1,8	0,0	1,8	0,0
Kesselverluste in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	-10,8	6,6	-11,7	6,6
Endenergie in kWh/m ² a (Hs)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	54,4	54,4	54,3	54,3
Jahresnutzungsgrad dez. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		0,0		0,0		87,9		87,9	
Jahresnutzungsgrad-Grenzwert zentr. Kessel in % (Hs)	0,0		0,0		0,0		0,0		119,9		121,5	

Tabelle 64 Passivhäuser (PH)

Der zuvor angestellte endenergetische Vergleich zwischen einer zentralen und einer dezentralen Wärmeerzeugeraufstellung zeigt, dass die zusätzlichen Verteilverluste der zentralen Varianten durch verbesserte Jahresnutzungsgrade der Zentralkessel nur kompensiert werden können, wenn theoretisch Nutzungsgrade von über 100 % erzielt werden könnten. Dies ist nur durch andere Erzeugertechnologien als mit den hier betrachteten Brennwertgeräten möglich. Diese Aufgabenstellung wird jedoch im Rahmen dieser Studie nicht gelöst.

Versorgung mit regenerativen Energien (Solarthermie) bzw. aus KWK

Eine weitere Möglichkeit, diese Kompensation zu erreichen, wäre die Deckung der Differenz aus Verteilverlusten aus dem Netto-Solarertrag einer solarthermischen Anlage. Setzt man realistischer Weise einen erzielbaren Netto-Solarertrag von etwa 10 kWh/m²a an, so wäre eine Zentralisierung mit solarer Unterstützung nur für Gebäude sinnvoll, die einen Dämmstandard der Rohrleitungen und Speicher von mindestens 150 % über die Vorgaben der EnEV aufweisen.

Weiterhin ist ersichtlich, dass die gewünschte Kompensation mit sinkender Qualität der Gebäudehülle erleichtert wird, da das zu deckende Delta aus Verteilverlusten abnimmt.

Eine primärenergetische Bilanz bzw. CO₂-Bilanz wurde aus Zeitgründen nicht erstellt. Wenn der Energieträger bei der zentralen und dezentralen Versorgung nicht identisch ist (Holz vs. Gas o. ä.), sind nach oben erläuterten Schema zusätzliche Bilanzen aufzustellen und zu vergleichen.

Unter ökologischen Gesichtspunkten kann eine Zentralisierung trotz erhöhter Verluste sinnvoll sein. Dies ist dann der Fall, wenn die zusätzlichen Verluste der zentralen Lösung durch die gleiche Menge (besser mehr) an regenerativer Energie ausgeglichen werden. Ziel ist ein insgesamt geringerer Ressourcenverbrauch. Genaue Aussagen dazu sind nur für den Einzelfall möglich.

Unter der Annahme, dass eine Fernwärmeübergabestation einen Nutzungsgrad von nahezu 100 % aufweist, käme eine Zentralisierung mittels Fernwärme nur für Gebäude in Frage, die nach oben ausgewiesenen Ergebnistabellen eine schlechte Qualität der Bausubstanz in Kombination mit guter Dämmung der Verteilungs- und Speicherkomponenten aufweisen, da in diesen Fällen eine Jahresnutzungs-Grenzwert von etwa 100 % erreichbar ist.

Wenn das zu versorgende Objekt in einem bestehenden Fernwärmegebiet mit Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung oder in unmittelbarer Nähe liegt, so gelten in ökologischer Hinsicht vergleichbare Aussagen wie bei der Nutzung erneuerbarer Energien.

Eine primärenergetische Bewertung und Berücksichtigung der eingesetzten Fernwärme wird aufgrund der Ergebnisse der von den Autoren verfassten Studie zu Nah- und Fernwärmesystemen [37] bewusst nicht durchgeführt; die langfristig erforderliche Reduzierung aller begrenzt verfügbaren fossilen und regenerativen Energien sollte kein unterschiedliches Anforderungsniveau an den Wärmeschutz erlauben – evtl. sind denkmalgeschützte Gebäude hiervon auszunehmen.

6.5 Verallgemeinerungen

Vergleich der dezentralen und zentralen Erzeuger

Aus den Ergebnistabellen der modellhaften Gegenüberstellung von zentraler zu dezentraler Wärmeerzeugeraufstellung lässt sich zunächst erkennen, dass der fiktive Jahresnutzungsgrad des zentralen Kessels in jeder Variante größer 100 % gewählt werden müsste, um auf Seiten der Endenergie zentral dasselbe zu verbrauchen wie in der zugehörigen dezentralen Variante.

Daraus die direkte Aussage zu treffen, dass demnach immer die dezentrale der zentralen Wärmeerzeugeraufstellung vorzuziehen wäre, ist vor dem Hintergrund einer modellhaften Berechnung sicher nicht gegeben. Die hier im Modell angenommenen Parameter wären für jeden konkreten Fall einer Feldanlage sinnvoll zu übertragen und anzupassen. Allerdings lassen sich aus den hier dargestellten Reihen Tendenzen ableiten, inwieweit die Wahl einer zentralen bzw. dezentralen Wärmeerzeugeraufstellung sinnvoll oder weniger sinnvoll erscheint.

Grundsätzlich gilt, dass eine Zentralisierung nur dann in Betracht zu ziehen ist, wenn eine schlechte Gebäudequalität vorliegt, die Verteilleitungen überdurchschnittlich gut gedämmt werden und der dezentrale Wärmeerzeuger einen wesentlich schlechteren Jahresnutzungsgrad aufweist als der einer zentralen Lösung. Dieses Szenario spiegelt sich in der Gegenüberstellung der Gebäude "älter 70er Jahre" mit 150-%-igen Dämmstandard gegenüber EnEV wider – hierbei ergibt sich der geringste fiktive Jahresnutzungsgrad des zentralen Wärmeerzeugers.

Weiterhin ist zu beobachten, dass unabhängig vom Stand der Gebäudehülle eine zentrale Lösung nur mit überdurchschnittlich gedämmten Verteilleitungen und Speichern eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweist, sich gegen die dezentrale Variante aus **end**energetischer Sicht durchzusetzen.

Der Einfluss von Hilfsenergien auf das Bilanzergebnis wurde aus Zeitgründen nicht untersucht. Er nimmt selbstverständlich zu, wenn der Bedarf an Wärmeenergieträgern bei gut gedämmten Objekten geringer wird. Auch kann der Stromverbrauch beim Einsatz vieler Gasetagenheizungen im Vergleich zu einem zentralen Kessel je nach energetischem Standard der eingesetzten Pumpen und Kessel (Regelung und ggf. Gebläse) und Druckverlust der Leitungen ansteigen.

Sinnvolle Leitungsdämmung

Eine weitere Erkenntnis lässt sich bezüglich des einzusetzenden Dämmstandards der Rohrleitungen in Abhängigkeit zur Qualität der Bausubstanz ableiten. Offensichtlich ist die Tatsache, dass die Verluste des Verteilnetzes umso mehr in den Vordergrund treten, je besser der Dämmstandard der Gebäude ausgeführt ist.

Markant sind daher die Punkte, an denen die Verluste der Verteilleitungen Q_d den Nutzwärmebedarf Q_{nutz} überschreiten. Ab diesem Punkt ginge im Verteilnetz mehr Energie (ungeregelt) verloren als das Gebäude und seine Nutzer an Raumwärme und Trinkwarmwasser (geregelt) benötigen. Diese Umschlagpunkte ergeben sich wie in Tabelle 65 darstellt.

	Leitungsnetz mit...	$Q_d > Q_{\text{nutz}}$ ab Baustandard...
zentraler Wärmerezeuger	... 0 % Dämmung nach EnEV	immer
	... 100 % Dämmung nach EnEV	ab 70/80er Jahre
	... 150 % Dämmung nach EnEV	ab PH
	$Q_d > Q_{\text{nutz}}$ -für...	ab Baustandard...
dezentraler Wärmerezeuger	... 0 % Dämmung nach EnEV	immer
	... 100 % Dämmung nach EnEV	ab PH
	... 150 % Dämmung nach EnEV	nie

Tabelle 65 Verhältnis Verteilverlust zu Nutzwärme abhängig von der Leitungsdämmung

Diese Ergebnisse zeigen, dass unabhängig von Baustandard des Gebäudes und Aufstellort des Wärmerezeugers immer eine Dämmung der Verteilung und Speicherung mindestens auf Stand der EnEV erfolgen sollte. Bei Gebäuden mit beispielsweise zentraler Versorgung und dem Baustandard der 70/80er Jahre sollte die Dämmung der Speicher- und Verteilungskomponenten bereits besser ausgeführt werden, als es die EnEV vorschreibt. Bei den dezentralen Varianten mit geringeren Verteilverlusten aufgrund geringerer Leitungslängen treten diese Effekte erst ab dem Baustandard eines Passivhauses ein.

Überwärmung

Der Eintrag "neg" in den Ergebnistabellen (Tabelle 59 bis Tabelle 64) bedeutet, dass aufgrund der bilanziellen Gutschrift aus Verteilverlusten an den beheizten Bereich der Nutzwärmebedarf im Jahresmittel bereits gedeckt wird und ein negatives Ergebnis erzeugt wurde.

Da in dieser Bilanz nicht nur Raumwärme, sondern auch der Nutzen an Trinkwarmwasser berücksichtigt wurde, treten die hier gezeigten Effekte tatsächlich noch viel früher ein.

Die damit zusammenhängende Problematik der Überhitzung soll allerdings im Folgekapitel 7 ausführlicher behandelt werden. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass die Gutschrift aus Verlusten der Verteilleitungen die erforderliche Nutzwärme wie folgt überschreitet:

Die Wärmegutschrift aus Verteilverlusten deckt den gesamten Nutzwärmebedarf für...		
... zentraler Wärmerezeuger und	0 % Dämmung nach EnEV	ab Baustandard der 70/80er Jahre
	100 % Dämmung nach EnEV	ab Baustandard nach Passivhaus
... dezentraler Wärmerezeuger und	0 % Dämmung nach EnEV	ab Baustandard der 70/80er Jahre
	100 % Dämmung nach EnEV	ab Baustandard nach Passivhaus

Tabelle 66 Deckung des Bedarfs aus der Rohrabwärme

Aufgrund des Nutzwärmeanteils an Warmwasser, der hierbei noch nicht berücksichtigt wurde, lassen sich erste pauschale Aussagen bezüglich der Überhitzung in Verbindung mit Baustandard des Gebäudes und Dämmstandard der Verteilung treffen, die im Folgenden weiter untersucht werden sollen.

Beispielsweise sollte ein Gebäude mit Baustandard der 70/80er Jahre und Etagenheizung mindestens eine Dämmung der Verteilung von 100 % der EnEV-Anforderung aufweisen, um eine Überhitzung in weiten Teilen des Jahres durch Wärmegutschrift der Verteilverluste an den Nutzwärmebedarf des Gebäudes zu vermeiden. Tatsächlich tritt dieser Effekt unter Umständen sogar früher ein, da der Trinkwarmwassernutzen hier inklusive mitberücksichtigt wurde.

Hinweis zum Rechenmodell

Das verwendete Rechenmodell enthält Vereinfachungen, die in nachfolgenden Untersuchungen weiter detailliert werden müssen. Dies betrifft insbesondere die Annahmen zur Netztemperatur der Verteilleitungen. Die Temperatur im Netz wurde im derzeitigen Rechenansatz konstant (mit Jahresmitteltemperaturen) angenommen. Dies ist in der Realität nicht der Fall, da

- eine gewisse Regelung nach Heizkurve für den Vorlauf vorausgesetzt werden kann,
- der Rücklauf bei Teillastbetrieb der Heizkörper niedriger temperiert ist, z.B. bei Einfluss von solarer und innerer Fremdwärme geringere Temperaturen aufweist
- ganze Teilstrecken aufgrund der Nichtbeheizung von Räumen keine Wärme abgeben.

Diese derzeit noch nicht abgebildeten Zusammenhänge betreffen vor allem die Anbindeleitungen der Heizkörper im beheizten Bereich. Das verwendete Rechenmodell führt derzeit zu etwas höheren rechnerischen Wärmeeinträgen der Anbindeleitungen als sie real voraussichtlich vorhanden.

Für die Betrachtungen zur Frage der Zentralisierung oder Dezentralisierung spielen diese vereinfachten Annahmen keine entscheidende Rolle. Diese Netzarten unterscheiden sich vor allem bei der Ausstattung mit Steigesträngen und Verteilleitungen (im unbeheizten Bereich), welche realitätsnah abgebildet werden.

Der Rechenansatz kann im Zuge künftiger Untersuchungen um Emissions- und/oder Primärenergiefaktoren und/oder Faktoren für den Ressourcenverbrauch ergänzt werden.

7 Untersuchung zur Überwärmung

Wie im Kapitel 6 bereits aufgezeigt, treten die Wärmeverluste des Verteilnetzes mit stetig besserer Qualität der Gebäudehülle mehr und mehr in den Vordergrund. Der bei gut gedämmten Gebäuden verbleibende oft sehr kleine Restbedarf an Raumwärme kann unter Umständen je nach Dämmstandard der Verteilleitungen bereits durch die Wärmegutschrift der Verteilverluste an den beheizten Bereich gedeckt werden.

Diese Konstellation kann unter Umständen einen ungewünschten Effekt zur Folge haben: Zunächst findet eine unkontrollierte Wärmeabgabe an den Raum statt, die nicht durch Regelungskomponenten oder ähnliches beeinflusst werden kann. Durch diesen Wärmeeintrag besteht nun die Gefahr der Überhitzung, die im schlimmsten Fall abgelüftet werden muss und ein enormes Verschwendungspotential darstellt.

Dieses Kapitel untersucht den Zusammenhang zwischen Bausubstanz des Gebäudes, Dämmsituation der Verteilleitungen und Art des Verteilsystems hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die beschriebenen Gefahren der Überhitzung einzelner Räume bzw. der gesamten Wohnung.

Es handelt sich um eine exemplarische Betrachtung. An dieser kann gezeigt werden, welche Vorgehensweise zielführend sein kann, um auch über das Projekt hinaus die Thematik weiter zu verfolgen. Die Schwächen des derzeitigen Rechenmodells werden aufgezeigt.

7.1 Bilanz der Räume einer Typwohnung

Es wird auf das in Kapitel 6 beschriebene Modellgebäude zurückgegriffen. Da die unterschiedlichen Räume aufgrund ihrer individuellen Merkmale (z.B. Lage in der Wohnung, Anzahl der wärmeübertragenden Umfassungsflächen, Länge der verlegten Rohrleitungen usw.) unterschiedliche Lasten aufweisen, ist es zweckdienlich eine Raumbilanz für das entsprechende Modellgebäude zu erstellen. Die Betrachtung erfolgt für folgende Räume der Wohnung:

- Schlafen
- Wohnen
- Bad
- Küche
- Kind
- Flur
- Treppenhaus (anteilig zur Wohnung)

7.1.1 Aufteilung der Gebäudebilanz auf Raumbilanzen

Die Wärmeverluste und Gewinne fallen nicht homogen innerhalb einer Wohnung an, auch wenn die Gebäudebilanz dies vereinfacht so berechnet - sie sind je nach Raum verschieden. Als räumlich nicht homogen verteilte Kennwerte werden betrachtet:

- Transmissionswärmeverlust Q_T
- Lüftungswärmeverlust Q_V
- innere Gewinne Q_i
- solare Gewinne Q_S
- Wärmegutschrift aus Verteilverlusten der Heizungsrohre an den beheizten Bereich während der Heizperiode $Q_{d,h,beh,HP}$
- Wärmegutschrift aus Verteilverlusten der Trinkwarmwasserrohre an den beheizten Bereich während der Heizperiode $Q_{d,tww,beh,HP}$

Aus den oben aufgeführten Einflussgrößen, die in der Gesamtbilanz für das komplette Modellgebäude vorliegen, wurden unter Berücksichtigung der Merkmale nach Tabelle 67 die entsprechenden Raumanteile berechnet, um die Gesamtheit aller Einflussgrößen anteilig auf die einzelnen Räume der Wohnung zu verteilen.

Basis ist ein reales typisches Wohngebäude (vgl. Kapitel 5.1.4), das dem gewählten Modell in Form und Abmessung sehr ähnelt.

Einflussgröße	Bestimmung des Raumanteils durch ...
Q_T	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil aus Außenbauteilflächen des Raumes im Verhältnis zur Gesamtheit aller Außenbauteilflächen des Gebäudes. • (Unter Annahme gleicher Geschosshöhen kann die Außenkantenlänge der Außenbauteile herangezogen werden.)
Q_V	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil nach Verhältnis einzelner Raumvolumina zum gesamten beheizten Gebäudevolumen. • (Unter Annahme gleicher lichter Raumhöhen kann das Verhältnis aus Anteilen der Wohnflächen einzelner Räume gebildet werden.)
Q_i	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil aus Verhältnis der Raumwohnflächen zur Gebäudewohnfläche.
Q_S	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil aus dem Fensterflächenverhältnis einzelner Räume zur gesamten Fensterfläche des Gebäudes. • (Alternativ kann der Anteil aus dem Verhältnis der Wohnflächen untereinander gebildet werden, siehe Q_i.)
$Q_{d,h,beh,HP}$	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil nach den im betrachteten Zimmer verlegten Heizungsrohren im Verhältnis zum gesamten Heizungsrohrnetz des Gebäudes.
$Q_{d,tww,beh,HP}$	<ul style="list-style-type: none"> • Anteil nach den im betrachteten Zimmer verlegten Trinkwarmwasserrohren im Verhältnis zum gesamten Trinkwarmwassernetz des Gebäudes.

Tabelle 67 Hilfsgrößen zur Aufteilung der Gebäudekennwerte auf Raumkennwerte

Es wurde vereinfacht angenommen, dass alle Räume einheitlich temperiert werden. Wärmeflüsse zwischen Räumen wurden daher vernachlässigt.

Aus den beschriebenen Ansätzen ergeben sich die nachfolgend tabellarisch aufgeschlüsselten Anteile der Räume an den jeweiligen Einflussgrößen.

für Raum...	Schlafen	Wohnen	Bad	Küche	Kind	Flur	Treppenhaus	gesamt
Anteil an...								
Q_T	22,6	27,8	7,6	10,4	24,0	0,0	7,6	100,0
Q_V	19,3	31,0	6,2	9,1	16,0	7,9	10,5	100,0
Q_i	19,3	31,0	6,2	9,1	16,0	7,9	10,5	100,0
Q_S	19,9	41,3	10,2	10,3	18,4	0,0	0,0	100,0
$Q_{d,h,beh}$	10,6	40,2	9,1	11,1	28,9	0,0	0,0	100,0
$Q_{d,tww,beh}$	0,0	0,0	42,6	57,4	0,0	0,0	0,0	100,0

Tabelle 68 Anteil der Räume an den Gesamtkennwerten des Gebäudes

Die unterschiedlichen Einflussgrößen werden infolgedessen anteilig entsprechend der oben gezeigten Tabelle je nach Randbedingungen der einzelnen Varianten den verschiedenen Räumen zugeordnet, um Aufschluss über die Gefährdung einzelner Räume bzgl. einer möglichen Überhitzung ableiten zu können.

Beispielbilanz

Exemplarisch für die Variante "Gebäudestandard vor 1970, keine Dämmung der Anlagentechnik, zentraler Wärmeerzeuger mit Heizungsnetz Typ A und Warmwassernetz Typ R" ergibt sich die in Tabelle 69 dargestellte Raumbilanz.

Wärmeanteile in kWh/a

Anteil an... \ für Raum...	Schlafen	Wohnen	Bad	Küche	Kind	Flur	Treppenhaus	gesamt
Q_T	36371	44710	12150	16638	38616	0	12227	160711
Q_V	9938	15938	3194	4678	8240	4083	5406	51477
Q_i	3901	6257	1254	1836	3235	1603	2122	20208
Q_s	8794	18272	4500	4575	8130	0	0	44271
$Q_{d,h,beh}$	15801	59886	13536	16591	43084	0	0	148899
$Q_{d,tww,beh}$	0	0	10662	14343	0	0	0	25005

Wärmeanteile in kWh/m²a

Anteil an... \ für Raum...	Schlafen	Wohnen	Bad	Küche	Kind	Flur	Treppenhaus	mittel
Q_T	188,4	144,4	195,8	183,1	241,2	0,0	116,4	152,8
Q_V	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5
Q_i	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2
Q_s	45,6	59,0	72,5	50,3	50,8	0,0	0,0	39,7
$Q_{d,h,beh}$	81,8	193,4	218,2	182,6	269,2	0,0	0,0	135,0
$Q_{d,tww,beh}$	0,0	0,0	171,9	157,8	0,0	0,0	0,0	47,1

Tabelle 69 Beispielhafte Aufteilung der Gebäudekennwerte auf die einzelnen Räume

7.1.2 Raumweise Heizgrenztemperatur

Als Indikator der Überhitzung soll die Heizgrenztemperatur jedes einzelnen Raumes berechnet werden. Sie gibt für diesen speziellen Raum an, oberhalb welcher Außentemperatur alle Wärmeverluste durch (ungeregelte) Wärmegewinne gedeckt sind. Liegt diese theoretische Heizgrenztemperatur bei sehr niedrigen Außentemperaturen, kann davon ausgegangen werden, dass häufig das unregelmäßige Wärmeangebot größer ist als die Wärmeverluste.

Die Erläuterung des Berechnungsganges erfolgt am Beispiel des Schlafzimmers aus dem Typgebäude mit Eigenschaften und Energiekennwerten nach Tabelle 69.

Anteilige Verluste (spezifische Transmissions- und Lüftungswärmeverluste)

$$H_{T,Schlafen} = U_m \cdot A_{Hüll} \cdot f_{T,Schlafen}$$

$$H_{T,Schlafen} = 1,2 \frac{W}{m^2K} \cdot 1,548 m^2 \cdot 0,226 = 419,8 \frac{W}{K}$$

$$H_{V,Schlafen} = 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot n \cdot V_{Gebäude} \cdot f_{V,Schlafen}$$

$$H_{V,Schlafen} = 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot 0,7 \frac{1}{h} \cdot 2,500 m^3 \cdot 0,193 = 114,8 \frac{W}{K}$$

$$H_{Schlafen} = H_{T,Schlafen} + H_{V,Schlafen} = 534,6 \frac{W}{K}$$

Anteilige solare Wärmegewinne in der Heizperiode

$$\dot{Q}_{S,HP,m,Schlafen} = \frac{Q_{s,Gebäude} \cdot f_{S,Schlafen}}{a}$$

$$\dot{Q}_{S,HP,m,Schlafen} = \frac{44,271 \frac{kWh}{a} \cdot 0,199}{6,315 \frac{h}{a}} = 1,395,1 W$$

Anteilige innere Wärmegewinne in der Heizperiode

$$\dot{Q}_{i,HP,m,Schlafen} = \frac{Q_{i,Gebäude} \cdot f_{i,Schlafen}}{z_{HP}}$$

$$\dot{Q}_{i,HP,m,Schlafen} = \frac{20.208 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,193}{6.315 \frac{\text{h}}{\text{a}}} = 617,6 \text{ W}$$

Anteilige Wärmeeinträge der Rohrleitungen in der Heizperiode

$$\dot{Q}_{d,h,HP,m,Schlafen} = \frac{Q_{d,h,Gebäude} \cdot f_{d,h,Schlafen}}{z_{HP}}$$

$$\dot{Q}_{d,h,HP,m,Schlafen} = \frac{148.899 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,106}{6.315 \frac{\text{h}}{\text{a}}} = 2.499,3 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{d,tww,HP,m,Schlafen} = \frac{Q_{d,tww,Gebäude} \cdot f_{d,tww,Schlafen}}{z_{HP}}$$

$$\dot{Q}_{d,tww,HP,m,Schlafen} = \frac{25.005 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \cdot 0,000}{6.315 \frac{\text{h}}{\text{a}}} = 0,0 \text{ W}$$

Summe der anteiligen Gewinne in der Heizperiode

$$\dot{Q}_{\text{Gewinne},HP,m,Schlafen} = \dot{Q}_{i,HP,m,Schlafen} + \dot{Q}_{S,HP,m,Schlafen} + \dot{Q}_{d,h,HP,m,Schlafen} + \dot{Q}_{d,tww,HP,m,Schlafen}$$

$$\dot{Q}_{\text{Gewinne},HP,m,Schlafen} = 4.512,0 \text{ W}$$

Heizgrenztemperatur

Für die Ermittlung der Heizgrenztemperatur des Schlafzimmers gilt der in Bild 106 dargestellte Zusammenhang.

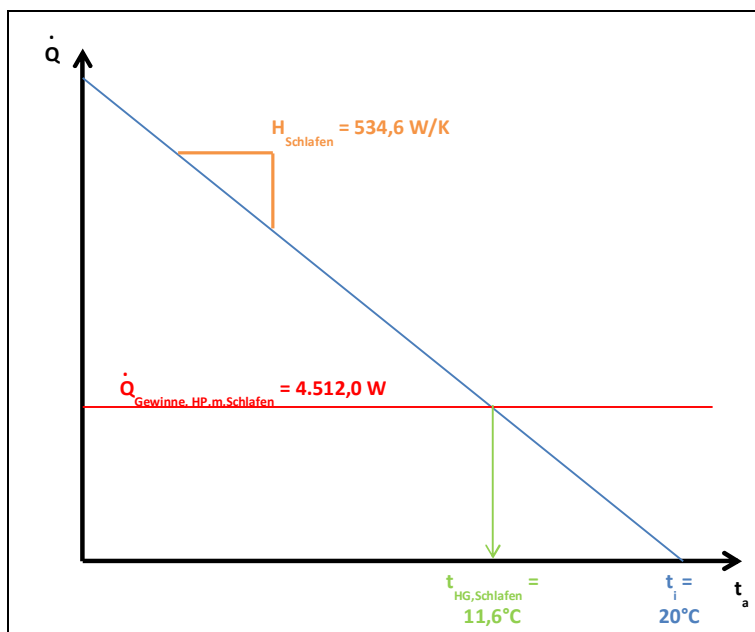


Bild 106 Zusammenhang bei der Bestimmung der Heizgrenztemperatur

Die dargestellte Heizgrenztemperatur ergibt sich als Schnittpunkt einer konstanten Größe und einer linearen Gleichung:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{Gewinne,HP,m,Schlafen}} &= H_{\text{Schlafen}} \cdot (t_{i,\text{Schlafen}} - t_{\text{HG,Schlafen}}) \\ t_{\text{HG,Schlafen}} &= t_{i,\text{Schlafen}} - \frac{\dot{Q}_{\text{Gewinne,HP,m,Schlafen}}}{H_{\text{Schlafen}}} \\ t_{\text{HG,Schlafen}} &= 20^{\circ}\text{C} - \frac{4.512,0 \text{ W}}{534,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 11,6^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Effektive Heiztage unterhalb der Heizgrenztemperatur

Über eine gemittelte Jahresdauerlinie (hier Standort Braunschweig mit den Wetterdaten der Klimastation in Magdeburg) ergibt sich eine ungefähre Heizzeit von etwa 205 Tagen pro Jahr.

Ein Raum, der zur Überhitzung neigt, weist aufgrund seiner höheren Lasten / Wärmegewinne eine geringere Heizgrenztemperatur auf und somit eine geringere Jahresheizdauer. Im Extremfall ist der Raum so sehr überhitzt, dass im gesamten Jahr kein Heizwärmebedarf anfiel.

Es werden drei Stufen unterschieden:

1. **Die Raumheizzeit liegt oberhalb der Gebäudeheizperiode**
Es besteht keine Überhitzungsgefahr.
2. **Die Raumheizzeit beträgt zwischen 50 und 100 % der Gebäudeheizperiode**
Für den Raum besteht (gelegentlich) die Gefahr der Überhitzung – die Rohrleitungen sollten auf einem höheren Niveau gedämmt werden.
3. **Die Raumheizzeit liegt unterhalb 50 % der Gebäudeheizperiode**
Es besteht akute und häufige Überhitzungsgefahr – die Rohrleitungen müssen auf ein höheres Niveau gedämmt werden.

7.2 Festlegung von Variationsparametern

Die Baustandards werden variiert wie in Tabelle 55, die Leitungsnetze wie in Tabelle 56 des Kapitels 6 beschrieben.

7.3 Ergebnisse

Nach der zuvor beschriebenen Vorgehensweise ergeben sich für die einzelnen Räume des Modellgebäudes je nach Baustandard, Güte der Rohrdämmung und Systemtemperatur unterschiedliche Heizgrenztemperaturen bzw. Jahresheizdauern. Dadurch sollen Tendenzen aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen Überhitzung während der Heizperiode auftreten kann.

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	205	205	205	207	260	260	260	260	268	268	268	268				
Wohnen	47	47	46	51	190	190	188	190	209	209	209	211				
Bad	4	44	4	47	160	193	160	193	191	214	191	214				
Küche	11	80	11	82	181	214	180	215	213	236	211	236				
Kind	92	92	90	96	227	227	227	228	248	248	248	250				
Flur	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257				
Treppenhaus	314	314	314	314	314	314	314	314	314	314	314	314				
Dauer der Heizperiode in d/a	263				≥ 100 % der Heizperiode				≥ 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 70 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Gebäude 70er Jahre und älter

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	191	191	191	193	247	247	247	247	255	255	255	255				
Wohnen	27	27	26	29	170	170	169	170	191	191	191	191				
Bad	1	23	1	25	135	172	133	173	169	196	169	196				
Küche	4	52	4	56	160	197	160	199	193	219	193	219				
Kind	72	72	70	76	214	214	213	215	236	236	236	237				
Flur	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242				
Treppenhaus	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311				
Dauer der Heizperiode in d/a	263				≥ 100 % der Heizperiode				≥ 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 71 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Gebäude der 70/80er Jahre

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	183	183	181	185	241	241	239	241	248	248	248	248				
Wohnen	22	22	21	24	162	162	162	163	183	183	183	185				
Bad	0	15	0	16	113	162	111	163	156	185	156	186				
Küche	1	38	1	40	144	188	144	190	179	209	179	211				
Kind	56	56	55	61	204	204	204	205	227	227	227	228				
Flur	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242	242				
Treppenhaus	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306	306				
Dauer der Heizperiode in d/a	263				≥ 100 % der Heizperiode				≥ 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 72 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Gebäude der 80/90er Jahre

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	175	175	173	176	237	237	236	237	245	245	245	245				
Wohnen	14	14	14	16	158	158	158	160	181	181	180	181				
Bad	0	8	0	9	90	156	90	157	142	181	142	181				
Küche	0	20	0	22	119	179	119	179	165	203	165	204				
Kind	37	37	35	40	197	197	197	199	222	222	222	224				
Flur	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221				
Treppenhaus	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296	296				
Dauer der Heizperiode in d/a	214				≥ 100 % der Heizperiode				≥ 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 73 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Niedrigenergiehäuser (NEH)

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	154	154	152	156	219	219	217	219	228	228	228	228				
Wohnen	7	7	7	8	140	140	138	141	163	163	163	165				
Bad	#NV	2	#NV	2	45	126	45	128	101	160	101	160				
Küche	#NV	7	#NV	8	74	156	74	157	132	181	132	183				
Kind	16	16	15	18	176	176	175	177	201	201	201	203				
Flur	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221	221				
Treppenhaus	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284				
Dauer der Heizperiode in d/a	214				≥ 100 % der Heizperiode				≥ 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 74 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Ultra-Niedrigenergiehäuser (UNEH)

Raumheizzeit in d/a	0%-EnEV				100%-EnEV				150%-EnEV							
	Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B		Hzg.-Typ A		Hzg.-Typ B					
	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)	TWW-Typ R (zentral)	TWW-Typ T (dezentral)				
Schlafen	119	119	119	123	196	196	196	197	205	205	205	207				
Wohnen	2	2	2	2	108	108	105	109	141	141	140	141				
Bad	#NV	0	#NV	0	10	85	10	86	49	128	47	130				
Küche	#NV	1	#NV	1	20	115	20	117	76	154	74	154				
Kind	4	4	4	5	147	147	146	149	176	176	176	177				
Flur	191	191	191	191	191	191	191	191	191	191	191	191				
Treppenhaus	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260				
Dauer der Heizperiode in d/a	183				>= 100 % der Heizperiode				>= 50 % & < 100 % der Heizperiode				< 50 % der Heizperiode			

Tabelle 75 Berechnungsergebnisse zur Überwärmung für Passivhäuser (PH)

Erkenntnisse für einzelne Räume

Aus den Ergebnistabellen ist erkennbar, dass es sowohl für die zentralen als auch für die dezentralen Varianten kaum Unterschiede zwischen dem A- und dem B-Heizungsnetz zu geben scheint, da die Rohrleitungslängen unabhängig von der Verlegeart annähernd gleich sind.

Für die Räume Schlafen, Wohnen, Kind, Flur und Treppenhaus ergeben sich in der Raumbilanz bzgl. Überhitzung keine nennenswerten Unterschiede zwischen den zentralen und dezentralen Varianten.

Lediglich die Räume Bad und Küche unterscheiden sich dahingehend, dass in den zentralen Varianten die Heizzeiten geringer ausfallen und diese Räume somit eher zur Überhitzung neigen, wenn es sich um eine zentrale Aufstellung des Wärmeerzeugers handelt. Das ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass dort die ganzjährig warmen Zirkulationsleitungen untergebracht sind, die in den "Nicht-Warmwasserräumen" entfallen.

Generell ist festzuhalten, dass aufgrund der ganzjährig temperierten Warmwasserleitungen die Räume Küche und Bad eher zur Überhitzung neigen als die übrigen Räume.

Bei einem Rohr-Dämmstandard von 0% (ungedämmte Leitungen) kann bereits bei niedriger Qualität der Gebäudesubstanz (älter 70er Jahre) eine Überwärmung einzelner oder aller Räume auftreten. Sind die Leitungen auf 100 % nach Vorgaben der EnEV gedämmt, ist ab einem Baustandard der 80/90er Jahre bei der zentralen Anordnung mit Überwärmungsercheinungen zu rechnen.

Bei der dezentralen Wärmeerzeugeraufstellung besteht erst ab dem Gebäudestandard "Passivhaus" eine Überwärmungsgefahr. Für die Rohrleitungsdämmung mit 150 % der EnEV-Vorgaben ist der kritische Punkt bei der zentralen Verteilung im Bereich UNEH erreicht, für die dezentralen Varianten kommt es unter diesen Randbedingungen nie zu einer kritischen Überwärmung.

Alle aufgeführten Effekte könnten allerdings zusätzlich verstärkt werden, sobald der dezentrale Wärmeerzeuger in Küche oder Bad angeordnet ist – so wie die Installation typischerweise erfolgt. Dieser beschriebene Einfluss durch eine weitere Wärmegutschrift aus Verlusten des Wärmeerzeugers ist in den hier beschriebenen Modellwohnungen zur vereinfachten Betrachtung noch nicht berücksichtigt worden.

Es ist anzumerken, dass hier unterstellt wurde, dass die Räume auf gleiche Temperaturen temperiert werden sollen. Die ggf. gewollte niedrigere Beheizung des Schlafzimmers oder Flures wurde nicht weiter untersucht.

Hinweis zu möglichen Verallgemeinerungen und zum Rechenmodell

Wie in Kapitel 6.4 bereits erläutert, enthält das verwendete Rechenmodell Vereinfachungen, die in nachfolgenden Untersuchungen weiter detailliert werden müssen. Zwei Punkte sind hervorzuheben: die Annahme zu Raum- und Netztemperaturen.

Insbesondere die Anbindeleitungen werden im Rechenmodell mit im Mittel etwas zu hohen Temperaturen abgebildet. Eingriffe von Thermostatventilen oder Nutzereingriffe mit kompletter Absperrung der Leitungen sind nicht rechnerisch erfasst.

Außerdem wird das Netz mit einer konstanten Verlustleistung basierend auf mittleren Betriebsbedingungen gerechnet. Dies ist korrekt, solange eine Jahresbilanz erstellt wird. Für die Fragestellung der Überhitzung in der Übergangszeit sollte in erweiterten Rechenmodellen das Netz witterungskorrigiert angenommen werden.

Darüber hinaus kann künftig abgebildet werden, dass die Räume im Gebäude nicht alle gleich warm sind.

Hinsichtlich der Aussage des hier untersuchten Problems der Überhitzung ergeben sich unter modifizierten Annahmen grundsätzlich geringere Anteile unregelter Wärmeeinträge über die Rohre und damit keine so starke Überversorgung der Räume mit unregelter Wärme.

Das Problem bleibt dennoch in der Praxis erhalten, wie auch die Praxisprojekte zeigen, so dass die abgeleiteten Empfehlungen ihre Berechtigung haben.

8 Empfehlungen

Empfehlungen zur Gestaltung des Verteilnetzes für Raumheizung und Trinkwarmwasser sind zu unterscheiden zwischen Neubauplanungen und Bestandsmodernisierungen. Die folgenden Empfehlungen beziehen sich nur auf Bestandsmodernisierungen.

Wesentlichen Einfluss auf die Systementscheidung haben die vorhandenen zentralen bzw. dezentralen Erzeuger bzw. die eingesetzten Energieträger und das erzielbare Endenergie- und Emissions-Einsparpotenzial bei einem Systemwechsel.

Bei vorhandenen zentralen gas- oder ölbefeuerten Wärmeerzeugern, aber auch bei zentralen Fernwärmeanschlüssen sowie bei alternativen zentralen Wärmeerzeugern wie mit Holz befeuerte Kessel oder größere Wärmepumpen ist in der Regel von einem Weiterbetrieb des vorhandenen Erzeugers auch im Falle einer energetischen Modernisierung der Gebäudehülle auszugehen.

Zu prüfen ist die Wirtschaftlichkeit und das erzielbare Endenergie- und Emissions-Einsparpotenzial bei Umbau eines zentralen Vierleitersystems auf ein Zweileitersystem mit wohnungsweisen Übergabestationen, gegebenenfalls unterstützt durch einfache zentrale Solareinspeisung mit zentralem Speicher.

Bei vorhandenen dezentralen Gasetagenheizungen und/oder elektrischer Trinkwassererwärmung ist – im Gegensatz zu früheren Empfehlungen - in der Regel ein Weiterbetrieb der Systeme mit Einsatz effizienter Gasbrennwerttechnik bzw. elektronisch geregelten elektrischen Durchlauferhitzern zu empfehlen.

Wenn eine ökologisch vorteilhafte Versorgung mit Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung möglich ist oder der Einsatz regenerativer Energien (insbesondere Solarenergie) diskutiert wird, sollte die Zentralisierung als notwendige Voraussetzung geprüft werden, da die höheren endenergetischen Verluste i. d. R. durch eine bessere Primärenergie- und Emissionsbilanz kompensiert werden.

Die Heizungsanlagen wurden unter der Maßgabe betrachtet, ob sich im Falle baulicher Änderungen (Verbesserung des Wärmeschutzes auf Niedrigenergieniveau) noch akzeptable Versorgungszustände einstellen. Nicht akzeptabel wären lokale oder großflächige Überversorgungen der Räume allein aufgrund der Wärmeabgabe der Rohrnetze. Eine Gegenmaßnahme ist die Leitungsdämmung, alternativ der Rück- bzw. Umbau (Beispiel: Umbau Einrohr- auf Zweirohrheizung).

Die endenergiebezogenen Nutzungsgrade bei den zentralen Warmwassernetzen liegen in allen Projekten bei etwa 50 %, in vielen Fällen auch weit darunter. Dieser Wert lässt sich durch Leitungsdämmung kaum verbessern. Nur in seltenen Fällen bei Gebäuden mit großer Höhe ergeben sich bessere Werte (über 60%). Fehlt die entsprechende Nutzerstruktur (Abnahme) ergeben sich Werte auch sehr weit unter 50 %.

Es kann die allgemeine Empfehlung zur Nachdämmung von Leitungen ausgesprochen werden. Das betrifft zuerst die Leitungen im Keller, danach Steigestränge. In beiden Fällen sollten mindestens 100 % Dämmdicke erreicht werden. Bei den Steigesträngen werden Überwärmungseffekte in Bädern und Küchen hierdurch vermindert.

Das Nachdämmen nicht zirkulierender Leitungsteile wird auch empfohlen, wobei klar ist, dass der nächste allgemeine Sanierungszyklus dafür genutzt werden muss, wenn die Leitungen unter Putz liegen.

9 Fazit, Ausblick und Nachfolgeprojekte

Die Zentralisierung von Wärmeversorgung und Trinkwarmwasserbereitung ist zwangsläufig mit zusätzlichen Verteilverlusten verbunden. Der Vorteil einer Zentralisierung liegt darin, dass durch sie eine Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger wie Biomasse oder auch Solarenergie bzw. Versorgungsmodelle wie Fernwärme mit KWK ermöglicht wird.

Die wohnungszentrale Installation neuer Brennwertgeräte hat auch auf der Grundlage jüngst veröffentlichter Studien sowie nach Vergleichsrechnungen auf Basis anerkannter technischer Richtlinien in vielen Fällen energetische Vorteile gegenüber einer ebenfalls neuen gebäudezentralen Versorgung. Diese Verschiebung in der Aussage ergibt sich, weil der Effizienzunterschied heutiger Wohnungs- gegenüber Gebäudekessel kleiner ist als noch vor 10 Jahren.

Die "gefühlte Unabhängigkeit der Nutzer" spielt eine entscheidende Rolle, da jeder Bewohner seine Gasabrechnung selbst "kontrollieren" kann. Außerdem entfällt für den Vermieter die Heizkostenabrechnung. Die Beibehaltung eines Konzepts mit Etagenheizung ist im Modernisierungsfall mit höheren Investitions- und Wartungskosten verbunden. Bei vorhandenen Gasetagenheizungen ist die Sanierung der Gasverteilung und der Schornsteinzüge zu prüfen.

Im Falle einer Zentralisierung von Etagenheizungen kann sich das genannte Verhältnis aus Endenergiebedarf und Kosten umkehren. Bei einer Umstellung von Etagen- auf Zentralheizungen sind Verteil- und Steigeleitungen nachzurüsten. Bei vorhandenen Gasetagenheizungen ist die Sanierung der Gasverteilung zu prüfen.

Die in der Studie vorgestellten Systeme wurden in den vergangenen 10 ... 15 Jahren konsequent mit Energiebilanzen und dem Verfahren der "Energieanalyse aus dem Verbrauch E-A-V" analysiert. Die Anwendung dieses Verfahrens wird konsequent vor umfassenden Modernisierungsvorhaben empfohlen.

Wie die vorgestellte Studie [6] kommt auch diese Studie zu dem Ergebnis, dass es sinnvoll ist, bereits bestehende Bedingungen zu belassen. Bereits zentralisierte Gebäude sollten belassen werden, da ein Rückbau unwirtschaftlich und nicht sinnvoll wäre. Gebäude mit Etagenheizungen können ebenfalls die bisherige Art der Beheizung beibehalten. Beide Varianten unterscheiden sich aus wirtschaftlicher Sicht kaum. Zum Vergleich der Varianten unter nicht-monetären Gesichtspunkten wird in dieser Untersuchung eine ausführliche Bewertungsmatrix präsentiert.

Unter ökologischen Aspekten kann eine Zentralisierung trotz höherer endenergetischer Verluste sinnvoll sein, wenn damit der Anschluss an Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung oder der Einsatz regenerativer Energien ermöglicht wird.

In jedem Fall werden Anlagen mit Brennwerttechnik und mit Hocheffizienzpumpen empfohlen. Solarwärme soll erst im Zuge einer kompletten Anlagenmodernisierung eingebaut werden (grenzwirtschaftlich). Aktuell am Markt als Stand der Technik angebotene BHKW-Module werden nur nach einer Modernisierung und mit einer Voruntersuchung zum Strom- und Wärmebedarf empfohlen.

In den letzten Jahren werden mit steigender Tendenz kombinierte Heizungs- und Trinkwarmwassernetze als Zwei-Leiter-Systeme verlegt. Der Anteil solcher Versorgungssysteme im Bestand ist insgesamt – nach Einschätzung der Autoren – jedoch noch sehr gering. Eine große Rolle spielt für zukünftige Entscheidungen die Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung aus Solar-(PV-) und Windkraftanlagen.

Die wirtschaftlichen Gestehungskosten für eine kWh (Wärme aus Solarthermie) oder eine kWh (Strom aus PV) liegen bereits heute unter bestimmten Randbedingungen etwa gleich hoch. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die zukünftige sommerliche Warmwasserbereitung sind im Rahmen dieser Studie nicht vorhersehbar, sollten aber aufmerksam beobachtet werden.

Zukünftige Untersuchungen sollten sich deshalb u. a. auch auf zentrale Zweileiternetze konzentrieren, deren Vorlauftemperatur witterungsgeführt wird, die zentral mit kostenloser Solarwärme gespeist werden können und bei denen die Nacherwärmung für Trinkwarmwasser direkt elektrisch (eventuell zukünftig auch aus Photovoltaik mit Wohnungsweisen Kleinspeicher) erfolgt. Diese neu zu entwickelnden Systeme stehen im Wettbewerb zu rein dezentralen Systemen.

Die Förderbedingungen von proKlima zur Zentralisierung sollten vor dem Hintergrund dieser Studie und ggf. noch folgenden Untersuchungen überprüft und ggf. angepasst bzw. durch präzisiertere Anforderungen und intensive Qualitätssicherung ergänzt werden.

10 Quellen

[1]	Brillinger, M. H. et al; Energie- und wassersparende Maßnahmen bei der Warmwasserbereitung im Geschosswohnungsbau; Forschungsprojekt des BMBF; Würzburg, Berlin; 2004.
[2]	Brillinger, M. H. et al; Warmwasserbereitung und -verteilung bei Niedrigenergiesanierungen im Wohnungsbau; BBR Forschungsbericht; Fraunhofer IRB Verlag; 2009.
[3]	Diefenbach, N. et al; Datenbasis Gebäudebestand, Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand; Darmstadt; 2010.
[4]	DIN V 18599 Teil 1 bis Teil 11, Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Beuth; Berlin; 2011.
[5]	DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth, Berlin, 2001 und 2003.
[6]	Eikenloff, G. und Wolff, D.; Energetische Modernisierung der Ahlumer Siedlung; Leitfaden und Entscheidungshilfen für ein strategisches Vorgehen; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Abschlussbericht; Dezember 2008.
[7]	Hausmann, H.; Auswertung von Verbrauchskennwerten zur Qualitätskontrolle von Energiesparmaßnahmen in MFH-Wohngebäuden; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2005.
[8]	Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999
[9]	Hübener, A.; Strategien zur mittelfristigen Anpassung der Fernwärmeversorgung an veränderte Randbedingungen; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2007.
[10]	Jagnow, K, Wolff, D. et al; "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; DBU-Projekt; Abschlussbericht in mehreren Teilen; Wolfenbüttel; November 2008.
[11]	Jagnow, K. et al; Bericht Wohnhaus I; erstellt im Rahmen des DBU-Projektes "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; Wolfenbüttel; November 2008.
[12]	Jagnow, K. et al; Modernisierungskonzept für die Behringstraße 23-26 in Braunschweig; Energieberatung; Bericht unveröffentlicht; Braunschweig; 2009.
[13]	Jagnow, K. und Jüttner, A.; Energieberatung bedacht e.V.; Teil des von DBU geförderten Projektes "Energieökologische Optimierung eines Altbauwohn-Projektes"; Braunschweig, Hildesheim; 2007.
[14]	Jagnow, K. und Wolff, D.; Energiekonzept; DBU-Umsetzungsprojekt Neuerkerode; unveröffentlicht; Wolfenbüttel; 2012.
[15]	Jagnow, K. und Wolff, D.; Modernisierungskonzept für ein Mehrfamilienhaus in Braunschweig; Books on Demand; Norderstedt; 2007.
[16]	Jagnow, K., Heimlich, A. und Wolff, D.; Kostenfunktionen für Komponenten der Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung im Wohnbauten; Investitionskostenfunktionen TGA Ergänzung; Studie für Hessische Energiesparaktion; Wolfenbüttel; 2009.
[17]	Jagnow, K., Oschatz, B. und Wolff, D.; Vereinfachung des Berechnungsverfahrens von Rohrleitungslängen für eine Fortschreibung der DIN V 18599 Teil 5 und 8; Endbericht; Forschungsbericht für BMVBS und BBR; Braunschweig; 2010.
[18]	Jagnow, K., Sell, I. und Wolff, D.; Kostenfunktionen für Komponenten der Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung im Wohnbauten; Investitionskostenfunktionen TGA; Studie für Hessische Energiesparaktion; Wolfenbüttel; 2008.

[19]	Jagnow, K.; Untersuchung von nachträglichen Optimierungsmöglichkeiten in Mehrfamilienhäusern mit Einrohrheizung; Energiegutachten für den Wunstorfer Bauverein; Wernigerode; 2005.
[20]	Köller, F.; Energieanalyse aus dem Verbrauch - Vergleich von Verbrauchs- und Energiepasskennwerten im Mehrfamilienhausbestand; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2005.
[21]	Loga, T. et al; Deutsche Gebäudetypologie, Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden; Darmstadt; 2011
[22]	Loga, T. et al; Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2001.
[23]	Loga, T. et al; Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt, IMPLUS Programm Hessen; Darmstadt; 1997
[24]	Mengazzi, K.; Evaluation von Energie-Verbrauchsstudien für das Wohngebiet Berlin Kaulsdorf; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2001.
[25]	Pöschk, J. (Hrsg.); Energieeffizienz in Gebäuden - Jahrbuch 2007; vme – Verlag und Medienservice Energie; Berlin; 2007.
[26]	proKlima, e4-Consult; Monitoring des Concerto-Vorhabens act2 ("Action to mainstream energy efficient building and renewable energy systems at a city level across Europe"), Project no. TREN/05/FP6EN/S07.51327/006255; diverse, z. T. unveröffentlichte Berichte und Auswertungen; Hannover; 2006-2011.
[27]	Recknagel, Sprenger und Schramek; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Oldenbourg; München; 2004.
[28]	Schüssler, K.; Kennwerte für Wärmeverteilnetze in Wohngebäuden; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2002.
[29]	VDI 2067; Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Blatt 2: Raumheizung; VDI; 1993. (zurückgezogen)
[30]	VDI 2067; Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Blatt 4: Warmwasserversorgung; VDI; 1982.
[31]	VDI 2077; Verbrauchskostenabrechnung für die Technische Gebäudeausrüstung; Beiblatt "Verfahren zur Berücksichtigung der Rohrwärmeabgabe".
[32]	Wolff, D. et al; Analyse des Energieverbrauches von Mehrfamilienhäusern am Kronsberg in Hannover anhand monatlicher Messdaten; Institut für Heizungs- und Klimatechnik; Wolfenbüttel; 2005.
[33]	Wolff, D., Deidert, J. et al; Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen; Forschungsprojekt BMU; Endbericht – 1. Teil (noch unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2012:
[34]	Wolff, D. und Eikenloff, G.; Energiekonzepte und mögliche Finanzierungskonzepte für Immobilien der Nibelungen Wohnbau GmbH; Projekt der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel; 2008.
[35]	Wolff, D. und Jagnow, K.; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
[36]	Wolff, D. und Jagnow, K.; Optimus; Abschlussbericht zum DBU Projekt – Technischer Teil; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel; 2005.
[37]	Wolff, D. und Jagnow, K.; Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung; verfügbar unter www.delta-q.de ; Braunschweig, Wolfenbüttel; 2011.
[38]	Wolff, D., Jagnow, K., Ullrich, C. und Halper, C.; Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen; BBR Forschungsvorhaben; Endbericht; Institut für Heizungs- und Klimatechnik an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002.