

Abschlussbericht

**Felduntersuchungen
zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions-
und Lüftungswärmeverbrauchs
durch Nutzerinformation sowie
durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen**

Institut für Heizungs- und Klimatechnik
Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

Prof. Dr.-Ing. D. Wolff
Dipl.-Ing. (FH) K. Jagnow
cand. Ing. Christian Halper
cand. Ing. Christian Ullrich

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen gefördert. (Aktenkennzeichen: BS 34 – 80 01 98 – 15). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

1. Inhalt

1.	Inhalt 2	
2.	Vorwort und Einleitung	5
2.1.	Problemstellung und Ziele	5
2.2.	Arbeiten und Aufgaben	6
2.3.	Lösungsweg	8
3.	Definitionen und Grundlagen	10
3.1.	Energiekennwerte	10
3.1.1.	Erläuterung einzelner Energiekennwerte	11
3.1.2.	Problematik der Nutzendefinition	19
3.1.3.	Problematik des Fremdwärmenutzungsgrades	21
3.2.	Energiebilanz im NEH	23
3.2.1.	Integrierte Bilanz	23
3.2.2.	Definition des NEH	23
3.2.3.	Bandbreite Energiekennwerte im NEH	24
3.2.4.	Fremdwärme im NEH	24
3.2.5.	Zwangswärmeconsum und Verschwendungspotential	25
3.3.	Lüftungswärmeverbrauch und Luftwechsel	26
3.3.1.	Einflüsse	26
3.3.2.	Schwankungen	28
3.3.3.	Definition eines Grundbedarfs	28
3.4.	Einflüsse und Bewertungsmöglichkeiten der energetischen Qualität	29
3.4.1.	Einflüsse auf Energiebedarf und -verbrauch	29
3.4.2.	Nutzung	30
3.4.3.	Baukörper	31
3.4.4.	Anlagentechnik	32
3.5.	Grundlagen der Bereinigung	35
3.5.1.	Grundlagen zur Klimabereinigung	35
3.5.2.	Bereinigung mit Heizgradtagen	36
3.5.3.	Bereinigung mit Gradtagszahlen	37
3.5.4.	Allgemeiner Rechengang der VDI 3807	38
4.	Energiebilanzverfahren	39
4.1.	Einleitung	39
4.1.1.	Statische und dynamische Verfahren	39
4.1.2.	Simulationsberechnungen und Felduntersuchungen	40
4.1.3.	Energiebedarf und Energieverbrauch	40
4.1.4.	Bilanzen für den Gebäudebestand und den Neubau	41
4.2.	Übliche Bilanzverfahren	41
4.3.	Weiterentwicklung: Gesamtbilanzverfahren	47
4.3.1.	Neue Ansätze	47
4.3.2.	Gesamtbilanzverfahren für Jahresbilanz	48
4.3.3.	Gesamtbilanzverfahren für Monatsbilanz	51
4.3.4.	Verbrauchsbereinigung mit Gesamtbilanz	52
4.4.	Weiterentwicklung: ΔQ -Verfahren	55
4.4.1.	Neue Ansätze	55
	Q-Verfahren für Jahresbilanz	55
	Q-Verfahren für Monatsbilanz	57
4.5.	Beschreibung der Verfahren für die Auswertung	58
4.5.1.	Bedarf: EnEV 2002 und DIN V 4701-10	58
4.5.2.	Bedarf: Hessischer Energiepass	60
4.5.3.	Bedarf: Gesamtbilanzverfahren Jahresweise	61
4.5.4.	Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren Jahresweise	62
4.5.5.	Verbrauch: Gesamtbilanz monatsweise	64
4.5.6.	Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Jahresbilanz	66
4.5.7.	Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Monatsbilanz	68

5.	Ergebnisse der Feldprojekte.....	70
5.1.	Objektbeschreibung	70
5.2.	Bedarf: EnEV 2002 und DIN V 4701-10.....	74
5.3.	Bedarf: Hessischer Energiepass.....	75
5.4.	Bedarf: Gesamtbilanzverfahren	76
5.5.	Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren jahresweise	77
5.6.	Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Jahresbilanz.....	79
5.7.	Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren monatsweise	81
5.8.	Verbrauch: ΔQ -Verfahren monatsweise.....	83
5.9.	Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 1.....	85
5.10.	Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 2	87
5.11.	Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 3	89
5.12.	Gegenüberstellung: Einfamilienhaus	91
5.13.	Aussagen zu Luftwechsel und Temperatur	93
5.13.1.	Luftwechselbereiche bei 19 bzw. 20°C	93
5.13.2.	Zusammenhang Luftwechsel und Temperatur in der Jahresbetrachtung	94
5.13.3.	Monatlicher Zusammenhang Luftwechsel und Temperatur	95
5.13.4.	Parametervariation.....	97
5.14.	Aussagen zum Einsparpotential ΔQ	98
5.15.	Weitere Aussagen aus der Energiebilanz	103
5.15.1.	Flächenbezogene Energiekennwerte.....	103
5.15.2.	Abweichungen der Jahresbilanzverfahren	103
5.15.3.	Anteile der Endenergien für Heizung und Trinkwarmwasser.....	104
5.15.4.	Anteile Nutz- und Verlustenergien	104
5.15.5.	Anteile der geregelten und ungeregelten Wärmeabgabe im beheizten Bereich	105
5.15.6.	Abweichungen der Ergebnisse für Jahres- und Monatsbilanzverfahren	105
6.	Übertragbarkeit auf andere Objekte und Projekte	106
6.1.	Validierung der Ergebnisse.....	106
6.2.	Vergleich mit anderen Messprojekten und Studien	106
6.2.1.	Kennwerteinordnung.....	106
6.2.2.	Andere Messprojekte und Literaturquellen.....	107
6.2.3.	Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen der TU Dresden.....	111
6.2.4.	Fazit des Vergleichs.....	111
6.3.	Übertragbarkeit durch Typologisierung	112
6.3.1.	Bautätigkeit und Gebäudeklassen in Deutschland.....	113
6.3.2.	Gebäudetypologisierung	118
6.3.3.	Typologisierung der Anlagentechnik	121
6.3.4.	Rückschlüsse.....	131
6.3.5.	Fazit	132
7.	Konsequenzen.....	133
7.1.	Konsequenzen für die Anlagentechnik.....	133
7.1.1.	Verteilssysteme der Heizungstechnik	133
7.1.2.	Maschinelle Lüftungstechnik	134
7.1.3.	Konsequenzen für Qualitätssicherung	136
7.1.4.	Fazit.....	140
7.2.	Konsequenzen für die Heizkostenabrechnung	141
7.3.	Konsequenzen für die Nutzerinformation.....	143
7.4.	Abschätzung des Verschwendungspotentials.....	144
7.5.	Wirtschaftlichkeit von Qualitätssicherungsmaßnahmen	146
8.	Zusammenfassung und Ausblick.....	147
8.1.	Zusammenfassung der Studie	147
8.2.	Weiterentwicklung der neuen Bilanzverfahren.....	148
8.3.	Ausblick auf die künftige Normungsarbeit	148
8.3.1.	Praxistauglichkeit von Bilanzverfahren	148
8.3.2.	Normung Neubau.....	149
8.3.3.	Europäische Gebäuderichtlinie	150
8.3.4.	Normung Bestand	150
8.4.	Ausblick auf Qualitätssicherungsprojekte und -programme.....	151
8.4.1.	Fortführung der Untersuchungen in der EXPO-Siedlung Hannover.....	151
8.4.2.	proKlima.....	151
8.4.3.	Optimus.....	152

9.	Anhang	153
9.1.	Formelzeichen und Indices	153
9.2.	Quellen	154
9.3.	Kennwertuntersuchungen zur Anlagentechnik.....	158
9.3.1.	Auswertung von Umfragen.....	158
9.3.2.	Auswertung von konkreten Untersuchungsobjekten	160
9.3.3.	Auswertung unterschiedlicher Bilanzverfahren	161
9.4.	Gesamtbilanzverfahren mit Kennwerten	164
9.4.1.	Allgemeine Daten bei der Analyse von Gebäuden.....	164
9.4.2.	Analyse der Wärmeverluste und -gewinne des beheizten Bereiches eines Gebäudes	167
9.4.3.	Verluste des Heizungs- und Lüftungssystems	170
9.4.4.	Analyse des Warmwassersystems.....	174
9.4.5.	Gesamtbilanz der Jahresendenergien	177
9.5.	Übersicht Kennwerte	178
9.6.	Rechnungen.....	178

2. Vorwort und Einleitung

2.1. Problemstellung und Ziele

Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich mit dem Thema "**Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen**". Sie trägt den Kurztitel "**Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauches im Wohnungsbau**".

Die Arbeit hat wesentlich die Auswertung konkreter Verbrauchsdaten im Niedrigenergie-Geschosswohnungsbau und im Einfamilienhausbereich zum Inhalt. Die Untersuchungen beruhen auf Auswertungen verschiedener Neubauprojekte, sowie Gebäude des auf Niedrigenergie- bzw. Neubaustandard sanierten Bestandes.

Die Gebäude werden unter den Aspekten des Nutzungseinflusses, der (nachträglichen) Qualitätssicherung der Heiz-, Lüftungs- und Regelungstechnik auf ihre Energiebilanz hin näher untersucht. Die energetische Bilanzierung erfolgt für das gesamte Gebäude mit der Gebäudehülle als Bilanzgrenze in Einzelbilanzanteilen. Das heißt, es wird zum einen untersucht, welche Verlustenergiemengen für das Gebäude aufgrund seiner Bauweise, seiner Nutzung und der vorhandenen Anlagentechnik auftreten. Zum anderen werden Anteile der Jahresenergie den Bereichen Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung zugeordnet.

Mit dieser Art der Bilanzierung können Einflüsse auf den Anfall und die Nutzung innerer Wärmegewinne sowie die Rückkopplung auf den Lüftungswärmeverbrauch sichtbar gemacht werden. Dabei spielt das Wärmeabgabepotential der Heiz- und Regelungstechnik in Abhängigkeit von der Qualität der Anlagentechnik eine besondere Rolle.

Ausgangspunkt zu Beginn der Forschungsarbeit:

Die bereits vor dem Beginn der Forschungsarbeit erkannten Unterschiede des Heizenergieverbrauchs identischer Wohnungen im Geschosswohnungsbau im Verhältnis 1:6 wurden zum Zeitpunkt der Antragstellung auf folgende zwei, sich bedingende Ursachen zurückgeführt:

- stark differierendes Nutzerverhalten abhängig vom
- Wärmeabgabepotential der Heiz- und Regelungstechnik.

Dieses Problem sollte unter Gesichtspunkten der Energiebilanz erörtert und bestätigt werden, ein Katalog von Gegenmaßnahmen bzw. Hinweisen für die Planung, Ausführung und Nutzung von Heizungs- und Lüftungsanlagentechnik erarbeitet werden.

Untersuchte Thesen zum Lüftungswärmeverbrauch und Zwangswärmekonsum:

Eine Begrenzung des energetischen Lüftungswärmeverbrauchs ist möglich durch angepasste Heiz- und Regelkonzepte sowie durch intensive Nutzerinformation. Hierzu gehört auch die planerische und im praktischen Betrieb umgesetzte Begrenzung des Wärmeabgabepotentials der Anlage (Überdimensionierung von Heizflächen, nicht eingestellte Reglerheizkurven, nicht hydraulisch abgeglichenen Anlagen). Eine planmäßig durchgeführte Qualitätssicherung der Anlagentechnik und gleichzeitige Nutzerschulung sollen eine deutliche Verminderung der Schwankungsbreite des Heizenergieverbrauchs, verursacht durch differierendes Lüftungsverhalten, bewirken.

Der wichtigste Arbeitspunkt der Untersuchung ist das Zusammenspiel zwischen Anlagentechnik, die Energiemehrverbrauch induzieren kann, und Nutzer, der auf das erhöhte Wärmeangebot reagiert, im Geschosswohnungsbau. Die Ursachen und Auswirkungen unregelter Wärmeabgabe werden erörtert. Es soll die These geprüft werden, ob im typischen Niedrigenergiehaus der Luftwechsel durch

bauliche und anlagentechnische Qualitätssicherung bis auf den hygienisch und bauphysikalisch notwendigen Luftwechsel vermindert werden kann. Es wird untersucht, ob der Luftwechsel ggf. unabhängig von der energetischen Gebäudeklasse nur durch die Qualitätssicherung der Ausführung bestimmt wird und eine konstante Größe ist. Das bedeutet, ob ein geringerer theoretischer Luftwechsel (bessere energetische Klasse) mit einem um so größeren Luftwechsel durch ein Überschussangebot an Wärme (schlechteres Ausnutzungspotential der Fremdwärme) einhergeht. Weiterhin soll die Tatsache herausgearbeitet werden, dass der Mehrverbrauch durch "Zwangswärmeconsum" kein Fehlverhalten des Nutzers, sondern vielmehr ein Mangel an der heutigen Art der Anlagenkonzeption ist.

Es wird untersucht, ob durch Verminderung der unregelmäßigen Wärmeabgabe (Fremdwärme) sowohl die Verluste durch Transmission und Lüftung (erhöhte mittlere Raumtemperaturen, erhöhter mittlerer Luftwechsel, Verlängerung der effektiven Heizzeit) beeinflussbar sind und dadurch eine generelle Verminderung des Heizenergieverbrauchs erzielbar ist.

Aus den Untersuchungen konkreter Verbrauchswerte sollen Konsequenzen für die Planung, Ausführung und deren Qualitätssicherung und für die Nutzung eines Neubaus oder Bestandsgebäudes incl. der Anlagentechnik abgeleitet werden, die als Hilfen zur Erstellung von künftigen "Gesamtkonzepten für Gebäude, Anlage und Nutzung" gesehen werden sollen.

Wärmeenergie einzusparen, schließt nicht nur die bauliche Sanierung ein, sondern bedeutet auch Wärmeverluste, die durch die Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung entstehen, zu minimieren. In baulich auf Niedrigenergiestandard sanierten Gebäuden früherer Baujahre tritt das Problem des "Zwangswärmeconsums" als Reaktion der Nutzer auf unregelmäßige Wärmeabgabe der Anlagentechnik noch viel stärker zu Tage, wenn die Anlagentechnik nicht mitsaniert wird.

Der bereits zur Antragstellung angestrebte Vergleich der Feldergebnisse mit Simulationsberechnungen ist ein weiterer Kernpunkt der Untersuchungen. Es wird erweitert um einen Vergleich bzw. eine Recherche der Ergebnisse anderer Praxisprojekte.

Randeffekte und Untersuchungen

Das Ziel eines Energiebilanzverfahrens kann und sollte eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen realistisch abgeschätzten Heizenergiebedarfs- und tatsächlich gemessenen Verbrauchswerten sein. Daher wird neben der Problematik des Lüftungswärmebedarfes auch die Anwendbarkeit verschiedener heute üblicher Energiebilanzverfahren untersucht und bewertet. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen in die Normungsarbeit zur energetischen Bewertung des Neubaus und Bestandes einfließen.

Auf eine detaillierte Bewertung der Kosten und das Finden von Kostenkennwerten, so wie im Projektantrag vorgesehen, wurde im Verlauf der Projektbearbeitung zugunsten anderer Untersuchungsschwerpunkte verzichtet.

2.2. Arbeiten und Aufgaben

Der Bearbeitung der Thematik "**Bedarfslüftung im Wohnungsbau**" sind seitens des BBR als Fördermittelgeber zwei große Teilprojekte gewidmet. Zum einen theoretische Untersuchungen, zum anderen Auswertungen von Feldprojekten. Durch Vergleich von Feldmessungen aus dem vorliegenden Projekt mit theoretischen Untersuchungen ist eine bisher nicht bekannte Synergie von Praxismessungen und Simulationsberechnungen erzielbar.

Theoretische Untersuchungen - Simulationsrechnungen

Dieser Teil der Forschungsarbeit wurde durch das Institut für Thermodynamik und TGA an der Technischen Universität Dresden - speziell von Prof. W. Richter und Mitarbeitern - bearbeitet und ist im April 2001 mit dem Endbericht "Bedarfslüftung im Wohnungsbau" [Richter 01] abgeschlossen worden.

Praktische Untersuchungen - Feldmessungen

Einzelarbeiten die bei der Bearbeitung der vorliegenden Forschungsarbeit durchgeführt wurden, werden im folgenden benannt:

- Projektrecherche zum Thema Luftwechsel und Innentemperaturen,
- Messdatenerfassung für verschiedene Gebäude in Niedrigenergiebauweise bzw. Übernahme von Messdaten aus anderen Projekten,
- Literaturrecherche und vergleichende Untersuchung verschiedener Energiebilanzverfahren in Hinblick auf unterschiedliche Verrechnung von Energiegewinnen und -verlusten, die gleichzeitige Verwendbarkeit zur Bestimmung des Energiebedarfes und Bereinigung des Energieverbrauches sowie die Anwendbarkeit im Neubau und Bestand,
- Literaturrecherche über typische Bilanzranddaten der Gebäude- und Anlagentechnik sowie Nutzung für Gebäude aller Altersklassen,
- Erarbeitung eines sinnvollen, durchgehenden Ansatzes für eine Jahresenergiebilanz sowie eines durchgehenden Verfahrens zur Verbrauchsdatenauswertung (Gesamtbilanz) zur Bewertung des Fremdwärmeeinflusses auf den Lüftungswärmeverbrauch anhand der Literaturrecherche,
- Erweiterung und Vereinfachung des Verfahrens (ΔQ -Verfahren),
- Auswertung der Gebäude hinsichtlich ihrer jährlichen Verbrauchskennwerte mit den erarbeiteten Verfahren,
- Ermittlung der Bedarfskennwerte für die Gebäude anhand der erarbeiteten Verfahren und mit Hilfe verschiedener anderer Bilanzverfahren,
- Übertragung der neuen Bilanzansätze auf durchgehende Monatsbilanzverfahren zur Verbrauchsdatenauswertung,
- Auswertung der Gebäude hinsichtlich ihrer monatlichen Verbrauchskennwerte mit den erarbeiteten Verfahren,
- Literaturrecherche zum Thema Verteilsysteme der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung im Bestand und Neubau,
- Aufstellung verschiedener Kenndaten der Energiebilanz für den Neubau und Bestand, speziell der Wärmeverteilung,
- Ableitung von Ergebnissen für den Neubau und Übertragung der Ergebnisse auf den sanierten und unsanierten Gebäudebestand,
- Erarbeitung von Hinweisen für die Planung, Umsetzung und Nutzung von Niedrigenergiegebäuden hinsichtlich der Projektschwerpunkte.

Die Zahl der untersuchten Gebäude in diesem Projekt ist - beabsichtigt - gering; die Auswertung erfolgt jedoch mit einer sehr großen Detailtiefe. Diese Vorgehensweise hat sich als zweckmäßig erwiesen, um die Zusammenhänge zwischen Gebäude, Anlage und Nutzer sichtbar zu machen.

Die Übertragbarkeit der exemplarischen Ergebnisse auf andere Projekte wird durch sinnvolle Wahl der Untersuchungsobjekte als typische Vertreter des heute üblichen Bau- und Anlagenstandards (v.a. mit Hilfe von Kennwerten) sichergestellt. Gleichzeitig werden die Ergebnisse mit anderen Projekten verglichen und anhand von Kennwerterhebungen und -rechnungen bestätigt.

2.3. Lösungsweg

Zwischenschritte und -berichte

Die Forschungsarbeit begann mit dem Thema "Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen". Grundlagenforschungen befassten sich - da geeignete Verfahren der Verbrauchsauswertung zu dem Zeitpunkt fehlten - zunächst mit der Erarbeitung einer neuen Art von Energiebilanz (durchgehende Gesamtbilanz für Gebäude, Anlage und Nutzer) auf Basis einer detaillierten Literaturrecherche.

Im Rahmen des 1. Zwischenberichtes wurde ein konkretes Niedrigenergie-Mehrfamilienwohnhaus in Hannover mit Hilfe der neuen Gesamtbilanz näher untersucht. Die Untersuchung bezog sich auf Energiedaten der Abrechnungsperiode 1999/2000. Der Jahresenergieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung wurde ausgewertet und in Einzelbilanzanteilen ausgewiesen. Ein besonderes Augenmerk lag auf der Erfassung der im beheizten Bereich des Gebäudes anfallenden Fremdwärme. Es wurden Einflüsse auf den Anfall und die Nutzung innerer Wärmegevinne sowie die Rückkopplung auf den Lüftungswärmeverbrauch sichtbar gemacht. Dabei spielte das Wärmeabgabepotential der Heiz- und Regelungstechnik abhängig von der Qualität der Anlagentechnik und Regelung eine wichtige Rolle.

Es konnte festgestellt werden, dass innerhalb des Gebäudes die zur Beheizung notwendige Wärme zu etwa 50... 60 % von den Heizflächen geregelt abgegeben wird, zu 50... 40 % jedoch ungeregelt anfällt. Die ungeregelte Wärmeabgabe stammt zu etwa 50 % aus Wärmeabgabe von Personen und elektrischen Geräten, zu 50 % aus Wärmeverlusten der Heizungs- und Warmwasserverteilung. Teile der innerhalb der gedämmten Hülle anfallenden Fremdwärme können jedoch nicht genutzt werden. Sie führen zwangsweise zu einem erhöhten Luftwechsel oder einer erhöhten Innentemperatur.

Aufgrund der Ergebnisse des 1. Zwischenberichtes wurden verschiedene neue Arbeitsfelder festgelegt und in der Folgezeit bearbeitet. Gleichzeitig wurde der Projektinhalt und damit auch sein Titel korrigiert: "Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen".

Im Gegensatz zum Auswertungsergebnis des 1. Zwischenberichtes - dem Luftwechsel - wurde der Schwerpunkt dahingehend verlagert, die Auswirkungen der nicht genutzten Fremdwärme auf die Energiebilanz des Gebäudes nicht allein durch einen Differenzluftwechsel, sondern besser durch eine Differenzenergiemenge anzugeben. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil nicht eindeutig nachzuvollziehen ist, ob sich der Anfall von ungeregelter Wärmeabgabe allein in einem erhöhten Luftwechsel oder nicht auch in erhöhten Rauminnentemperaturen und verlängerten Heizzeiten zeigt. Ein geeignetes Verfahren für diese Betrachtung wurde entwickelt (ΔQ -Verfahren).

Parallel wurden typische Kennwerte für die Anlagentechnik im Neubau und Bestand erhoben. Mit dieser Literaturrecherche sollte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der exemplarisch untersuchten Feldprojekte auf den in Deutschland typischen Gebäudebestand übertragbar ist. Der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Gebäudebestand widmeten sich der 2. und 3. Zwischenbericht.

Fazit der Untersuchungen war, dass in baulich sanierten Gebäuden aus den 50er, 60er und 70er Jahren das Problem des "Zwangswärmekonsums" als Reaktion der Nutzer auf ungeregelte Wärmeabgabe der Anlagentechnik noch viel stärker zu Tage tritt, wenn die Anlagentechnik nicht mitsaniert wird. Wärmeenergie einzusparen schließt nicht nur die bauliche Sanierung ein, sondern bedeutet auch Wärmeverluste, die durch die Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe entstehen, zu minimieren.

Der 4. Zwischenbericht lieferte eine genauere Analyse des Zusammenhangs zwischen Raumtemperatur und Luftwechsel sowie weiterer Parametervariationen in einer Energiebilanz. Damit sollte die mögliche Schwankungsbreite des Luftwechsel für das Gebäude, das bereits im 1. Bericht untersucht wurde, aufgezeigt werden.

Diplomarbeiten und Projekte

Als Basis für das mit diesem Bericht abgeschlossene Forschungsvorhaben dienten zahlreiche eigene und fremde Einzelarbeiten.

Aus dem Bestand der eigenen Arbeiten wurden folgende wichtige Projekte herangezogen:

- Feldmessungen an 42 Wohneinheiten: Ökologischer Mietwohnungsbau Duderstadt (abgeschlossen 1998),
- Heiztechnisches Konzept für die EXPO-Siedlung Hannover-Kronsberg (erstellt 1998) mit Zielsetzung: Begrenzung der Wärmeabgabe durch gezielte Auslegungshinweise und Qualitätskontrollen
- Integrale Planung: Qualifizierungsmaßnahmen für die Anlagentechnik des Trainings- und Weiterbildungszentrums am Kronsberg (1997 bis 2001),
- Untersuchungen im Auftrag der Firma Techem: Einfluss der Art des Wärmeverteilnetzes auf den Energiebedarf und Zwangswärmeconsum im sanierten Wohngebäudebestand (erstellt 2002, noch nicht veröffentlicht).

An der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel beschäftigten sich seit Projektbeginn mehrere Projekt- und Diplomarbeiten mit dem Thema:

- C. Halper: "Untersuchung von Einflüssen der Anlagentechnik und der Nutzung auf den Lüftungswärmeverbrauch von Gebäuden"; Diplomarbeit (2002),
- C. Ullrich: "Monatsweise Energetische Bewertung von Mehrfamilienwohnbauten in NEH-Bauweise"; Diplomarbeit (2002),
- K. Schüßler: "Kennwerte für Wärmeverteilnetze in Wohngebäuden"; Diplomarbeit (2001),
- K. Mengazzi: "Evaluation von Energie-Verbrauchsstudien für das Wohngebiet Berlin Kaulsdorf"; Diplomarbeit (2001),
- M. Domagala: "Analyse theoretischer Einflussgrößen und praktischer Verbrauchsmessungen an einem Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus"; Diplomarbeit (2000),
- C. Halper: "Untersuchung der Schwankungsbreite des Luftwechsels in einem Mehrfamilienhaus"; Studienarbeit (2002),
- C. Ullrich: "Untersuchung der Eignung von Jahres-Energiebilanzverfahren zur monatsweisen Bilanzierung der Anlagentechnik"; Studienarbeit (2002),
- K. Schüßler: "Verteilssysteme der Warmwasserheizung"; Studienarbeit (2001),
- K. Jagnow und G. Lanyi: "Bilanzverfahren für NEH im Vergleich"; Projektarbeit (2000).

3. Definitionen und Grundlagen

Dieses Kapitel dient der Erläuterung der wichtigsten Energiekennwerte und deren Verrechnung in einer Energiebilanz. Diese detaillierte Beschreibung dient dem Verständnis der verschiedenen Energiebilanzen, die zur Auswertung der praktischen Verbrauchsdaten verwendet wurden. Sie sind weiterhin Grundlage für die neu entwickelten Bilanzverfahren. Es wird die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Bilanzverfahren erläutert und begründet.

Weiterhin werden Auswirkungen fehlender Qualitätssicherungsmaßnahmen - vor allem der Anlagentechnik - auf den Energieverbrauch eines Gebäudes gezeigt und Möglichkeiten beleuchtet, diese Qualitätssicherungsmaßnahmen in einer Energiebilanz zu berücksichtigen.

3.1. Energiekennwerte

Die nachfolgend erläuterten wichtigen Energiekennwerte sind Bestandteil der im vorliegenden Forschungsvorhaben verwendeten Energiebilanzen.

Für die energetische Bewertung eines Gebäudes hat es sich als praktikabel erwiesen, den Energieverbrauch auf eine größere Anzahl von Verbrauchern und somit Ursachen zurückzuführen. Jedem dieser Energieverbraucher wird ein Energieeinzelkennwert bei der Gebäudebeschreibung zugewiesen. Dieser Einzelkennwert kann ggf. durch weitere andere Einzelkennwerte beschrieben werden. Mehrere Verbraucher (Einzelkennwerte) können auch zu einem übergeordneten Einzelkennwert zusammengefasst werden.

Zum Verständnis: ein Energieverbraucher im Gebäude ist beispielsweise das "Wärmeverteilnetz". Man kann diesem Verbraucher einen Energieeinzelkennwert zuordnen. Dieser Kennwert ist der "Wärmeverlust der Verteilung". Er ist ein Teil des Einzelkennwertes "technische Wärmeverluste", denn darunter werden alle technischen Verluste zusammengefasst, auch die der Wärmespeicherung und Wärmeerzeugung. Andererseits wird der "Wärmeverlust der Verteilung" selbst durch andere Einzelkennwerte, wie beispielsweise "Länge des Verteilsystems" und "mittlere Temperatur in den Leitungen" bestimmt.

Je vielschichtiger die Aufschlüsselung, desto genauer kann das Gebäude abgebildet werden. Die Einzelkennwerte können für jedes Gebäude entweder anhand der realen Bedingungen und Messungen oder anhand von typischen Mittelwerten bestimmt werden - wobei natürlich einsichtig ist, dass bei Wahl von typischen Mittelwerten die Genauigkeit der Energiebilanz abnimmt. Energiekennwerte umfassen sowohl Energieverluste und Energiegewinne für ein Gebäude.

Eine Übersicht ist in Bild 3.1 gegeben.

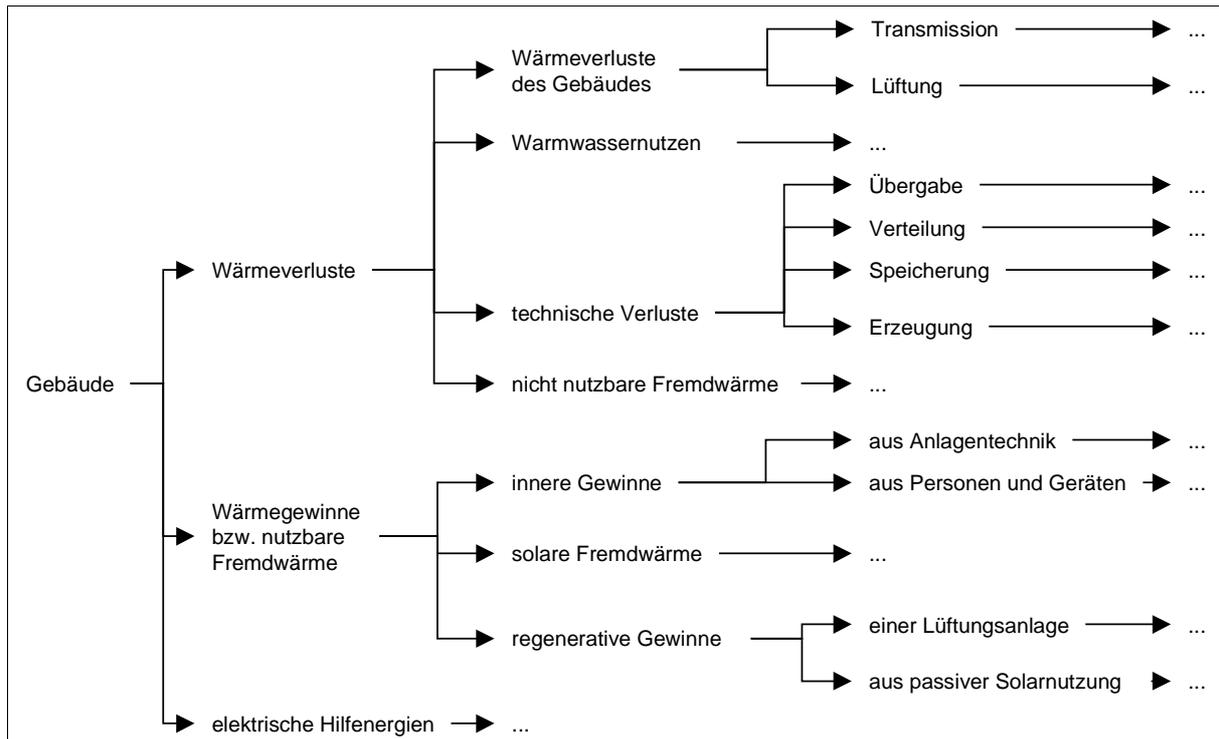


Bild 3.1 Verknüpfung der wichtigsten Energieeinzelkennwerte des Gebäudes

Dieses Bild umfasst die Einzelkennwerte wie sie in den meisten gängigen Bilanzverfahren verwendet werden. An der Stelle der drei Punkte "..." folgen weitere Unterteilungen und Einflussgrößen. Je nach Bilanzverfahren werden diese Energiekennwerte zu Gesamtkennwerten eines Gebäudes zusammengefasst:

- Nutzenergie,
- Endenergie,
- Primärenergie usw.

Bei der Energiebilanz anhand verschiedener Verfahren hat sich herausgestellt, dass die einzelnen Verfahren Kennwerte zwar gleich benennen, aber andere Größen meinen. Für dieses Forschungsvorhaben wichtige Unterschiede einzelner Energiekennwerte und deren Definitionen sind im folgenden erläutert.

3.1.1. Erläuterung einzelner Energiekennwerte

Bezugsfläche

Die Bezugsfläche wird zur Bildung von spezifischen (flächenbezogenen) Energiekennwerten verwendet. Je nach Bilanzverfahren werden verschiedenen Flächen als Bezugsfläche herangezogen. Zwei von ihnen haben sich in den gängigen Bilanzverfahren durchgesetzt: die Energiebezugsfläche und die Nutzfläche.

Die Energiebezugsfläche (A_{EB}) ist die Summe aller Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist. Definiert sind die Wohnfläche im BGBI. II "Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen" von 1990 und die beheizte Nutzfläche in der DIN 277 Teil 2 "Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen" von 1987.

Die Nutzfläche A_N wird aus dem äußeren Gebäudevolumen V_e berechnet. Maßgeblich ist dazu das Gebäudevolumen, das die beheizte Zone umschließt, also üblicherweise der gedämmte Bereich des Gebäudes. Diese Fläche wird auch von der EnEV und deren Berechnungsvorschriften verwendet.

Die Nutzfläche A_N ist im Mittel für Wohngebäude um etwa 25 bis 27 % größer als die Energiebezugsfläche. Sofern nicht anders vermerkt wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens die Energiebezugsfläche als maßgebliche Fläche verwendet.

Heizperiode und Heizgrenze

Die Heizperiode (meist t_{HP}) und die Heizgrenztemperatur (meist ϑ_{HG}) sind zwei der Energieeigenkennwerte, die von sehr vielen Randbedingungen beeinflusst werden. Beide hängen sowohl von der wärmetechnischen Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, als auch von der Anlagentechnik und der Nutzung ab. Gleichzeitig bestimmen sie die Energiebilanz entscheidend mit, denn sehr viele andere Energiekennwerte basieren auf diesen beiden Größen.

Die theoretische Heizgrenztemperatur beschreibt die Außentemperatur, ab der ein Gebäude nicht mehr durch die Heizungsanlage versorgt werden muss. Sie hängt von den Wärmeverlusten und den Wärmegewinnen des Gebäudes ab.

Die Heizgrenztemperatur (A) ist dann erreicht, wenn die Wärmegewinne gerade die Wärmeverluste decken. Fallen mehr Gewinne als Verluste an, muss nicht mehr geheizt werden.

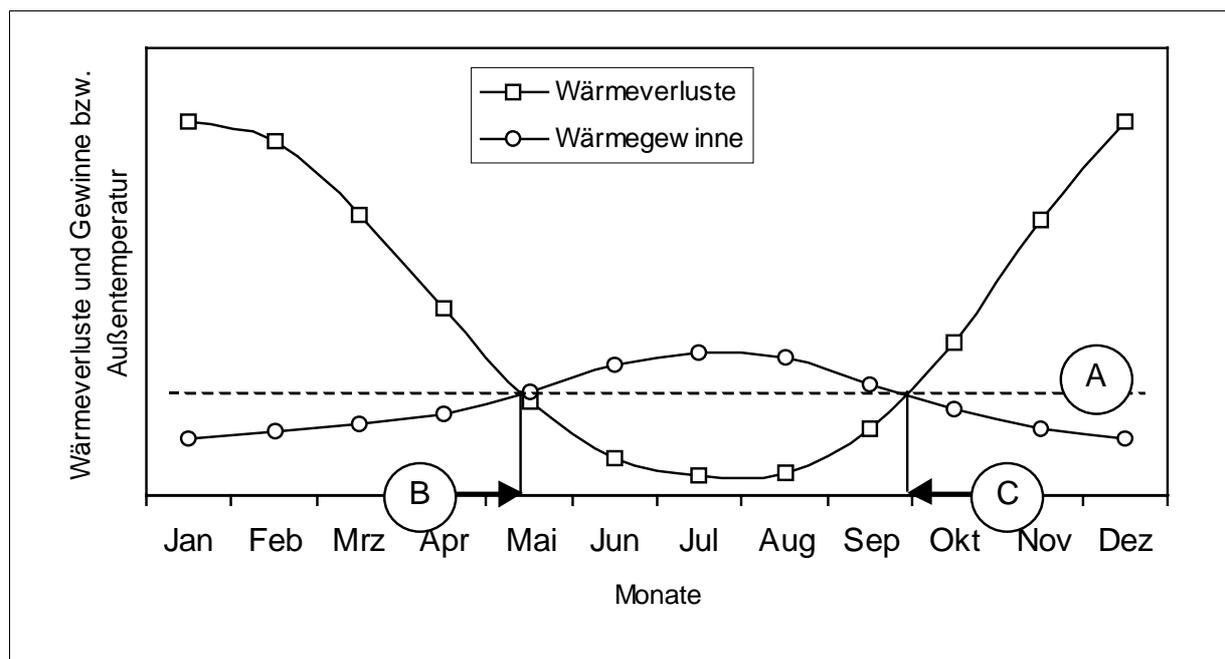


Bild 3.2 Heizgrenztemperatur und Heizperiode

Die theoretische Heizperiode entspricht der Anzahl der Tage im Jahr, die ein Gebäude durch die Heizungsanlage versorgt wird. Sie beginnt, wenn die Wärmegewinne die Wärmeverluste nicht mehr decken im Herbst. Im Bild 3.2 ist dies Punkt (C). Die Heizperiode endet, im Frühjahr, wenn die Außentemperatur höher ist als die Heizgrenztemperatur. Im Bild 3.2 ist dies im Punkt (B) erreicht. Dies ist eine vereinfachte Betrachtung. Selbstverständlich treten auch in der Übergangszeit und im Sommer abwechselnde Perioden mit bzw. ohne Heizwärmebedarf auf.

Die reale Heizperiode eines Gebäudes kann länger sein und hängt von der Regelung der Anlagentechnik ab. Die Heizperiode kann durch entsprechend schlecht geregelte Anlagentechnik künstlich verlängert werden, wenn die Anlage z.B. aufgrund von Reglereinstellungen noch bis in den Sommer hinein Wärme vorhält, obwohl die theoretische Heizgrenze bereits längst überschritten ist.

Heizgrenztemperatur und Heizperiode hängen voneinander ab. Beide werden wesentlich vom Klima bestimmt.

Mittlere Außentemperatur

Die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode wird von der Heizgrenztemperatur und der Länge der Heizperiode bestimmt. Die mittlere Außentemperatur wird anhand der Tagesmitteltemperaturen während der Heizzeit bestimmt. Sie ist um so geringer je kürzer die Heizperiode ist, da die Heiztage sich dann immer weiter in den Winter verschieben.

Sie kann auch für jeden Monat angegeben werden. Dann entspricht sie dem Mittelwert aller Tagesmitteltemperaturen in den Heizzeiten eines Monats.

Temperaturniveau im Raum

Das Temperaturniveau im Raum (meist ϑ_i) wird in den verschiedenen Energiebilanzverfahren unterschiedlich definiert. Zum einen kann eine ideale Innentemperatur, zum anderen auch eine reale Innentemperatur herangezogen werden. Weiterhin gibt es die Lufttemperatur und die Empfindungstemperatur.

Die ideale Innentemperatur ist der Sollwert der Temperatur in den Räumen. Sie hängt von den Komfortansprüchen der Nutzer ab. Haben unterschiedliche Räume eines Gebäudes verschiedene Sollwerte, können diese in erster Näherung anhand der Raumvolumina oder Grundflächen bzw. Außenwandflächen und ihrer anteiligen Transmissionswärmeverluste gemittelt werden.

Die reale oder mittlere Innentemperatur (meist ϑ_{im}) berücksichtigt neben dem Temperatursollwert u.a. auch die Einflüsse der Regelung. Verminderte Temperaturen aufgrund von Absenk- oder Abschaltphasen der Raumheizung können ebenso berücksichtigt werden wie erhöhte Temperaturen aufgrund der Güte der realen, mit Regelabweichungen verbundenen Temperaturregelung im Raum im Zusammenspiel mit der zentralen Vorregelung.

Die Lufttemperatur ist - wie es der Name schon sagt - die Temperatur, welche die Raumluft aufweist. Die Empfindungstemperatur ist eine gewichtete Temperatur zwischen der Oberflächentemperatur der Innenwände und der Lufttemperatur. Der Mensch empfindet die Oberflächentemperatur der Wände (aufgrund seiner Wärmeabstrahlung) mit. Je niedriger die Oberflächentemperatur der Wände, desto höher muss die Lufttemperatur sein, um einen Ausgleich zu schaffen. In älteren Gebäuden mit schlecht gedämmten Außenwänden - und folglich geringen Oberflächentemperaturen an den Innenseiten der Außenwände - führen nur höhere Lufttemperaturen zur gleichen Empfindungstemperatur. In den gängigen Bilanzverfahren wird - physikalisch richtig - die Lufttemperatur zur Energiebilanz herangezogen. Für ältere Gebäude wird ggf. ein höherer Sollwert der Lufttemperatur verwendet.

Die reale mittlere Innentemperatur liegt vor allem zu Zeiten erhöht anfallender Fremdwärme oberhalb der Solltemperatur - z.B. in den Übergangsmonaten, wenn Fremdwärme aufgrund nutzungsbedingter, regelungstechnischer, anlagentechnischer oder gebäudetechnischer Gegebenheiten nicht sofort genutzt werden kann.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden verschiedene Bilanzverfahren und damit verschiedene Ansätze für Innentemperaturen verwendet. Eine genauere Zusammenstellung liefern die Kapitel 4.2 bis 4.5.

Gradtagszahl und Heizgradtage

Gradtagszahlen (meist G_t oder F_{Gt}) und Heizgradtage (G) sind zwei Energieeinzelkennwerte, die sich vollständig aus anderen Größen ableiten lassen. Die Gradtagszahl ist die Differenz zwischen Raumtemperatur und mittlerer Außentemperatur ϑ_{am} für alle Heiztage einer Heizperiode t_{HP} . Die Heizgradtage sind die Differenz zwischen Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und mittlerer Außentemperatur ϑ_{am} für alle Heiztage einer Heizperiode t_{HP} . Sowohl Gradtagszahlen als auch Heizgradtage lassen sich auch monatlich angeben. Das maßgeblichen Zeitintervall ist dann nicht die Heizzeit, sondern sind die Tage (oder Heiztage) pro Monat.

Bei der Bestimmung der Gradtagszahl kann entweder die mittlere Innentemperatur ϑ_{im} inklusive aller Regelungseinflüsse oder die ideale Sollinnentemperatur herangezogen werden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden verschiedene Bilanzverfahren und damit verschiedene Ansätze für Gradtagszahlen und Heizgradtage verwendet. Eine genauere Zusammenstellung liefern die Kapitel 4.2 bis 4.5.

Spezifische Transmissionsheizlast bzw. spezifischer Transmissionswärmeverlust

Die spezifische Transmissionsheizlast oder der spezifische Transmissionswärmeverlust (meist H_T) ist ebenfalls ein zusammengesetzter Energiekennwert. In ihm sind zwei wesentlich Eigenschaften des Gebäudes vereinigt: die Größe der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A und der mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten für die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes U_m . Der Wärmedurchgangskoeffizient kann mit oder ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken angegeben werden.

Im Rahmen dieses Vorhabens wird der Transmissionswärmeverlust unter Berücksichtigung des Wärmebrückeneinflusses bestimmt, sofern nicht anders vermerkt.

Transmissionswärmeverlust bzw. Transmissionswärmebedarf

Der Transmissionswärmeverlust oder Transmissionswärmebedarf (meist Q_T) wird aus der spezifischen Transmissionsheizlast H_T und der Gradtagszahl G_t bestimmt.

Luftwechsel bzw. Luftwechselrate

Der Luftwechsel (n) ist ein Maß dafür, wie oft das beheizte Luftvolumen in einer Zeiteinheit ausgetauscht wird. Er ist eine in der Praxis kaum messbare Größe (nur Momentanwerte können mit Hilfe komplexer Messverfahren, z.B. mit Hilfe einer Tracergasmessung, erfasst werden).

Der Luftwechsel n ist eine Überlagerung von Fugen- und Fensterlüftung sowie dem Anlagenluftwechsel, wenn eine Lüftungsanlage vorhanden ist. Es wird also von der Güte des Gebäudes, dem Nutzerverhalten und der Anlagentechnik bestimmt. Aufgrund der verschiedenen Verursacher wird bei der Bestimmung des Luftwechsels in verschiedene Teilluftwechsel unterschieden. Diese Unterteilungen sind jedoch für verschiedene Bilanzverfahren unterschiedlich.

Im allgemeinen weisen alle Bilanzverfahren den mechanischen bzw. Anlagenluftwechsel aus. Der übrige Luftwechsel - eine Mischung der Einflüsse von Gebäudeundichtheiten und Nutzer - wird entweder als Restluftwechsel oder natürlicher Luftwechsel bezeichnet. Ist keine Lüftungsanlage vorhanden, gibt es nur den natürlichen Luftwechsel.

Für die Bilanzierung der Lüftungswärmeverluste werden je nach Bilanzverfahren entweder der Gesamtluftwechsel (bestehend aus den Anteilen für die Anlage, die Gebäudeundichtheiten und den Nutzer) oder der energetische Luftwechsel eingesetzt.

Der Unterschied liegt in der Bewertung einer ggf. vorhandenen Einrichtung zur Wärmerückgewinnung in der Anlagentechnik. Wird der Gesamtluftwechsel einfach durch Addition der Teil-Luftwechsel (n_{Anlage} , n_{Rest}) bestimmt, dann ist keine Wärmerückgewinnung berücksichtigt. Wird jedoch der energetische Luftwechsel verwendet, dann ist berücksichtigt, dass der Teil der Luft, der über die Wärmerückgewinnung in das Gebäude strömt, nicht mittlere Außenlufttemperatur hat, sondern bereits teilweise vorgewärmt ist. Der energetische Luftwechsel ist geringer als der Gesamtluftwechsel.

Der reale Luftwechsel umfasst neben den genannten Teilluftwechseln auch die Abführung eines Teils der ungenutzt anfallenden Fremdwärme aus dem Gebäude. Da das Thema "Lüftungswärmeverlust" im Zentrum der Betrachtungen dieses Forschungsvorhabens steht, widmet sich Kapitel 3.3 dem Problem eingehender.

Spezifische Lüftungsheizlast bzw. spezifischer Lüftungswärmeverlust

Die spezifische Lüftungsheizlast oder der Lüftungswärmeverlust (meist H_V) ist wie die spezifische Transmissionsheizlast ein zusammengesetzter Energiekennwert. Sie wird bestimmt durch den zugrunde gelegten Luftwechsel, die Größe des belüfteten Volumens V_L und die Stoffeigenschaften der Luft. Dies sind die Dichte ρ und die spezifische Wärmespeicherkapazität c_p .

Lüftungswärmeverluste bzw. Lüftungswärmebedarf

Der Lüftungswärmeverlust oder Lüftungswärmebedarf (meist Q_V , auch Q_L) wird aus der spezifischen Lüftungsheizlast H_V und der Gradtagszahl G_t bestimmt.

Passive solare Fremdwärme

Passive solare Fremdwärme (meist Q_S) ist die Folge direkter Sonneneinstrahlung durch transparente (und nichttransparente) Bauteile. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird ausschließlich passive solare Fremdwärme durch transparente Bauteile berücksichtigt. Die Menge wird bestimmt durch die Größe und Ausrichtung der Fenster zur Sonne, dem Energiedurchlassgrad der Fenster sowie Einflüssen der Verschattung und Verschmutzung.

In der klassischen Energiebilanz zählt die anfallende passive solare Fremdwärme zunächst einmal als Fremdwärmeanfall. Dies drückt aus, dass sie nicht voll zur Deckung der Wärmeverluste beitragen kann, weil sie unregelmäßig auch dann auftritt, wenn keine Heizwärme benötigt wird. Den Teil des Fremdwärmeanfalles, der tatsächlich zu Heizzwecken benutzt wird, nennt man den nutzbaren solaren Fremdwärmegehalt.

Innere Fremdwärme

Alle Objekte innerhalb des beheizten Bereiches des Gebäudes mit einer Temperatur über der Raumtemperatur geben Wärme ab. Innere Fremdwärme (meist Q_I bzw. Q_i) ist auf die Wärmeabgabe von Personen, elektrischen Geräten und beheizten Komponenten der Anlagentechnik zurückzuführen.

Die im Verlaufe einer Heizperiode anfallende innere Fremdwärme wird in der üblichen Energiebilanz analog zur solaren Fremdwärme behandelt. Sie zählt zunächst einmal als Fremdwärmeanfall, weil sie unregelmäßig auch dann auftritt, wenn keine Heizwärme benötigt wird. Den Teil des Fremdwärmeanfalles, der tatsächlich zu Heizzwecken benutzt wird, nennt man den nutzbaren inneren Fremdwärmegehalt.

Verschiedene Bilanzverfahren berechnen die innere Fremdwärme (und auch den davon nutzbaren Anteil) unterschiedlich. Es gibt Bilanzverfahren, in denen alle inneren Wärmequellen wie oben beschrieben berücksichtigt werden. Andere Verfahren bilanzieren nur einen Teil der inneren Wärmequellen - die Personen und Geräte. Die Fremdwärme aus der Anlagentechnik wird anhand anderer Energiekennwerte berücksichtigt. Teilweise werden Wärmegewinne aus Anlagentechnik gar nicht betrachtet, teilweise werden sie als sogenannten Wärmegutschriften berücksichtigt.

Da die Frage der inneren Fremdwärme sehr eng an das Forschungsthema "Bedarfslüftung im Wohnungsbau" geknüpft ist, beschreiben die Kapitel 4.2 bis 4.5 das genaue Vorgehen bei der Bilanzierung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens.

Fremdwärmeanfall und unregelmäßige Wärmeabgabe

Der Fremdwärmeanfall wird durch zwei andere Kennwerte bestimmt: die Fremdwärme aus passiver solarer Einstrahlung und die innere Fremdwärme. Der Fremdwärmeanfall ist der Energiebetrag, der innerhalb des beheizten Bereiches eines Gebäudes aus anderen Energiequellen als den Heizflächen (bei Luftheizung den Luftauslässen) emittiert wird. Alle diese Fremdwärmequellen geben ihre Wärme unregelmäßig ab, also auch dann, wenn keine Heizwärme benötigt wird. Deshalb wird der Fremdwärmeanfall auch unregelmäßige Wärmeabgabe genannt.

Der Begriff "unregelmäßige Wärmeabgabe" wird nach Ansicht der Autoren erst in diesem Forschungsvorhaben und den vorausgegangenen Arbeiten publiziert.

Die gängigen Energiebilanzen berücksichtigen, dass die angefallene Fremdwärme nur teilweise genutzt werden kann. Der nicht nutzbare Teil führt in der Praxis zu erhöhten Raumtemperaturen und/oder erhöhten Luftwechseln. Aus diesem Ansatz heraus kann ein realer Luftwechsel definiert werden. Neben den im Normalfall schon enthaltenen Teil-Luftwechseln aus Anlagentechnik und Gebäudeundichtheiten sowie dem natürlichen Lüftungsverhalten der Nutzer umfasst dieser noch zusätzlich das Ablüften der nicht nutzbaren Wärmeüberschüsse. Den Autoren ist keine Energiebilanz bekannt, die diesen Kennwert verwendet, obwohl er die Realität abbildet. Weitere Ausführungen zu diesem Thema finden sich in Kapitel 3.3.

Ausnutzungsgrad der Fremdwärme

In der üblichen Energiebilanz wird ein Ausnutzungsgrad der Fremdwärme oder Fremdwärmenutzungsgrad (meist η_F , auch η_e oder η) verwendet. Er ist ein dimensionsloser Umrechnungsfaktor zwischen dem Fremdwärmeanfall und den davon nutzbaren solaren und inneren Wärmegegewinnen und hängt von diversen Einflussgrößen der Nutzung, Anlagentechnik und des Gebäudes ab.

Der Ausnutzungsgrad der Fremdwärme η wird je nach Art des Bilanzverfahrens unterschiedlich ermittelt. Teilweise sind Festwerte definiert oder es werden empirische Formeln zur Berechnung herangezogen. Grundlage für eine Berechnung sind üblicherweise die Höhe des Fremdwärmeanfalles und der Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung. Andere Verfahren berücksichtigen zusätzlich die Speicherfähigkeit des Gebäudes und die Art der Regelung der Temperatur im Raum u.ä.

Mit der Problematik des Fremdwärmenutzungsgrades beschäftigt sich Kapitel 3.1.3 vertieft.

Wärmegegewinne

Die Wärmegegewinne sind der nutzbare Anteil des Fremdwärmeanfalles. Sie werden durch zwei bereits erläuterte Energieeinzelkennwerte bestimmt: die Höhe des Fremdwärmeanfalles und des Nutzungsgrades für Fremdwärme. Wärmegegewinne werden auch "nutzbare Wärmegegewinne" genannt.

Wärmeverluste (Aufwand) der Wärmeübergabe

Die Wärmeverluste der Wärmeübergabe (in der neuen VDI 2067 auch als Aufwand bezeichnet) werden nicht in jedem Bilanzverfahren verwendet. Während einige Bilanzverfahren mit einer erhöhten Innentemperatur ggf. auch mit einem erhöhten Luftwechsel und einer verlängerten Heizzeit rechnen, definieren andere den Wärmeverlust der Übergabe (meist Q_{ce}). Er ist die Energiemenge, die auf das Phänomen der Temperaturabweichung und auch teilweise einer erhöhten Lüftung (ideales System verglichen mit dem realen System) zurückzuführen ist.

Die Theorie, die für die Ermittlung dieser Größe zugrunde gelegt wird, ist folgende: die Soll-Innentemperatur eines Gebäudes und die reale Temperatur unterscheiden sich. Dies ist auf die Art der Wärmeübergabe und Temperaturregelung zurückzuführen. Üblicherweise erhöhen der Regler (Funktionsprinzip) und die Regelstrecke (Trägheit, Zeitverhalten und Ansprechempfindlichkeit der Wärmeübergabeeinrichtungen) im gemeinsamen Zusammenspiel mit dem Raum und dem Gebäude und den Störgrößen, z.B. Fremdwärmeanfall, das Temperaturniveau gegenüber dem Sollwert.

Diese Energiemenge ist explizit nicht messbar, im Gegensatz zur mittleren Temperaturabweichung im Jahr. Welches Verfahren der Anrechnung der Wärmeübergabeverluste in den einzelnen Bilanzverfahren angewendet wird, erläutern die Kapitel 4.2 bis 4.5.

Wärmeverluste der Verteilung

Die Wärmeverluste von Verteilungen werden ebenfalls in den unterschiedlichen Bilanzverfahren verschieden berücksichtigt.

In älteren Verfahren wird oft ein pauschaler Nutzungsgrad der Verteilung definiert. Dieser setzt die folgenden beiden Energiemengen ins Verhältnis: die Energiemenge, die aus einem Verteilsystem jährlich entnommen wird und die Energiemenge, die dafür hineinfließen muss. Zwischen diesen beiden Energiemengen stehen die Wärmeverluste der Verteilung (meist Q_d). Neuere Energiebilanzverfahren bestimmen diesen Energiekennwert nur als absolute Größe. Üblicherweise wird in Verteilverluste der Heizleitungen, der Lüftungsleitungen und der Trinkwarmwasserleitungen unterschieden.

Die Bilanzierung der Wärmeabgabe eines wärmedurchströmten Rohrabschnittes (bzw. des Abschnittes eines Lüftungskanals) ist für alle Bilanzverfahren zunächst gleich und nur von der Physik bestimmt: ausschlaggebend für die Verluste sind die Länge und der Umfang des Rohres, die mittlere Temperatur innerhalb und außerhalb des Rohres im Betrachtungszeitraum und der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Rohrerem und der Umgebung. Der Ansatz ähnelt dem der Bestimmung der Transmissionswärmeverluste für das Gebäude.

Die Bilanzierung der Kenngröße "Wärmeverluste des gesamten Verteilsystems" ist wiederum von Verfahren zu Verfahren verschieden. Es gibt Bilanzen, die von vornherein davon ausgehen, dass ein Teil oder der gesamte Wärmeverlust von Leitungen und Kanälen zur Raumheizung genutzt werden - sofern sich die betreffenden Abschnitte im beheizten Bereich befinden. Diese Verfahren bilanzieren als Energiekennwert der "Verteilverluste" nur die echten Wärmeverluste, also nur den nicht nutzbaren Anteil der Wärmeabgabe. Die Wärmeabgabe der Verteilleitungen wird in diesen Verfahren nicht als innere Fremdwärme angesehen und bewertet.

Andere Verfahren bilanzieren zunächst einmal alle Wärmeverluste der Verteilung als Verluste. In diesen wird der Anteil der Wärmeverluste, der zur Raumheizung beitragen kann, als Fremdwärmeanfall in Rechnung gestellt und bewertet.

Da diese beiden Ansätze parallel von den verschiedenen Berechnungsverfahren verwendet werden, sind Energiekennwerte der Verteilung oft nicht unmittelbar untereinander vergleichbar.

Wärmeverlust von Speichern

Für die Speicher können fast alle Aussagen, die für das Verteilsystem gemacht wurden, übertragen werden.

Ältere Verfahren bilanzieren Speicher oft über Jahresnutzungsgrade, mitunter als kombinierte Nutzungsgrade inklusive des Verteilsystems. Ins Verhältnis werden dann die folgenden Energiemengen gesetzt: die Energiemenge, die aus dem Speicher (ggf. aus dem Verteilsystem) jährlich entnommen wird und die Energiemenge, die dafür in den Speicher hineinfließen muss. Wird die Betrachtung allein auf den Speicher beschränkt, dann steht zwischen dem Energieinput in den Speicher und dem Energieoutput aus dem Speicher der Wärmeverlust der Speicherung (meist Q_s).

Neuere Energiebilanzverfahren bestimmen diesen Energiekennwert als absolute Größe. Üblicherweise wird in Speicherverluste der Heizung und der Trinkwarmwasserbereitung unterschieden.

Die Bilanzierung der Kenngröße "Wärmeverlust des Speichers" ist auch hier von Verfahren zu Verfahren verschieden. Es gibt die beiden bereits für die Verteilung beschriebene Ansätze. Ein Ansatz bilanziert die Speicherverluste sofort vermindert, weil ein Teil oder der gesamte Wärmeverlust des Speichers zur Raumheizung verwendet werden kann (wenn der Speicher im beheizten Bereich aufgestellt ist), der andere Ansatz bilanziert die Wärmeverluste erst einmal voll und setzt dann den teilweise nutzbaren Verlust als Fremdwärme an.

Auch hier sei der Hinweis gegeben, dass Energiekennwerte der Speicherung aus verschiedenen Bilanzverfahren oft nicht unmittelbar untereinander vergleichbar sind.

Wärmeverlust von Wärmeerzeugern

Ein Wärmeerzeuger kann anhand verschiedener Energieeinzelkennwerte beschrieben werden, zum einen anhand seiner absoluten Wärmeverluste, zum anderen auch durch Aufwandszahlen oder Nutzungsgrade. An dieser Stelle soll zunächst auf die absoluten Verluste der Erzeugung (meist Q_g) eingegangen werden, die Definition der anderen beiden Energiekennwerte folgt.

Wird ein Wärmeerzeuger als "Black Box" unabhängig von seiner Charakteristik betrachtet, so ist er ein Teil der Anlagentechnik, in den Energie hinein strömt, ggf. umgewandelt wird und wieder heraus fließt. Diese Energieströme müssen nicht derselben Energieform angehören, können es aber. Beispiel für unterschiedliche Energieformen sind Wärmepumpen (thermische Umweltenergie und elektrische Energie werden zu thermischer Energie) oder Kessel (chemisch gebundene Energie wird zu thermischer Energie). Ein Beispiel für gleiche Energieform ist eine Fernwärmeübergabestation (vorher wie nachher thermische Energie). Werden alle Wärmeerzeuger nach diesem Schema betrachtet, dann können auch Solaranlagen und die Wärmerückgewinnung einer Lüftungsanlage als Wärmeerzeuger angesehen werden.

Die zweite Charakteristik des Wärmeerzeugers als "Black Box" ist, dass die Höhe der in den Erzeuger insgesamt eingeflossenen Energien (Input) und die Höhe der aus dem Erzeuger als Nutzen abgegebenen Energien nicht gleich groß sind. Zwischen diesen beiden Größen stehen immer die Wärmeverluste des Erzeugers.

Die Verluste jedes beliebigen Erzeugers können in "Verluste des Betriebes" und "fixe Verluste" unterschieden werden. Für Kessel sind ähnliche Größen bereits heute gängige Werte. Annähernd fixe Verluste sind Bereitschaftsverluste außerhalb der Betriebszeit sowie Strahlungsverluste während der Betriebszeit. Verluste des Betriebes sind Abgasverluste und Vorspülverluste des Brenners vor dem Brennerstart. Die Betriebszeit ist dabei die Zeit, in der die wirkliche Energieumwandlung erfolgt - eine Vorspülung vor dem Brennerstart gehört damit eigentlich nicht zur Betriebszeit, wird jedoch aus Vereinfachungsgründen häufig dazugerechnet.

Zur Bestimmung der Wärmeerzeugerverluste werden nur endliche Energien als Input berücksichtigt und alle Energiemengen werden anhand ihres Heizwertes bilanziert. Für eine Wärmepumpe ergeben sich daher rein rechnerisch negative Wärmeerzeugerverluste.

Nutzungsgrad, Aufwandszahl und Deckungsanteil eines Wärmeerzeugers

Der Jahresnutzungsgrad eines Wärmeerzeugers (meist η_a oder einfach η) ist ein Energiekennwert, der vor allem in den konventionellen Energiebilanzverfahren verwendet wird.

Aus der Betrachtung der Wärmeverluste der Erzeugung lässt sich der Nutzungsgrad einfach ableiten. Er ist das Verhältnis der Energie, die aus dem Wärmeerzeuger fließt (vereinfacht "Nutzen" genannt), zu der Energie, die in den Erzeuger fließt (üblicherweise "Aufwand"). Betrachtungszeitraum für diese Angabe ist üblicherweise ein Jahr. Bei der Betrachtung des Aufwandes und des Nutzens eines Erzeugers spielt es keine Rolle, um welche Energieformen es sich handelt. Alle Energieträger werden gleich behandelt. Regenerative Energien werden nicht in die Bilanz einbezogen.

Daher ergeben sich für rein regenerative Erzeuger, wie Solaranlagen und Wärmerückgewinnungen, Nutzungsgrade von null (kein Aufwand vorhanden). Für konventionelle Erzeuger wie Kessel oder Direktstromerzeuger liegen die Werte zwischen null und eins (der Nutzen ist kleiner als der Aufwand) und für alle Wärmepumpenprozesse ergeben sich üblicherweise Werte über eins (der Nutzen ist größer als der Aufwand). Abweichungen können bei Erzeugern auftreten, die den Brennwert eines Brennstoffes nutzen (Brennwertkessel). In diesem Fall kann der Nutzen auch größer sein als der Energieinhalt des Brennstoffes. Das liegt an der üblichen Betrachtungsweise, die den Energieinhalt eines Brennstoffes anhand seines Heizwertes bestimmt.

Die Aufwandszahl des Wärmeerzeugers (meist e_g) ist der Kehrwert des Nutzungsgrades.

Deckungsanteile (meist a oder α) sind dimensionslose Energiekennwerte, die bei der Bewertung von Anlagen mit mehr als einem Wärmeerzeuger helfen. Ein Deckungsanteil gibt an, wie hoch der Anteil eines Erzeugers an der gesamten Energieanforderung des Gebäudes und der Anlagentechnik nach der Wärmeerzeugungsanlage ist. Da alle Erzeuger zusammen die Energieanforderung voll erfüllen müssen, ist die Summe aller Deckungsanteile eins.

Ein Beispiel zur Verdeutlichung: für die Trinkwarmwasserbereitung sollen zwei Erzeuger eingesetzt werden, eine Wärmepumpe und ein Heizstab zur Nachheizung. Für diese Kombination kann die Aussage gemacht werden, dass die Wärmepumpe beispielsweise 95 Prozent der benötigten Energie liefert, der Heizstab 5 Prozent. Die Deckungsanteile sind dann 0,95 und 0,05. Die gemeinsam erzeugte Energie wird anschließend in Form von Warmwasser gespeichert, verteilt und an den Nutzer übergeben.

Der Deckungsanteil kann berechnet werden aus absoluten Energiemengen. Ins Verhältnis werden dann die folgenden Energien gesetzt: die Energiemenge, die der betrachtete Erzeuger an das System übergibt zu der Energiemenge, die alle Erzeuger zusammen an das System übergeben. Relevant ist der "Nutzen" (Energie-Output) des Erzeugers.

Nicht alle Bilanzverfahren rechnen mit Deckungsanteilen, einige verwenden sofort die absoluten Energiemengen, die einzelne Erzeuger abgeben, ohne Deckungsanteile zu bestimmen. Deckungsanteile sind also Hilfsgrößen.

Die Energiebilanzen im Rahmens dieses Forschungsprojektes greifen, sofern möglich, auf die Betrachtungsweise der absoluten Erzeugerverluste zurück.

3.1.2. Problematik der Nutzendefinition

Mit Hilfe der Energiekennwerten eines Gebäudes können verschiedene Bilanzebenen dargestellt werden, z.B. die Bilanz der Nutzenergie oder der Endenergie eines Gebäudes. Die Bilanzenebene der Nutzenergie ist mit gewissen Problemen behaftet, die nachfolgend erörtert werden sollen.

Der wichtigste Fakt, der in Zusammenhang mit der Bilanzierung der Nutzenergie eines Gebäudes zu nennen ist, soll an dieser Stelle gleich vorweg genommen werden: Die Nutzenergie des Gebäudes verstehen verschiedene Bilanzverfahren unterschiedlich.

Grundsätzlich umfasst die Nutzenergie sowohl den Nutzen der Raumheizung als auch den Nutzen der Trinkwarmwasserbereitung. Der Nutzen der Trinkwarmwasserbereitung wird im allgemeinen in allen Verfahren ähnlich bilanziert. Die Vorgehensweise soll an dieser Stelle nicht vertieft werden.

Die Bilanzierung des Nutzens der Raumheizung ist der nicht eindeutige Teil. An dieser Stelle sollen zwei verschiedene Bilanzen vorgestellt werden: das Verfahren der EnEV 2002 und ihrer begleitenden Normen und das für die praktische Energieanalyse entwickelte bzw. weiterentwickelte Gesamtbilanzverfahren. Beide werden zur Auswertung und Bewertung der Praxisprojekte verwendet. Zum Verständnis der Zusammenhänge wird auf die Erläuterung der Energieeinzelkennwerte (vergleiche Kapitel 3.1.1) verwiesen.

Der Nutzen für die Raumheizung wird in beiden Verfahren anhand derselben fünf Energiekennwerte bilanziert. Diese Kennwerte werden jedoch bereits selbst unterschiedlich ermittelt.

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_I)$$

Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über Randbedingungen der Bilanzierung.

Energiekennwert		EnEV 2002 und Rechenverfahren	Gesamtbilanzverfahren
Wärmeverluste der Transmission Q_T	Gemeinsamkeiten	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der wärmeübertragenden Umfassungsflächen; Hüllfläche; mittlere Außentemperatur; Heizperiode	
	Unterschiede	Soll-Innentemperatur; Berücksichtigung der Heizunterbrechung durch verminderte Transmissionsverluste	mittlere Innentemperatur mit Berücksichtigung von Heizunterbrechung und Temperaturregelung
Wärmeverluste der Lüftung Q_V	Gemeinsamkeiten	Luftvolumen; Stoffwerte der Luft; mittlere Außentemperatur; Heizperiode; Gesamtluftwechsel	
	Unterschiede	Soll-Innentemperatur; Berücksichtigung der Heizunterbrechung durch verminderte Lüftungsverluste;	mittlere Innentemperatur mit Berücksichtigung von Heizunterbrechung und Temperaturregelung
Nutzungsgrad der Fremdwärme η	Unterschiede	Festwert für die Anlagentechnik; je nach Verfahren Festwert oder ggf. variabel für die Fremdwärme aus Personen, Geräten und Solareinstrahlung; nur von Gebäudeeigenschaften bestimmt	variabel für alle Arten von Fremdwärme; von der Höhe der Wärmeverluste des beheizten Raumes, der Fremdwärme und der Regelung bestimmt
passive solare Fremdwärme Q_S	Gemeinsamkeiten	Fenstergröße; Fensterausrichtung; Energiedurchlassgrad der Fenster; Abminderungsfaktoren	
innere Fremdwärme Q_I	Gemeinsamkeiten	innere Fremdwärme aus Personen, elektrischen Geräten	
	Unterschiede	Fremdwärme aus Trinkwarmwasserbereitung ggf. als Gutschrift berücksichtigt; aus Heizung und Lüftung mit einem konstanten Faktor von 0,85 berücksichtigt	Fremdwärme der Anlagentechnik berücksichtigt

Tabelle 3.1 Bilanzierung des Nutzens für die Raumheizung

Das Ergebnis nennen die EnEV 2002 und zugehörige Normen: den Jahresheizwärmebedarf. Das hier alternativ vorgestellte Gesamtbilanzverfahren bezeichnet die Größe als: die geregelte Wärmeabgabe der Raumheizung. Die Größen unterschieden sich nicht nur im Namen, sondern auch zahlenmäßig, da bereits die fünf Einzelkennwerte andere Werte haben.

Geregelte Wärmeabgabe der Raumheizung

Die geregelte Wärmeabgabe ist in der Fachwelt in der ein relativ neuer Energiekennwert. Der Begriff wird in der klassischen Energiebilanz nicht verwendet, weil die geregelte Wärmeabgabe in den meisten Energiebilanzverfahren nicht bestimmt wird. Nach Ansicht der Autoren wird der Begriff erst im Zusammenhang mit dieser Forschungsarbeit und den vorausgehenden Veröffentlichungen geprägt.

Die in einem Gebäude frei werdenden Energien, welche die Wärmeverluste des beheizten Raumes decken, können grundsätzlich der geregelten und der unregulierten Wärmeabgabe zugeordnet werden. Unter geregelter Wärmeabgabe werden alle Energien verstanden, die von den Heizflächen (oder durch Luftauslässe bei einer Luftheizung) geregelt innerhalb des Gebäudes abgegeben werden. Der Energiekennwert unregulierte Wärmeabgabe (alle inneren Fremdwärmequellen und die passive solare Fremdwärme) ist in Kapitel 3.1.1 erläutert. Die geregelte Wärmeabgabe ist messbar.

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf ist die nicht messbare Energiemenge, die sich aus der Differenz der Energieverluste aus Transmission und Lüftung und Energiegewinne aus solarer Einstrahlung sowie Personen- und Geräteabwärme ergibt. Er wird im Rahmen der meisten Energiebilanzverfahren verwendet bzw. zumindest so genannt, auch wenn einzelne Bilanzverfahren teilweise andere Ausgangsgrößen verwenden. Der Heizwärmebedarf ist in der Praxis nicht messbar.

Fazit der Bilanzierung eines Nutzens für das Gebäude: die Angabe eines Nutzens ist je nach Bilanzverfahren verschieden. Zumindest deshalb erscheint für die Bilanzierung des Gebäudes die Angabe einer Nutzenergie (Raumheizung plus Trinkwarmwasserbereitung) als nicht sinnvoll.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden verschiedene Bilanzverfahren angewendet und damit sowohl der Heizwärmebedarf als auch die geregelte Wärmeabgabe der Raumheizung bestimmt. In den im Rahmen dieser Arbeit weiterentwickelten Bilanzverfahren wird nur die geregelte Wärmeabgabe der Raumheizung verwendet (Kapitel 4.3).

3.1.3. Problematik des Fremdwärmenutzungsgrades

Ein im Verlauf der Projektbearbeitung aufgetretenes und offensichtlicher werdendes Problem ist die Definition des Fremdwärmenutzungsgrades in einer Energiebilanz.

Die Kenngröße des Fremdwärmenutzungsgrades bzw. Ausnutzungsgrades der Fremdwärme (meist η_F , auch η_e oder η) ist in jeder üblichen Energiebilanz enthalten. Er ist ein dimensionsloser Umrechnungsfaktor zwischen dem Fremdwärmeanfall und den nutzbaren inneren Wärmegewinnen. Der Ansatz des Fremdwärmenutzungsgrades berücksichtigt folgenden Effekt:

Je höher die Wärmeverluste des beheizten Raumes, je geringer die Wärmegewinne des Gebäudes, je höher die Speicherfähigkeit des Gebäudes und je flinker die Regelung, desto besser kann das Gebäude auf den Fremdwärmeanfall reagieren und ihn wirklich nutzen. Der Ausnutzungsgrad nimmt in diesem optimalen Fall Werte von fast 1,0 an. Bei erhöhtem Fremdwärmeanfall sinkt der Ausnutzungsgrad der Fremdwärme.

Der Fremdwärmenutzungsgrad wird formelmäßig nach verschiedenen Ansätzen bestimmt und mit ihm werden in einer Energiebilanz unterschiedliche Arten der Fremdwärme verschieden bewertet.

Tabelle 3.2 gibt eine Übersicht, auf Basis welcher Größen verschiedene klassische Bilanzverfahren den Fremdwärmenutzungsgrad definieren.

Verfahren		Einflussgrößen und Ansätze
EnEV und Normen	EnEV, vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Festwert zur Bewertung der Fremdwärme aus solarer Einstrahlung und innerer Fremdwärme aus Personen und Geräten
	DIN V 4108-6, Monatsbilanzverfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ variabler Wert zur Bewertung der Fremdwärme aus solarer Einstrahlung und innerer Fremdwärme aus Personen und Geräten ▪ Einflussgrößen sind: Speicherefähigkeit des Gebäudes, Höhe der Verluste aus Transmission und Lüftung, Fremdwärme ohne Anlagentechnik
	DIN V 4701-10, Bewertung der Fremdwärme aus Anlagentechnik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Festwerte für Fremdwärme aus Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung sowie nicht absperrbaren Leitungsteilen der Heizung (0,85) ▪ Festwert für absperrbare Leitungsteile der Heizung (0,80)
Hessischer Energiepass und SIA 380-1		<ul style="list-style-type: none"> ▪ variabler Wert zur Bewertung der Fremdwärme aus solarer Einstrahlung und innerer Fremdwärme aus Personen und Geräten (Verlust der Trinkwarmwasserspeicherung optional möglich) ▪ Einflussgrößen sind: Höhe der Verluste aus Transmission und Lüftung, Fremdwärme ohne Anlagentechnik (ggf. mit Verlusten der Trinkwarmwasserspeicherung) ▪ Fremdwärme aus Anlagentechnik wird i.A. nicht bewertet, d.h. der Fremdwärmenutzungsgrad ist 1
VDI 2067 Ausgabe 1993		<ul style="list-style-type: none"> ▪ variabler Wert zur Bewertung der Fremdwärme aus solarer Einstrahlung und innerer Fremdwärme aus Personen und Geräten ▪ Einflussgrößen sind: Höhe der Verluste aus Transmission und Lüftung, Fremdwärme aus solarer Einstrahlung, Art der Regelung ▪ Fremdwärme aus Anlagentechnik wird nicht bewertet, d.h. der Fremdwärmenutzungsgrad ist 1

Tabelle 3.2 Fremdwärmenutzungsgrad

Neben Ansätzen der tabellierten Verfahren gibt es weitere andere. Fazit ist, dass der mittlere Fremdwärmenutzungsgrad in einer Jahresbilanz je nach Verfahren Kennwerte in folgenden typischen Bandbreiten annimmt:

- EnEV und Normen: 0,80...1,00
- Hessischer Energiepass und SIA 380-1: 0,70...1,00
- VDI 2067 Ausgabe 1993: 0,20...0,95
- Passivhausprojektierung: 0,95...1,00

In einer Monatsbilanz, die einige der Verfahren ebenfalls zulassen, schwanken die Werte zwischen null (im Sommer) und nahezu eins (im Winter) - wobei auch dort unterschiedliche Ansätze zur Bestimmung der Größe gewählt werden.

Bei der Auswertung von Verbrauchskennwerten zur Bestimmung des Lüftungswärmeverlustes mit einer konventionellen Energiebilanz spielt der gewählte Ansatz des Fremdwärmenutzungsgrades eine entscheidende Rolle für das Ergebnis. Da die Nutzenergie des Raumes bzw. die geregelte Wärmeabgabe sowie die Summe der Fremdwärme und der Transmissionswärmeverlust bei einer solchen Verbrauchsbilanz bekannt sind, hängt die einzige Unbekannte - der Lüftungswärmebedarf - stark von der Höhe des Fremdwärmenutzungsgrades ab.

Die unterschiedlichen Ansätze einzelner Bilanzverfahren und die teilweise drastischen Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis bei Verwendung des einen oder anderen Ansatzes sind der Grund für die Entwicklung eines Bilanzverfahrens, das frei von dieser Kenngröße ist. Dieses ΔQ -Verfahren ist in Kapitel 4.4 näher beschrieben.

3.2. Energiebilanz im NEH

3.2.1. Integrierte Bilanz

Die Praxis zeigt für die Gesamtheit der Niedrigenergiegebäude schon heute eine größer werdende Bandbreite des Energieverbrauches, d.h. Schwankungen einzelner Verbraucher um den Mittelwert, als es bei Gebäuden früheren Baualters der Fall war. Dies ist eine praktische Beobachtung, welche die Untersuchungsziele dieses Projektes entscheidend mitgeprägt hat. Der minimale Energie- und Primärenergiebedarf (Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung) in einem Niedrigenergiegebäude geht mit einer erhöhten energetischen Sensibilität auf die verschiedensten Einflüsse einher.

Aufgrund der geringen Gesamtenergieaufwendungen des Gebäudes gewinnt neben der Ausführung der Gebäudehülle und der Art der eingesetzten Anlagentechnik im besonderen die Qualitätssicherung bei der Planung, Ausführung und Nutzung an Bedeutung. Die Einzelanteile einer Energiebilanz können nicht eindeutig den Bereichen "Gebäude", "Anlagentechnik", "Nutzer" und "Qualitätssicherung" zugeordnet werden, vielmehr werden sie durch eine Kombination verschiedener Parameter bestimmt.

Eine Gesamtbetrachtung aller Faktoren in der Energiebilanz hat sich durchgesetzt. Der Jahresenergieverbrauch eines Gebäudes für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung hängt von folgenden wichtigen Faktoren ab:

- Bauphysikalische Einflüsse (Wärmedämmung, Dichtheit),
- Nutzereinflüsse (Lüftungsverhalten, Raumtemperaturen, Bedarfsanpassung, Warmwasserverbrauch)
- Anlagentechnische Einflüsse (Art und Lage des Wärmeverteilsystems, Hydraulischer Abgleich der Heizungs- und Lüftungstechnik, Heizflächendimensionierung, Einstellung der zentralen Regelgeräte)

Eine Bilanz, welche die oben genannten Größen berücksichtigt, wird integrierte Bilanz genannt. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden überwiegend integrierte Bilanzansätze verwendet. Alle Weiterentwicklungen von Bilanzverfahren (vergleiche Kapitel 4.3) beruhen streng auf diesem Prinzip.

3.2.2. Definition des NEH

Das Niedrigenergiehaus hat in der Literatur keine eindeutige Definition. Der Standard ist entstanden aus der Forderung energetisch "25 bis 35 % unter Wärmeschutzverordnung von 1995" zu bauen. Diese Definition hat sich in Fachkreisen erhalten, auch wenn es seit dem Jahr 2002 des Standard der Energieeinsparverordnung gibt.

Wichtige Randdaten einer typischen Definition eines Niedrigenergiehaus fasst Tabelle 3.3 zusammen. Die angegebene Kennwerte zeigen eine Bandbreite für übliche Gebäude, im Einzelfall können sehr kompakte bzw. sehr wenig kompakte Gebäude einzelne Kennwerte über- oder unterschreiten.

Eigenschaft	Bandbreite
mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen	$U_m \approx 0,2 \text{ bis } 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Heizlast am kältesten Tag	$\dot{q} \approx 25 \text{ bis } 40 \text{ W}/\text{m}^2$
Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995	$q_h \approx 30 \text{ bis } 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche A_{EB}) bilanziert nach LEG-Verfahren	$q_h = 55 \text{ bis } 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Jahresendenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche A_{EB}) und bilanziert nach LEG-Verfahren	$q \approx 85 \text{ bis } 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Gebäudedichtheitsstandard	hoch

Tabelle 3.3 Kennwerte für das Niedrigenergiehaus

Ein Gebäude im Niedrigenergiestandard kann auch dem sanierten Bestand angehören.

Die messtechnischen Untersuchungen des Feldprojektes beziehen sich im wesentlichen auf Wohngebäude in Niedrigenergiebauweise bzw. den heute üblichen Baustandard und sanierte Gebäude, die diesen energetischen Standard ebenfalls erreichen

3.2.3. Bandbreite Energiekennwerte im NEH

Die Energieanalyse von Gebäuden in Niedrigenergiebauweise führt zu den in Tabelle 3.4 angegebenen Bandbreiten typischer Energiekennwerte. Die Daten beruhen auf Literaturrecherchen und Auswertung eigener Messungen.

Kenngroße	spezifische Energie in kWh/(m ² a)
Wärmeverlust durch Transmission	30...70
Wärmeverlust durch Lüftung	20...40...(70)
nutzbare solare Warmegewinne	15...22
nutzbare innere Warmegewinne	7...20...(30)
Jahresheizwärmebedarf	30...70...(100)
Verlust der Heizwärmeverteilung	4...10
Verlust der Heizwärmespeicherung	1..3
Verlust der Heizwärmeerzeugung	4...10...(15)
Jahresenergiebedarf der Heizung	40...70...(120)
Jahreswarmwassernutzbedarf	(6)...12...20
Verlust der Warmwasserverteilung	6...10
Verlust der Warmwasserspeicherung	1...4
Verlust der Warmwassererzeugung	3...4
Jahresenergiebedarf der Warmwasserbereitung	10...25
Jahresenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung	(65)...85...100...(140)

Tabelle 3.4 Energiekennwerte für typische Niedrigenergiegebäude (Flächenbezug: A_{EB})

Die in Tabelle 3.4 beschriebenen Einzelkennwerte der Energiebilanz sind jeweils mit einer typischen, in der Praxis vorzufindenden Bandbreite angegeben. Dabei sind die heute für den NEH-Wohnbau üblichen Randbedingungen vorausgesetzt. Dies sind zum Beispiel Länge der Heizzeit, mittlere Personenbelegungsdichte, zeitgemäße Ausstattung mit Anlagentechnik u.s.w. Es wird ein mittlerer Einfluss von Nutzer und Qualitätssicherung auf die Bilanzbestandteile vorausgesetzt.

Werte in Klammern gelten als weniger typisch, aber dennoch vorzufinden. Auch außerhalb der angegebenen Bandbreiten lassen sich Gebäude, die als Niedrigenergiehaus erstellt worden sind, finden. Diese zählen nicht zur typischen Bandbreite.

3.2.4. Fremdwärme im NEH

Der Anfall von Fremdwärme im Niedrigenergiegebäude ist ein wesentlicher Parameter bei der Ermittlung der Jahresenergie und auch bei der Ermittlung der Schwankungsbreite des Luftwechsels. Da der Gesamtenergieverbrauch eines Niedrigenergiegebäudes sehr gering sein soll, wirkt sich der Fremdwärmeanfall prozentual sehr stark auf den Endenergiebedarf eines NEH aus.

Im folgenden sollen Einflussgrößen auf den Fremdwärmeanfall und die Fremdwärmenutzung im NEH gezeigt werden.

Die notwendige geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen hängt von den auftretenden Wärmeverlusten (Q_T und Q_V) und den Warmegewinnen ($\eta_F \cdot Q_I$ und $\eta_F \cdot Q_S$) ab. Die fünf Energiekennwerte sind bereits in Kapitel 3.1.1 erläutert worden.

Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Fremdwärmeanfall innerhalb des beheizten Bereiches eines Gebäudes. Dieser hat die folgenden Quellen:

- solare Einstrahlung,
- Personenwärme,
- Geräte und Beleuchtung (Haushaltsstrom),
- Wärmeverluste der Anlagentechnik.

Die Höhe des Fremdwärmeanfalls aus Personen, elektrischen Geräten und solarer Einstrahlung wirkt positiv auf die Energiebilanz, denn der nutzbare Teil dieser Wärme kompensiert die Wärmeabgabe über Heizflächen. Bis auf die Abwärme elektrischer Geräte fällt diese Wärme energetisch kostenlos im Gebäude an. Die primärenergetische Bewertung des "Haushaltsstromes" wird in dieser Betrachtung nicht weiter vertieft.

Anders verhält es sich mit der Fremdwärme aus Anlagentechnik. Diese fällt nicht energetisch neutral an. Es wird Heizenergie aufgewendet, um diese Fremdwärme zu produzieren. Da aber - im Gegensatz zur geregelten Wärmeabgabe - eine Teil dieser Fremdwärme gar nicht genutzt werden kann bzw. die Raumtemperatur oder den Luftwechsel unnötig erhöht, ist eine indirekte Beheizung des Gebäudes über Fremdwärme immer mit einem Mehraufwand an Energieverbrauch verbunden.

Ein weiterer Einfluss ergibt sich durch die schlechtere Nutzbarkeit aller Fremdwärmemengen - auch der (energetisch) "kostenlos" anfallenden Fremdwärme aus Personen, Geräten und solarer Einstrahlung - wenn das Fremdwärmeangebot steigt. Mit jedem zusätzlichen Energieangebot durch wärmeleitende Verteilleitungen sinkt der Ausnutzungsgrad der Fremdwärme. Oder anders gesagt, mit jedem zusätzlichen Wärmeangebot wird erst die Raumtemperatur, dann der Luftwechsel über das notwendige Maß steigen.

Die Fremdwärme aus Anlagentechnik muss also minimiert werden. Diesem Thema widmen sich die Kapitel 7.1 bis 7.1.3.

Bei den untersuchten Gebäude ist eine besonderes Augenmerk auf die Höhe des Fremdwärmeanfalls und dessen Zusammensetzung nach den einzelnen Energiequellen gelegt worden.

3.2.5. Zwangswärmekonsum und Verschwendungspotential

Der Zwangswärmekonsum und das Verschwendungspotential sowie der im Rahmen dieser Forschungsarbeit untersuchte (erhöhte) Lüftungswärmeverbrauch sind eng miteinander verbunden.

Unter Zwangswärmekonsum und dem Verschwendungspotential versteht man erhöhte Lüftungs- und Transmissionsverluste (bezogen auf einen theoretisch möglichen Idealzustand) bedingt durch eine fehlende Qualitätssicherung, vor allem der Anlagentechnik in Planung und Ausführung.

Während der Nutzer sich dem Zwangswärmekonsum nicht entziehen kann, bestimmt er die Höhe des Verschwendungspotentials mit. Zwei Beispiele: Zwangswärmekonsum liegt vor, wenn in einer Wohnung mit Einrohrheizung die Wärmeabgabe allein der durchlaufenden Rohre so hoch ist, dass die Raumtemperatur inakzeptabel hoch ansteigt und die anfallende Wärme schließlich abgelüftet wird. Verschwendungspotential liegt vor, wenn die Vorlauftemperatur eines Netzes so hoch eingestellt ist, dass auch bei stundenlang gekippten Fenstern in der kühlen Jahreszeit keine merkliche Verminderung der Raumtemperatur zu spüren ist. Der entstandene Lüftungswärmeverlust wäre weder aus energetischer noch aus hygienischer Sicht notwendig gewesen.

In einer Energiebilanz sind folgende Größen am besten geeignet, um den Zwangswärmekonsum und das Verschwendungspotential in ihrer Auswirkung zu erklären und zu quantifizieren:

- mittlere Innentemperatur (ϑ_{im})
- Luftwechsel (n)
- Länge der Heizzeit (t_{HP})

Zwangswärmeverbrauch und das Verschwendungspotential der Anlagentechnik werden von folgenden Größen bestimmt:

- die Leitungslänge und der Dämmstandard der verlegten wärmeleitenden Rohrleitungen,
- die Einstellung der zentralen Regelgeräte und damit die Vorlauftemperaturen und Betriebszeiten,
- die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs (Begrenzung geplanter Volumenströme) und
- die Heizkörperdimensionierung (und -ausführung).

3.3. Lüftungswärmeverbrauch und Luftwechsel

3.3.1. Einflüsse

Einflussfaktoren auf den Lüftungswärmeverbrauch Q_V wurden in Kapitel 3.1.1 bereits genannt, sollen an dieser Stelle noch einmal zusammengestellt und erweitert beschrieben werden.

Zunächst soll der formelmäßige Ansatz zur Berechnung des Lüftungswärmeverbrauches aus einer klassischen Energiebilanz herangezogen:

$$Q_V = H_V \cdot Gt = \left[n \cdot V_L \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \right] \cdot [(\vartheta_{i,m} - \vartheta_{a,m}) \cdot t_{HP}]$$

Die Gradtagszahl Gt ist bestimmt durch die mittlere Innentemperatur $\vartheta_{i,m}$, die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode $\vartheta_{a,m}$ und die Länge der Heizperiode t_{HP} selbst. Die spezifische Transmissionsheizlast H_V hängt von den Zustandsgrößen der Luft, dem belüfteten Raumvolumen V_L und dem Summenluftwechsel n ab.

Diese klassische Formel für den Lüftungswärmeverlust wird mit einem Luftwechsel bilanziert, der die Mehrverluste durch "nicht nutzbare Fremdwärme" bzw. anders ausgedrückt ein erhöhtes Ablüften von Fremdwärme nicht berücksichtigt. Dafür bemüht eine solche Bilanz dann den Fremdwärmenutzungsgrad η .

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_I)$$

In der realen Bilanz bewirkt der nicht nutzbare Anteil der Fremdwärme aber entweder einen erhöhten Luftwechsel und/oder eine erhöhte Innentemperatur (oder eine verlängerte Heizzeit). Wenn sämtliche nicht nutzbare Fremdwärme als zusätzlicher Luftwechsel das Gebäude verlassen würde, lautete die Formel in einer etwas anderen Bilanz wie folgt:

$$Q_{V,Real} = H_V \cdot Gt + (1 - \eta) \cdot (Q_S + Q_I)$$

Zwischen beiden Werten liegt der Lüftungswärmeverbrauch. Einflüsse auf die Einzelgrößen zeigt Tabelle 3.5

Größe	Einflüsse	
t_{HP}	Anlagentechnik, Gebäude (Standort), Nutzer	Verhältnis von Wärmegewinnen zu Wärmeverlusten (Erreichen der theoretischen Heizgrenztemperatur) und Reglereinstellungen (Erreichen der praktischen Heizgrenztemperatur)
$\vartheta_{a,m}$	Anlagentechnik, Gebäude (Standort), Nutzer	Länge der Heizperiode
	Standort	klimatischer Einfluss
$\vartheta_{i,m}$	Nutzer	Komfortanspruch des Nutzers
	Anlagentechnik	Regelung der Raumtemperatur und Zwangswärmekonsum
V_L	Gebäude	Gebäudegröße
n	siehe Tabelle 3.6	

Tabelle 3.5 Einflüsse auf den Lüftungswärmeverbrauch

Der Luftwechsel n , der zur Berechnung der Lüftungswärmeverluste eines Gebäudes herangezogen wird, ist eine Überlagerung von Fensterlüftung (beeinflusst durch Gebäude, Nutzer) und Anlagenluftwechsel (beeinflusst durch Anlage, Nutzer). Im speziellen seien hier folgende Einflüsse genannt:

Einflussgrößen	spezieller Einfluss
Gebäude	Geometrie und Ausrichtung des Gebäudes, Orientierung und Verteilung der Fenster, Funktionsprinzip der Fenster, Dichtheit und Bauschwere des Gebäudes
Standort	Klima, Windeinfluss, Geräusche, Schadstoffe in der Umgebung
Nutzer	gewünschte und tolerierte Innentemperatur, Einstellung zur Lüftungsanlage und Fensterlüftung, Nutzungsbereitschaft des Verschwendungspotentials der Anlagentechnik
Anlage	Beeinflussbarkeit durch den Nutzer, Art der Anlage, Höhe des angebotenen Verschwendungspotentials und des Zwangswärmekonsums

Tabelle 3.6 Einflüsse auf den Luftwechsel

Die Potentiale zur Verringerung des Lüftungswärmeverbrauches leiten sich unmittelbar aus den Einflussgrößen ab.

- So kann der Nutzer positiv - in diesem Fall energiesparend - einwirken, indem er zum Beispiel die mittlere Innentemperatur verringert (Heizzeit verkürzt) und die Fensterlüftung minimiert.
- Auf Seiten der Gebäudetechnik vermindert eine immer dichtere Gebäudehülle den Fugenluftwechsel und die Niedrigenergiebauweise insgesamt die Länge der Heizzeit.
- Von Seiten der Anlagentechnik kann der Lüftungswärmeverlust durch angepasste Regelkonzepte (Bedarflüftung, Option zur Abschaltung), aber auch durch Vermeidung zusätzlich abzulüftender Überschusswärme vermindert werden.

Die Erhöhung der Innentemperatur und des Luftwechsel auf ein bestimmtes Maß, das sich unter dem Einfluss von Fremdwärme einstellt, hängt von der Toleranz des Nutzers ab: Muss zusätzlich anfallende Wärme aus dem beheizten Bereich abtransportiert werden, so gibt es die Möglichkeit einer zunächst sehr hoch ansteigenden Temperatur, bevor der Nutzer die Fenster öffnet. Der Temperaturanstieg über das Normalniveau ist dann hoch, der Luftwechselanstieg geringer. Dieses Verhalten setzt eine hohe Toleranz des Nutzers gegenüber Fremdwärme voraus. Im Gegensatz dazu öffnet ein Nutzer mit geringer Toleranzbereitschaft das Fenster schon bei kleinen Temperaturschwankungen.

Eine weitere Einflussgröße auf den Lüftungswärmeverbrauch ist die Akzeptanz von Lüftungsanlagen. Für verschiedene Lüftungskonzepte (Abluftanlagen, Zuluft/Abluftanlagen mit und ohne WRG) treten trotz vorhandener Lüftungsanlage Zusatzluftwechsel durch Fensterlüftung der Nutzer auf [Synergie99]. Diese können zum Beispiel auf Nichtakzeptanz gegenüber der neuen Technik oder Nichtinformation der Nutzer zurückzuführen sein [Heidenheim].

3.3.2. Schwankungen

Der Gesamtluftwechsel und seine Teilluftwechsel sind im Verlauf eines Jahres nicht konstant. Folgende wichtige Schwankungsbreiten sind zu verzeichnen:

- Aufgrund des thermischen Antriebs ist der Luftaustausch durch Gebäudeundichtheiten im Winter am größten.
- Der Nutzer überlagert dieses physikalische Phänomen, da vor allem in den Übergangsjahreszeiten ein hohes Bedürfnis nach Lüftung besteht [Gertis] [Richter01]
- Des Weiteren hat die Luft in den Übergangsjahreszeiten weniger Aufnahmekapazität für Feuchte.
- Der Fremdwärmeanfall ist in den Übergangsjahreszeiten am größten, weil die solare Einstrahlung sehr hoch ist. In nicht qualitätsgesicherten Anlagen ist zu diesen Zeiten auch das Verschwendungspotential der Heizflächen besonders hoch, denn oft wird Heizwärme angeboten, obwohl die theoretische Heizgrenze bereits erreicht wäre bzw. die Vorlauftemperaturen sind für die milden Außentemperaturen viel zu hoch.

Insgesamt ist in einem üblichen NEH der Gesamtluftwechsel am kleinsten im Winter bei niedrigen Außentemperaturen und größer in den Übergangsjahreszeiten Frühjahr und Herbst.

Der Lüftungswärmeverbrauch schwankt monatlich durch die unterschiedliche Außentemperatur und den unterschiedlichen Luftwechsel. Dabei sind die Tendenzen "Erhöhung des Luftwechsels in den Übergangsjahreszeiten" und "Verminderung des Temperaturgefälles innen - außen" gegenläufig. Wann der Lüftungswärmeverbrauch praktisch am geringsten ist, hängt vom konkreten Objekt ab.

Den größten Einfluss auf den Lüftungswärmeverlust im Niedrigenergiegebäude hat der Nutzer. So zeigen verschiedene Projekte (zusammengefasst in [Richter01]) eine wohnungsbezogene Fensteröffnungsdauer in Gebäuden ohne mechanische Lüftungsanlage von 0,3...14,9 h/d. Mit mechanischer Lüftungsanlage liegt der Wert bei 0,1...12,5 h/d. Die Akzeptanz von Lüftungsanlagen ist sehr verschieden ausgeprägt [Synergie99] [Heidenheim] und hängt vor allem von der Nutzeraufklärung ab.

3.3.3. Definition eines Grundbedarfs

Das Verschwendungspotential und der Zwangswärmekonsum sind definiert über einen "Energieverbrauch über das Minimalmaß". Für den Luftwechsel wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein Minimalmaß definiert. Dabei wird vor allem auf die Literaturrecherchen und theoretischen Untersuchungen der TU Dresden [Richter01] zurückgegriffen.

Der Grundbedarf wird im Rahmen dieses Projektes über folgende wichtige Größen definiert:

- die Aufrechterhaltung eines bauphysikalisch notwendigen Luftwechsels zur Vermeidung von Feuchteschäden (Feuchteabtransport)
- die Aufrechterhaltung eines Mindestluftwechsels aufgrund der Personenbelegung.

Werden diese beiden Bedingungen berücksichtigt, so ergibt sich ein Mindestluftwechsel aufgrund der Personenbelegung von: $\dot{V}_{\min, \text{Personen}} = 30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$. Gleichzeitig muss der bauphysikalisch geforderte geringste Luftwechsel von $n_{\min, \text{Bau}} = 0,2 \text{ h}^{-1}$ immer eingehalten sein.

3.4. Einflüsse und Bewertungsmöglichkeiten der energetischen Qualität

Dieses Kapitel dient der Erläuterung der wichtigsten Zusammenhänge einzelner Energiekennwerte einer Bilanz und - daraus abgeleitet - der Untersuchung von Möglichkeiten, die energetische Qualität eines Gebäudes (Baukörper, Anlage und Nutzung) innerhalb einer Energiebilanz zu bewerten.

Die Bewertung der Qualität eines konkreten Objektes dient der Abschätzung eines möglichen energetischen Einsparpotentials, das mit entsprechender Qualitätssicherung der Nutzung, des Baukörpers und der Anlagentechnik möglich wäre.

3.4.1. Einflüsse auf Energiebedarf und -verbrauch

Die Einflüsse auf den Energiebedarf und -verbrauch sind durch die einzelnen Energiekennwerte beschrieben. Im realen Gebäude bedingen sich die Einzelanteile einer Energiebilanz gegenseitig und werden von verschiedenen Randbedingungen beeinflusst.

In Tabelle 3.7 sind jeweils die wichtigsten - nicht alle - Zusammenhänge zwischen Energieverbrauch, Gebäudetechnik, Anlagentechnik und den Nutzer dargestellt.

Energiekennwert	baulicher Einfluss	anlagentechnischer Einfluss	Einfluss des Nutzers
Transmissionswärmeverlust	U_m	Länge der Heizzeit, Angebot von Verschwendungspotential	Gradtagszahl, Nutzung von Verschwendungspotential
Lüftungswärmeverlust	Luftwechsel n_{Fugen}	Luftwechsel n_{Anlage} , Angebot von Verschwendungspotential, Länge der Heizzeit	Gradtagszahl, Luftwechsel n_{Nutzer}
Solare Einstrahlungsgewinne	Art der Fenster		manuelle Verschattung
Innere Wärmegewinne	Länge der Heizzeit	Fremdwärme aus Anlagentechnik, Zwangswärmekonsum	Fremdwärme aus Personen, Geräten, Beleuchtung
Warmwasserbedarf			Komfortansprüche
Verluste der Wärmeverteilung	Länge der Heizzeit	Art der Verteilung	Länge der Heizzeit, Komfortanspruch
Verluste der Wärmespeicherung	Länge der Heizzeit	Art der Speicherung	Länge der Heizzeit, Komfortanspruch
Verluste der Wärmeerzeugung	Länge der Heizzeit	Art der Erzeugung und Regelung	Länge der Heizzeit

Tabelle 3.7 Einflussfaktoren auf Bestandteile der Energiebilanz

Die in Tabelle 3.7 angedeuteten Einflüsse sind größtenteils bekannt (U_m , Art der Fenster) und weitreichend untersucht. Der Jahresenergiebedarf wird von einem Parameter, der Heizzeit, sehr stark bestimmt. Deren Einfluss soll hier noch einmal näher beleuchtet werden.

Die Länge der theoretischen Heizzeit ist bestimmt durch das Verhältnis der Fremdwärme zu den Wärmeverlusten, die Länge der praktischen Heizzeit vor allem von der Regelung. Sie gibt die Außentemperatur vor, ab der nicht mehr geheizt werden muss. Die Wärmeverluste sind sowohl durch den Nutzer (Innentemperatur), die Anlage (Luftwechsel) und das Gebäude (U-Wert) bestimmt. Aber auch die Wärmegewinne werden durch alle 3 Parameter beeinflusst. Der Baukörper bestimmt die solare Fremdwärme, der Nutzer und die Anlage die Menge der inneren Fremdwärme.

Nicht zu unterschätzen sind auch die Komfortansprüche des Nutzers im Niedrigenergiehaus. Der Nutzer bestimmt sowohl den Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung als auch maßgeblich die Gradtagszahl über die Innentemperatur und die Länge der Heizzeit.

Einige wesentliche Ergebnisse in der Vergangenheit durchgeführter Untersuchungen zur Bandbreite des Energieverbrauches eines Gebäudes werden im folgenden angeführt.

Eine **Raumtemperaturerhöhung um 1K** entspricht einem Mehrverbrauch von ca. **7... 11 kWh/(m² a)** im Niedrigenergiehaus. Bei einer realistischen Bandbreite der mittleren Raumtemperatur zwischen 18... 22°C (incl. räumlich und zeitlich eingeschränkt beheizter Räume) bewirkt allein die Raumtemperaturveränderung von 18 auf 22°C einen Mehrverbrauch von 30 bis 45 kWh/(m² a).

Mit steigendem Dämmstandard und dichter Gebäudehülle gewinnt die **Gebäudelüftung** zunehmend an Bedeutung. Der Luftwechsel und damit der Lüftungswärmeverbrauch eines Gebäudes hängen sowohl von der baulichen und anlagentechnischen Ausführung des Gebäudes als auch von der Nutzung und Lüftungsergänzung durch Lüftungsanlagen ab. Bei vorgegebenem Wärmedämmstandard eines Gebäudes variiert der Heizwärmeverbrauch (geregelter Wärmeabgabe über die Heizflächen) wesentlich durch unterschiedliches **Lüftungsverhalten** der Bewohner: Der energetische Luftwechsel in der Heizzeit liegt je nach Nutzerverhalten zwischen typisch 0,3 bis 1,2 Luftwechsel/Stunde, im Mittel bei ca. 0,5 bis 0,8 h⁻¹. Eine **Luftwechselzahländerung von 0,1 h⁻¹** entspricht einem veränderten Heizwärmeverbrauch von ca. **6...8 kWh/(m² a)** im Niedrigenergiehaus. Hieraus resultiert eine realistische Bandbreite von 20... 100 kWh/(m² a) allein durch unterschiedliches Lüftungsverhalten - sofern die Heizflächen und die Vorlauftemperaturregelung entsprechendes Wärmeabgabepotential bieten. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass bei niedrigen Außentemperaturen der nutzerbedingte Luftwechsel sehr viel niedriger liegt als in der Übergangszeit

Ein nicht durchgeführter **hydraulischer Abgleich der Heizungs- und Lüftungstechnik** führt zur Unterversorgung ungünstig gelegener Wohnungen (weit von der Pumpe bzw. vom zentralen Ventilator entfernt) und gleichzeitig zur Überversorgung günstig gelegener Wohneinheiten. Die „nicht durchdachten“ Gegenmaßnahmen: Erhöhung der Pump-/Ventilatorleistung bzw. Anhebung der Heizkurve zentraler Regler führt zu einem nicht unbeträchtlichen Verschwendungspotential und zu einem Mehrverbrauch von geschätzt ca. **20... 30 kWh/(m² a)** für ein Gebäude ohne Qualitätssicherung im Vergleich zu einem Gebäude mit qualifizierter Planung und Ausführung.

Die zunehmende Praxis der **Verlegung von Heizrohr- und Trinkwarmwasserverteilleitungen** im Estrich bewirkt eine erhöhte, nicht geregelte Wärmeabgabe **bis 60 kWh/(m² a)**, insbesondere in Fluren, die zu erhöhten Raumtemperaturen und einem daraus resultierendem Ablüften der Überschüsse führt.

Die genannten Einflussfaktoren bedingen sich teilweise gegenseitig. So kann eine ganzjährig betriebene Lüftungsanlage den Energiebedarf eines Gebäudes erhöhen, vor allem wenn in den Übergangsjahreszeiten ein unnötiger Lüftungswärmebedarf geschaffen wird, dem Heizflächen entgegenwirken müssen. Eine hohe Dichte an verlegten wärmeführenden Leitungen führt aufgrund unregelmäßiger Wärmeabgabe zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten. Wärme- bzw. Kältebrücken können zu lokaler Schimmelpilzbildung führen, der mit vermehrtem Lüften entgegengewirkt wird.

Auf weitere Zusammenhänge wird im vorliegenden Bericht eingegangen.

3.4.2. Nutzung

Die Qualität der Nutzung wird von den in Tabelle 3.8 benannten wichtigen Einflüssen geprägt, deren Bewertungsmöglichkeiten innerhalb einer Energiebilanz aufgezeigt werden. In der dritten Spalte der Tabelle ist vermerkt, wie einfach sich das Vorhaben der qualitativen Bewertung in der Bilanzierung umsetzen lässt.

Merkmal	Möglichkeit der Bewertung in einer Bilanz	Umsetzung
Komfortverhalten: Wasserverbrauch	Anpassung der Nutzwärme Trinkwarmwasser, die das gezapfte Volumen enthält	leicht
Komfortverhalten: Innentemperatur	Erhöhung der Soll-Raumtemperatur bei der Bestimmung der Verluste (Transmission, Lüftung u.a.)	leicht
Komfortverhalten: Lüftung	Erhöhung des Luftwechsels bei der Bestimmung der Lüftungswärmeverluste	mit Aufwand
Komfortverhalten: sommerlicher Wärmeschutz	Veränderung des Fremdwärmeanfalls aus solarer Einstrahlung wegen erhöhter Verschattung	mit Aufwand
Nutzung eines angebotenen Fremdwärmeangebotes	erhöhte Temperaturen, Luftwechsel und ggf. längere Heizzeiten in der Bilanz	kaum

Tabelle 3.8 Bewertung der Qualität der Nutzung

Die Anpassung des Lüftungsverhalten eines Nutzers in der Bilanz ist rein rechnerisch einfach, aber messtechnisch kaum zu belegen. Die Erhöhung des Luftwechsels in einer Energiebilanz aufgrund der Nutzerangabe "Viellüfter" kann nur eine Schätzung sein. Die Bewertung nutzerbedingter Verschattung ist nur in den Übergangsmonaten oder im Sommer sinnvoll, wenn eine Monatsenergiebilanz aufgestellt wird.

Die tatsächliche Nutzung eines angebotenen Fremdwärmepotentials der Anlagentechnik lässt sich rein rechnerisch sehr einfach innerhalb einer Bilanz erfassen. Dass es tatsächlich genutzt wird - und dann in welcher Form (Temperatur, Luftwechsel, Heizzeit), kann im Einzelfall nur mit Hilfe von Verbrauchsdatenauswertungen nachgewiesen werden. Eine Qualitätsverbesserung, das heißt Änderung des Nutzverhaltens, kann es nur geben, wenn das Fremdwärmepotential gar nicht erst bereit gestellt wird. Nähere Ausführungen in Kapitel 3.4.4.

Die Qualitätsmerkmale der Nutzung können - bis auf die Nutzung angebotener Fremdwärme - ohne großen Aufwand in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Der konkrete Nutzer mit seinen Gewohnheiten kann somit mit einem durchschnittlichen Nutzer (anhand von Energiekennwerten) verglichen werden, in dem die durchschnittlichen Energiekennwerte in einer Bilanz durch reale ersetzt werden.

Es kann ein Einsparpotential abgeschätzt werden, das bei entsprechender Nutzerschulung (das ist die qualitätsgesicherte Nutzung) erreicht werden kann.

3.4.3. Baukörper

Tabelle 3.9 zeigt zwei wichtige Merkmale der baulichen Qualitätssicherung.

Merkmal	Möglichkeit der Bewertung in einer Bilanz	Umsetzung
Wärmebrücken	Anpassung des U-Wertes bei der Bestimmung der Transmissionswärmeverluste	leicht
Gebäudedichtheit	Anpassung des baulich bedingten Luftwechsels bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste	leicht

Tabelle 3.9 Bewertung der Qualität des Baukörpers

Die Bewertung der wichtigen baulichen Qualitätsmerkmale (vor allem der Ausführung) ist ohne großen Aufwand durchführbar; dieses Vorgehen wird in einigen gängigen Bilanzverfahren bereits seit längerer Zeit praktiziert. Das konkrete Objekt kann problemlos mit anderen verglichen werden, in denen die Ausführung der Gebäudedichtheit oder das wärmebrückenarme Bauen nicht qualitätsgesichert stattgefunden hat. Ein Einsparpotential des qualitätsgesicherten Baukörpers kann abgeschätzt werden.

Andere bauliche Einflüsse, die vor allem die Qualität der Planung (wo liegen die Fenster, welche Dämmmaterialien werden eingesetzt, wie kompakt ist das Gebäude u.a.) berühren, können weniger eindeutig bewertet werden. Diese Einflüsse werden vielfach von anderen Randumständen bestimmt: der Lage des Gebäudes u.ä. Die oben genannten Einflüsse werden grundsätzlich als gegeben in einer Bilanz hingenommen und so bei der Bilanzierung berücksichtigt.

Im Rahmen dieses Forschungsauftrages wird die Qualitätssicherung der baulichen Ausführung nicht vertieft behandelt. Der grobe Gebäudeentwurf wird in der Bilanz als gegeben hingenommen.

3.4.4. Anlagentechnik

Die Bewertung anlagentechnischer Qualitätssicherungsmaßnahmen in einer Energiebilanz ist der komplexeste und - nach Meinung der Autoren - der noch am wenigsten praktizierteste Ansatz energetischer Bewertung. Zunächst sollen einige funktionale Zusammenhänge zwischen Anlagentechnik und Nutzung beschrieben werden. Es zeigt sich im folgenden, dass viele Effekte der Anlagentechnik auf den Energieverbrauch räumlich ungleichmäßig im Gebäude verteilt sind, zeitlich ungleichmäßig auftreten und vor allem von der Nutzung abhängen. Alle Effekte verstärken sich mit der Gebäudegröße, d.h. wenn verschiedene Nutzer eines Gebäudes die Anlagentechnik beeinflussen und es damit zu Rückkopplungen auf andere Nutzer kommt, die z.B. im kleinen Einfamilienhaus nicht aufgetreten wären oder viel weniger ausgeprägt.

Reglereinstellung: Länge der Heizzeit

Die theoretische Länge der Heizzeit wird durch den Fremdwärmeanfall und die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung eines Gebäudes bestimmt. Die reale Länge kann länger sein, wenn die zentrale Regelung der Anlagentechnik das zulässt. Wenn die Heizflächen in der Übergangszeit das Potential zur Wärmeabgabe bieten, dann kann die Heizzeit durch den Nutzer künstlich verlängert werden, indem er das Verschwendungspotential nutzt - zum Beispiel durch vermehrtes Lüften, ohne dass die Wohnung auskühlt. Selbst wenn der Nutzer innerhalb des beheizten Bereiches das Mehrangebot nicht nutzt, so werden Wärmeerzeuger und ggf. Heizungsspeicher auf Temperatur gehalten. Dies gilt vor allem bei dem heute verstärkten Einsatz von Überströmeinrichtungen oder Dreiwege-Thermostatventilen, die beim Einsatz zwangsdurchströmter Wandgeräte von vielen Kesselherstellern gefordert oder empfohlen werden.

Wenn im Mehrfamilienhaus auch nur einer der Nutzer das Verschwendungspotential nutzt, dann werden zumindest die zentralen Verteilleitungen (üblicherweise im Keller) auf Temperatur gehalten. Ein Teil der Steigleitungen wird ebenfalls beheizt. Leitungen, die durch an sich nicht beheizte Wohnungen laufen, bedeuten für diese Wohnungen einen Zwangswärmeconsum. Die Nutzer dieser Wohnungen haben selbst keine Heizkörperventile geöffnet, weil das Temperaturniveau im Raum ein normales oder sogar ein überhöhtes Maß hat, aber das zusätzliche Wärmeangebot tritt zwangsweise auf und provoziert in dieser Wohnung erhöhte Temperaturen oder Luftwechsel.

Der Effekt verstärkt sich im MFH mit großen räumlichen Ausdehnungen, weil viele Nutzer von einer Anlage versorgt werden. Außerdem ist zu erwarten, dass die Bewohner in den oberen Eckwohnungen eines Gebäudes bzw. in Wohnungen mit vielen Außenflächen potentiell das Ende der Heizzeit bestimmen, denn dort treten die größten baulich bedingten Verluste auf. Für alle anderen Wohnungen bedeutet das eine zwangsweise Verlängerung der Heizzeit (die am Regler eingestellt werden muss) und eine Zwangswärmeversorgung, auch wenn diese nicht notwendig wäre.

Reglereinstellung: Steilheit der Heizkurve

Mit dem eben beschriebenen Phänomen ist die Einstellung der Heizkurve verbunden. Zur Definition: die Steilheit der Heizkurve bestimmt die Vorlauftemperatur im Netz. Ist die Heizkurve zu hoch eingestellt, dann ist die Vorlauftemperatur während der gesamten Heizzeit zu hoch - es sei denn der Wärmeerzeuger kann die zu hohe Vorlauftemperatur aufgrund seiner Leistungsbemessung nicht erreichen.

Die Rücklauftemperatur in einem Netz richtet sich nach der Vorlauftemperatur und der Wärmeabnahme. In einem Gebäude, in dem sich ideale Nutzer und ideale Einzelraumregler ohne bleibende Regelabweichung befinden, spielt eine korrekte Vorlauftemperatureinstellung keine Rolle, d.h. sie führt nicht zwangsweise zu einem Energiemehrverbrauch.

Wenn die Wärmeabgabe der Heizflächen gleich ist - und das wäre sie, weil Transmission und Lüftung sich nicht ändern mit einem idealen Nutzer und idealer Einzelraumregelung - dann ist die Rücklauf-temperatur entsprechend geringer. Die Thermostatventile würden den Massenstrom drosseln. Da ein Nutzer aber dazu tendiert, ein ihm gebotenes Fremdwärmepotential zu nutzen, steigt die Wärmeabgabe im Raum an (Fenster werden geöffnet), die Rücklauf-temperatur ebenfalls.

Für die Verteilverluste bedeutet eine falsche Einstellung der Heizkurve in der Regel ebenfalls eine Erhöhung, weil die mittlere Temperatur in den Leitungen steigt.

Die falsche Einstellung der Heizkurve hat oft mit dem nicht erfolgten hydraulischen Abgleich zu tun. Um in den von der Pumpe entfernten Geschossen noch Wärmelieferung sicher zu stellen, ist eine Anhebung der Vorlauf-temperatur eine in der Praxis oft gewählte Gegenmaßnahme.

Verteilnetz Heizung: hydraulischer Abgleich und zu große Pumpvolumenströme

Durch einen hydraulischen Abgleich des Heizungsnetzes wird bewirkt, dass im Auslegungsfall jeder Heizkörper mit dem vorher berechneten Volumenstrom beaufschlagt wird. Hierdurch ist sichergestellt, dass bei der gewählten Spreizung alle Räume ausreichend mit Wärme versorgt werden.

Der hydraulische Abgleich macht sich vor allem räumlich unterschiedlich in einem Gebäude bemerkbar. Die Räume, die pumpennah angeordnet sind, haben ein großes Wärmeangebot, für andere, weit entfernte Räume reicht das Wärmeangebot gerade aus. Das Verschwendungspotential ist also in Räumen nahe der Pumpe besonders hoch. Die oben im Zusammenhang mit der Länge der Heizzeit beschriebene Tatsache, dass die Räume in den oberen (thermisch ungünstigen) Geschossen bestimmen, wann die Heizzeit beendet ist, verstärkt sich bei einem nicht erfolgten hydraulischen Abgleich noch mehr.

Auch der nicht erfolgte hydraulische Abgleich könnte durch den Eingriff einer idealen dezentralen Regelung (Thermostatventile) ausgeglichen werden. Dann würde sich - mit idealer Nutzung und Regelung - kein Mehrverbrauch einstellen. Der Mehrverbrauch resultiert aus der Nutzung des gebotenen Verschwendungspotentials.

Da der nicht erfolgte hydraulische Abgleich vor allem ein räumlich verschieden ausgeprägtes Phänomen ist, wird er sich in Gebäuden mit stärkerer räumlicher Ausdehnung (MFH) stärker bemerkbar machen. Er kann in einer üblichen Bilanz nur schwer erfasst werden, weil in einer Energiebilanz ein Gebäude als ein homogenes Objekt angesehen wird, in dem räumlich verteilte Unterschiede gemittelt werden.

Ein nicht erfolgter hydraulischer Abgleich muss immer mit zu großen Pumpenvolumenströmen einhergehen, weil die weit entfernten Heizkörper sonst nicht versorgt werden.

Reglereinstellung: Absenkphasen

Der Einfluss einer zentralen Vorlauf-temperaturabsenkung wird seinerseits auch von der Einstellung der Heizkurve und dem hydraulischen Abgleich bestimmt. In Räumen, die durch Eingriff von Thermostatventilen auf Temperatur gehalten werden (und die durch den Nutzer nicht während der Absenkezeit verstellt werden), kann nur eine echte Temperaturabsenkung erreicht werden, wenn die Wärmeabgabe der Heizflächen wirklich begrenzt ist. Das bedeutet, dass in hydraulisch günstig gelegenen Räumen keine Wärme gespart werden kann, weil die Thermostatventile einfach weiter öffnen als bei Tag. Die Wärmeabgabe der Heizkörper bleibt trotz geringerer Vorlauf-temperatur die selbe. Bei einer gleichzeitig zu hoch eingestellten Heizkurve wird der Effekt noch verstärkt.

Auch hier gibt es Zonen im Gebäude, die je nach Gebäudegröße, sehr unterschiedlich von der Absenkung betroffen sind. Eine Absenkung der Raumtemperatur kann nur durch Eingriff des Nutzers oder zeitlich gesteuerte dezentrale Regelgeräte erfolgen.

Regelung: dezentral im Raum

Die dezentrale Regelung erfolgt im Geschosswohnungsbau üblicherweise mit Thermostatventilen. Die Regelgüte der Thermostate ist in vielen veröffentlichten Untersuchungen beschrieben. Sobald Fremdwärme in einem Raum ausgeregelt werden muss, haben Thermostatventile eine bleibende Regelabweichung und provozieren damit eine erhöhte Raumtemperatur (und ggf. ein erhöhtes Ablüften).

Die Rückkopplungen der zentralen Regelung auf die dezentrale Regelung wurden bereits beschrieben. Der Einfluss von Fremdwärmeanfall hat noch einen weiteren Effekt: er senkt die Rücklauftemperatur, weil die Thermostatventile schließen.

Regelung: Lüftung

Zu Regelung von Lüftungsanlagen muss gesagt werden, dass nicht angepasste Lüftungskonzepte ebenfalls die Heizzeit verlängern können. Wenn die Anlagenluftwechsel nicht durch den Nutzer beeinflussbar sind, dann kann es vor allem in den Übergangszeiten dazu kommen, dass zwangsweise sehr hohe Luftwechsel in den Wohnungen auftreten. Der Betrieb der Lüftungstechnischen Anlagen kann zu einer künstlichen Verlängerung der Heizzeit führen, weil dem Gebäude in den Übergangsmonaten eine große Wärmemenge (Lüftungsverlust) entzogen wird, welche durch die Heizflächen zurückspeist werden muss [Synergie99].

Heizflächenüberdimensionierung

Zu einer konkreten Heizflächendimensionierung gehört eine bestimmte Heizkurveneinstellung. Die Effekte der Überdimensionierung sind daher nahezu dieselben wie bei einer falschen Heizkurveneinstellung. Solange Nutzer das mit einer Überdimensionierung verbundene Verschwendungspotential nicht nutzen, regeln dezentrale Regler die Verhältnisse einigermaßen aus. Die Rücklauftemperaturen sinken unter das geplante Maß.

Wenn aber die gebotene Fremdwärme genutzt wird, dann ist eine Heizflächenüberdimensionierung mit verantwortlich für einen Energiemehrverbrauch. Sie erlaubt eine Mehrabgabe an Wärme z.B. bei dauerhaft gekippten Fenstern, ohne dass der Raum kalt wird.

Verteilnetz: Länge, Lage, Dämmung

Die Lage des Verteilnetzes spielt eine große Rolle für den Energieverbrauch. Wenn sich so viele der Leitungen wie möglich im beheizten Bereich befinden, dann ist wenigstens ein Teil der abgegebenen Wärme zur Raumheizung nutzbar. Der Dämmstandard und die Länge der verlegten Leitungen bestimmen den Fremdwärmeanfall. Dies gilt für Heiz- als auch für Trinkwarmwasserleitungen.

Wärmeerzeuger: Zwangsdurchströmung

Wärmeerzeuger die nach dem Zwangsdurchlaufprinzip arbeiten, provozieren ebenfalls einen Mehrverbrauch. Da diese einen Mindestumlauf benötigen, und oft zu große Pumpen im Gerät installiert sind, herrscht in den entsprechenden Anlagen immer ein Überangebot an Heizwasservolumenstrom, das von den Nutzern angenommen und verschwendet wird, sobald sie die Fenster öffnen. Verstärkt wird der Effekt durch einen nicht vorhandenen hydraulischen Abgleich und falsch eingestellte Heizkurven.

Bei einem solchen Wärmeerzeuger wird bei schließenden Thermostatventilen, z.T. bereits im Auslegungszustand der Mindestvolumenstrom durch Rückspeisung von Vorlaufwasser in den Rücklauf gewährleistet.

Tabelle 3.10 versucht den komplexen Effekten Bewertungsgrößen in der Energiebilanz zuzuordnen.

Merkmal	Möglichkeit der Bewertung in einer Bilanz	Umsetzung
Reglereinstellung: Länge der Heizzeit	rechnerische Verlängerung der Heizzeit, höhere Luftwechsel, höhere Raumtemperatur	mit Aufwand
Reglereinstellung: Steilheit der Heizkurve	Erhöhung der mittleren Temperatur im System bei der Bestimmung der anlagentechnischen Verluste und der Fremdwärme; höhere Luftwechsel, höhere Raumtemperatur	mit Aufwand
Reglereinstellung: Absenckphasen	Bewertung der Absenkung anhand der Gebäudeauskühlung - mittlere Innentemperatur	mit Aufwand
Regelung: Lüftung	Laufzeit der Lüftungsanlagen, Anlagenluftwechsel in der Bilanz	mit Aufwand
Regelung: dezentral im Raum	Regelabweichung durch Erhöhung der mittleren Raumtemperatur, Eingriff der Regler bei Fremdwärme durch verminderte Rücklauftemperatur	mit Aufwand
Heizflächenüberdimensionierung	höhere Luftwechsel, höhere Raumtemperatur	mit Aufwand
Verteilnetz: Länge	Änderung der Leitungslänge in der Bilanz	leicht
Verteilnetz: Lage	Änderung der Umgebungstemperatur der Rohre in der Bilanz	leicht
Verteilnetz: Dämmung	Änderung der Wärmeabgabe in der Bilanz	leicht
Verteilnetz Heizung: hydraulischer Abgleich und zu große Pumpenvolumenströme	höhere Luftwechsel, höhere Raumtemperatur, Erhöhung der mittleren Temperatur im System bei der Bestimmung der anlagentechnischen Verluste und der Fremdwärme;	kaum
Wärmeerzeuger: Zwangsdurchströmung	höhere Luftwechsel, höhere Raumtemperatur, Erhöhung der mittleren Temperatur im System bei der Bestimmung der anlagentechnischen Verluste und der Fremdwärme; Erzeugerverluste	kaum

Tabelle 3.10 Bewertung der Qualität der Anlagentechnik

Die Qualitätssicherung der Anlagentechnik kann im wesentlichen durch veränderte Temperaturen, Luftwechsel und Heizzeiten in der Bilanz beschrieben werden. Die Erhöhung von Luftwechsel und Temperatur wird begleitet durch eine Anpassung der mittleren Systemtemperatur für alle wärmeleitenden Anlagenteile.

Die Zusammenhänge sind für jedes Gebäude anders, hängen von den konkreten Ausführungen der Heizflächen, Reglereinstellungen, Netze und vor allem von den Nutzern ab. Es können daher nur grobe Abschätzungen über die Veränderungen der genannten Größen in der Bilanz erfolgen.

Berechnungen oder rechnerische Abschätzungen der Auswirkungen einzelner Effekte sind nur dann einigermaßen realistisch, wenn alle anderen Effekte nicht gleichzeitig auftreten. Das heißt, den Effekt der fehlenden Einstellung der Heizkurve kann man anhand physikalischer Überlegungen abschätzen, wenn nicht gleichzeitig auch noch der hydraulische Abgleich fehlt.

Im Rahmen der gängigen Bilanzverfahren wird eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik nicht bewertet. Für das Forschungsvorhaben sollen die Effekte pauschal zu einem Mehrverbrauch zusammengefasst werden. Mehr zu diesem Thema folgt in Kapitel 4.4.

3.5. Grundlagen der Bereinigung

3.5.1. Grundlagen zur Witterungsbereinigung

Energieverbrauchswerte werden bereinigt, um den Einfluss des Klimas im Betrachtungszeitraum zu berücksichtigen. Der insgesamt geringere Energieverbrauch für ein warmes Betrachtungsjahr wird somit beispielsweise auf den langjährigen Mittelwert eines Referenzstandortes hochgerechnet.

Nach der Bereinigung sind Energieverbrauchswerte verschiedener Jahre und Standorte untereinander vergleichbar. Aus Gründen der Vergleichbarkeit empfiehlt es sich, alle zu untersuchenden Gebäude auf denselben Referenzort und ein Standardjahr zu normieren.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Bereinigung, von denen zwei im folgenden vorgestellt werden.

3.5.2. Bereinigung mit Heizgradtagen

Zunächst soll kurz erläutert werden, was unter Heizgradtagen zu verstehen ist. Dabei dient das Bild 3.3 als Hilfe.

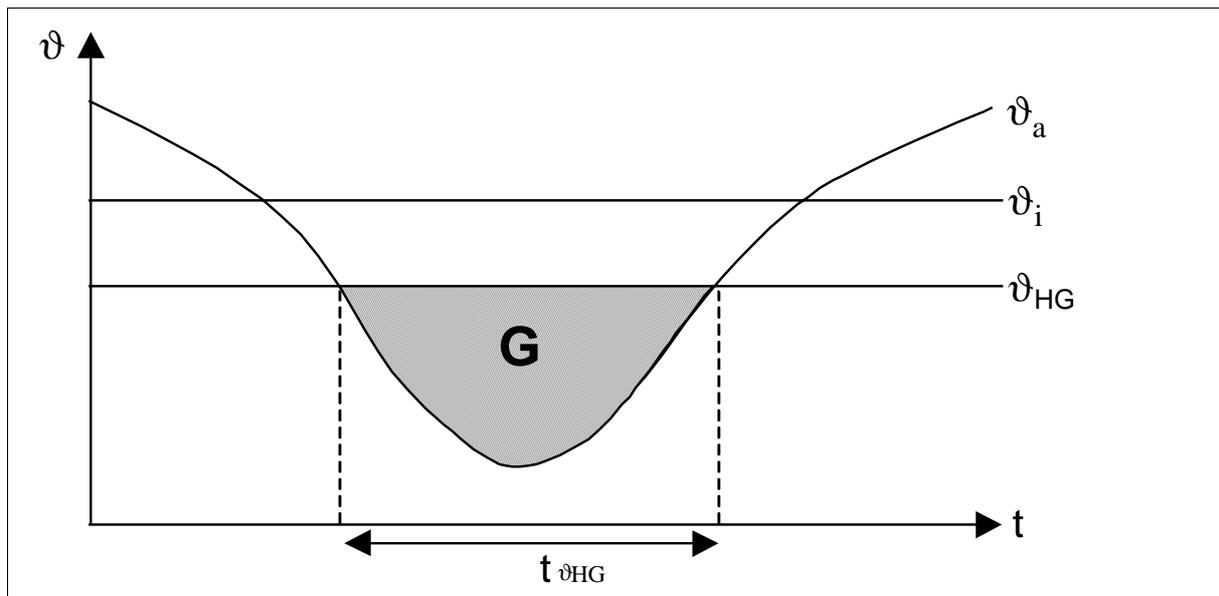


Bild 3.3 Heizgradtage

Heizgradtage G beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und der Außentemperatur ϑ_a in einer Heizperiode t_{HP} . Im Bild 3.3 beschreibt die graue Fläche das Ergebnis dieses Ausdruckes. Da in der Regel die Außentemperatur für jeden Tag nicht verfügbar ist, wird der Mittelwert innerhalb der Heizperiode ϑ_{am} verwendet:

$$G = (\vartheta_{HG} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP}$$

Die Heizgradtage G erhalten einen Index je nach gewählter Heizgrenztemperatur. Ist die Heizgrenztemperatur beispielsweise $\vartheta_{HG} = 15 \text{ °C}$ für Gebäude im Bestand (Baujahr vor 1995), werden die Heizgradtage G_{15} genannt.

Die Heizgradtage sind proportional zu der Energiemenge, die dem Gebäude als Nutzwärmemenge (von der Heizung z.B. über Heizkörper) unterhalb der Heizgrenztemperatur zuzuführen ist. Oberhalb der Heizgrenztemperatur werden die Verluste des Gebäudes allein von den Wärmegewinnen gedeckt. Die Bereinigung mit Heizgradtagen wird also immer dann angewendet, wenn für ein Gebäude die mittlere Nutzwärmemenge für die Heizung und Lüftung bekannt ist.

Die Bereinigung erfolgt anhand der folgenden Formel:

$$q_h' = q_h \cdot \frac{G'}{G}$$

Die mit dem Stern (*) gekennzeichneten Größen sind in dieser Gleichung die Werte des untersuchten Jahres; die bereinigten Werte bzw. die Werte für das Standardjahr erhalten einen Apostroph (') zur Kennzeichnung.

3.5.3. Bereinigung mit Gradtagszahlen

Bild 3.4 dient zur Erklärung, was unter Gradtagszahlen zu verstehen ist und wann sie zur Anwendung kommen.

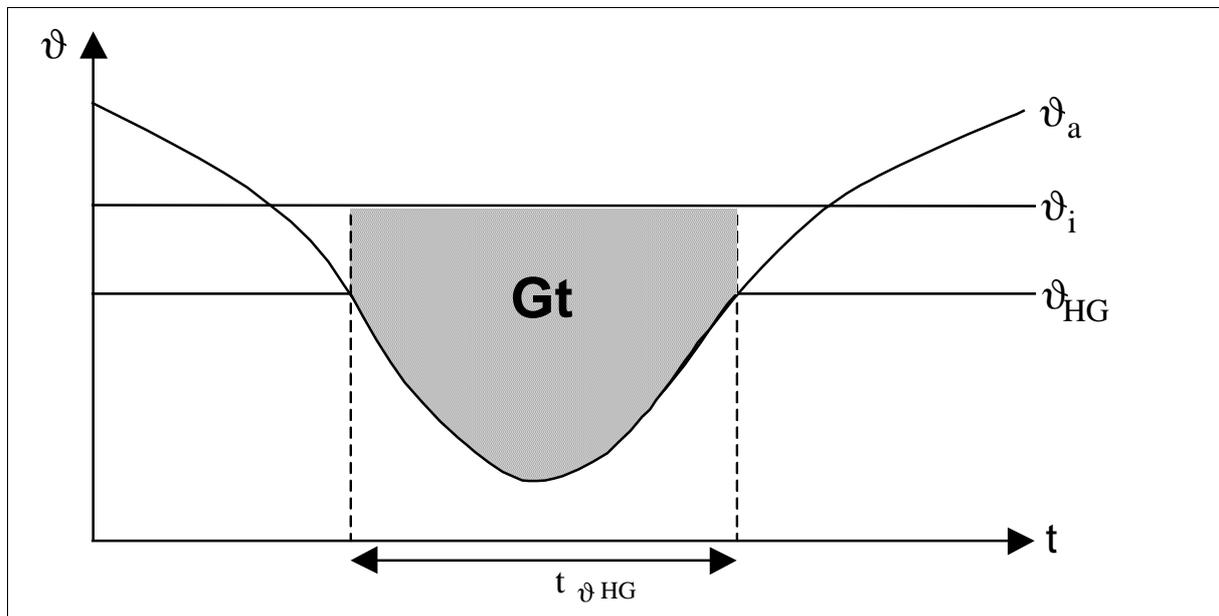


Bild 3.4 Gradtagszahlen

Die Gradtagszahlen Gt beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Innentemperatur ϑ_i und der Außentemperatur ϑ_a im Verlauf einer Heizperiode t_{HP} . Im Bild 3.4 beschreibt die graue Fläche das Ergebnis dieses Ausdruckes.

Für die Innentemperatur und die Außentemperatur werden in der Regel die Mittelwerte innerhalb der Heizperiode verwendet:

$$Gt = (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP}$$

Die Gradtagszahlen erhalten zwei Indizes je nach Innentemperatur und gewählter Heizgrenztemperatur. Ist die Innentemperatur zum Beispiel $\vartheta_{im} = 19 \text{ °C}$ und die Heizgrenztemperatur $\vartheta_{HG} = 12 \text{ °C}$, wird die Gradtagszahl $Gt_{19,12}$ genannt.

Die Gradtagszahl Gt ist proportional zu der Energiemenge, die das Gebäude in der Heizzeit t_{HP} aufgrund von Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) verliert. Die Bereinigung mit Gradtagszahlen wird also immer dann angewendet, wenn für ein Gebäude die Wärmeverluste für Transmission und Lüftung ($q_T + q_V$) bekannt sind. Die Bereinigung erfolgt anhand der folgenden Formel:

$$(q_T + q_V)' = (q_T + q_V)^* \cdot \frac{Gt'}{Gt^*}$$

Die mit dem Stern (*) gekennzeichneten Größen in der Gleichung sind die Werte des untersuchten Jahres; die bereinigten Werte bzw. die Werte für das Standardjahr erhalten einen Apostroph (') zur Kennzeichnung.

3.5.4. Allgemeiner Rechengang der VDI 3807

Die klimatische Bereinigung der Heizenergieverbräuche nach VDI 3807 erfolgt mit Hilfe der Heizgradtage G_{15} .

Der zu bereinigende Energieverbrauch und die zugehörigen Heizgradtage G_{15} müssen den gleichen Zeitraum umfassen, üblich ist 1 Jahr. Bei kürzeren Bezugszeiträumen sollten nach VDI 3807 die Heizgradtage für diesen mindestens 250 Kd betragen.

Für den Vergleich von Heizenergieverbräuchen von Gebäuden desselben Ortes wird Bezug genommen auf die mittleren Heizgradtage dieses Ortes. Für den Vergleich von Heizenergieverbräuchen von Gebäuden verschiedener Orte soll Bezug auf den Mittelwert der Heizgradtage für Würzburg bzw. für den mittleren Standort in Deutschland [DIN V 4108-6] genommen werden.

Liegen nur Angaben in Form von Gradtagszahlen vor, so kann, mit Hilfe der Anzahl der Heiztage z_{15} , mit folgender Formel eine Umrechnung in Heizgradtage erfolgen :

$$G_{15} = G_t - 5 \cdot z_{15} .$$

Bereinigt wird der Heizenergiebedarf (Nutzen plus Verluste). Die Anteile für Warmwasser sind vorher aus dem Energieverbrauch herauszurechnen.

Die Bereinigung nach VDI 3807 wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiter verfeinert.

4. Energiebilanzverfahren

Dieses Kapitel erläutert wichtige, gängige Bilanzverfahren und stellt deren Vor- und Nachteile gegenüber. Die im Rahmen dieses Projektes angewandten Verfahren werden näher vorgestellt. Es beantwortet weiterhin die Frage, warum es im Rahmen dieses Forschungsvorhabens notwendig ist, neue Bilanzverfahren zu entwickeln. Schließlich gibt es einen Überblick über die beiden neu entwickelten Bilanzverfahren.

4.1. Einleitung

Zunächst sollen die generellen Unterschiede heutiger Bilanzverfahren geklärt werden.

4.1.1. Statische und dynamische Verfahren

Bevor ein vorhandenes Bilanzverfahren einer der Rubriken "statisch" und "dynamisch" zugeordnet werden kann, muss definiert sein, was sich hinter diesen Begriffen verbirgt. Eine eindeutige Definition laut Lehrbuch gibt es nach Wissen der Autoren nicht.

Unter einem rein **dynamischen Verfahren** kann ganz allgemein ein Energiebilanzverfahren verstanden werden, das in seinen Formeln und Kennwerten vollkommen an reale Bedingungen angepasst werden kann. Mit einem solchen Verfahren können alle Arten von Gebäuden bewertet werden. Es sind Bedarfsprognosen und Verbrauchsauswertungen möglich. Ein solches Verfahren gibt es momentan noch nicht, auch wenn einige Bilanzverfahren sich diesem Ideal nähern. Meist sind die dynamischen Verfahren mit einer 8760-Stunden-Simulation aller Kennwerte verbunden.

Das rein **statische Verfahren** ist dagegen ein Bilanzverfahren, das nur festgelegte Kennwerte - beispielsweise anhand einer Reihe von Standardprofilen - zulässt. Reale Bedingungen werden nicht oder kaum erfasst. Mit solchen Energiebilanzverfahren können keine Verbrauchsanalysen gemacht werden, und Bedarfsrechnungen liegen oft fernab der Realität.

Alle heute gängigen Energiebilanzverfahren weisen sowohl statische als auch dynamische Ansätze auf. Je flexibler ein Verfahren ist, desto mehr ist auch der Einsatz von Software vorherbestimmt. Ein dynamisches Verfahren, das die Realität sehr genau abbilden kann, ist auf Rechnerkapazität angewiesen und kann nicht mehr allein durch Rechnen auf dem Papier bewältigt werden.

Alle Energiebilanzverfahren, die dem rechtlichen oder einem anderen öffentlichen Nachweis dienen, weisen viele statische Züge auf. Dies sind vor allem festgelegte Klimadaten, ein festgelegtes Profil für einen Standardnutzer u.ä. Dieser starre Ansatz ist bewusst so gewählt, um ein Vergleichsniveau für alle Gebäude zu schaffen. Unter der Einschränkung der frei wählbaren Randbedingungen leidet aber die praktische Vergleichbarkeit, am meisten dann, wenn die fest definierten Randbedingungen sehr weit von der Realität abweichen. Berechnete Energiebedarfswerte und wirkliche Verbrauchswerte stimmen nicht überein.

Im Gegensatz dazu lassen andere Bilanzverfahren - wie das LEG-Verfahren und der Hessische Energiepass - viele Spielräume. In diesen Verfahren sind für verschiedene Energiekennwerte (Innentemperaturen, Luftwechsel, etc.) zunächst Standardwerte definiert. Dem Anwender des Verfahrens steht es jedoch frei, anstelle der Standardwerte auch projektspezifische Werte zu verwenden, wenn diese die Realität besser abbilden. Insgesamt werden der Nutzer und die Nutzung sowie deren Einfluss auf den Energieverbrauch in diesen Verfahren sehr detailliert abgebildet. Mit Bilanzverfahren dieser Art ist die energetische Vergleichbarkeit zweier unterschiedlich genutzter, aber sonst gleicher Gebäude sicher nicht gegeben.

Im Rahmen dieses Projektes werden vor allem Verfahren bevorzugt, die möglichst viele freie Parameter haben, damit der reale Verbrauch realistisch nachvollzogen werden kann.

4.1.2. Simulationsberechnungen und Felduntersuchungen

Auch "Simulationsberechnungen" und "Felduntersuchungen" sind zwei ganz gegensätzliche Wege, den Energiebedarf für ein Gebäude bzw. eine Klasse von Gebäuden zu bestimmen. Beide sollen zunächst einmal näher erläutert werden.

Der Begriff **Felduntersuchung** erklärt sich im Grunde selbst: ein Gebäude wird mehr oder weniger umfassend mit Messtechnik ausgestattet. Die Auswertung der Messergebnisse lässt Rückschlüsse auf den Energieverbrauch dieses Gebäudes zu. Damit kann der Energiebedarf für andere, ähnliche Objekte vorausgesagt werden. Je höher die Anzahl der Messpunkte und -daten, desto genauer wird die Aufteilung des Gesamtenergieverbrauches auf die einzelnen Energieverbraucher. Aus einem Mittel vieler Felduntersuchungen werden Energiekennwerte abgeleitet. Jede weitere Untersuchung bestätigt den bestehenden Wert oder korrigiert ihn in die richtige Richtung.

Im Gegensatz dazu gibt es die **Simulationsberechnung**. Diese basiert ausschließlich auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten. In einem Rechnermodell wird der Energiebedarf eines Gebäudes und die Aufteilung auf Einzelkennwerte simuliert. Für die realitätsnahe Abbildung eines ganzen Gebäudesystems ist - zumindest noch während der Erstellung dieses Berichtes - eine solche Rechnerleistung erforderlich, dass umfassende, komplexe Simulationen fast undenkbar sind. Lediglich Teilbereiche können abgebildet werden. Die realen Nutzereinflüsse sowie das Zusammenspiel mit der Anlagentechnik und deren Qualitätssicherung (siehe Kapitel 3.4.4) kann heute noch nicht abgebildet werden.

Die in der Praxis verfügbaren Bilanzverfahren enthalten Energiekennwerte, die durch beide Verfahren begründet sind. Zum größten Teil sind sie in der Praxis gemessen oder aus praktischen Messungen abgeleitet (Temperaturniveaus, Luftwechsel, Wärmeverlust eines Speichers u.a.) und anhand von physikalischen Formeln auf Plausibilität geprüft, teils sind sie auch ausschließlich simuliert (Wärmeverluste der Regelung der Wärmeübergabe im Raum). Das Forschungsvorhaben "Lüftungswärmeverbrauch im Wohnungsbau" befasst sich mit Felduntersuchungen. Komplexere Vorgänge und deren Energieverbrauch werden durch Messwerte belegt und auf physikalische Plausibilität geprüft.

4.1.3. Energiebedarf und Energieverbrauch

Energiebilanzen werden jedoch grundsätzlich in Energieverbrauchsbilanzen und Energiebedarfsbilanzen unterschieden.

Eine **Energieverbrauchsbilanz** basiert auf der verbrauchten Energie, aus Messdaten und Abrechnungen. Der Energieverbrauch kann anschließend anhand der Gebäude-, Anlagen- und Nutzercharakteristik auf die einzelnen Energieverbraucher des Gebäudes aufgeteilt werden. Energieverbrauchsbilanzen finden bei der Bewertung bereits bestehender Gebäude Anwendung. Die Verbrauchsrechnung spiegelt die derzeitigen oder vergangenen Verhältnisse wieder, sie ist ein Analyse-Instrument.

Das Gegenstück dazu sind die **Energiebedarfsbilanzen**. Anhand der Charakteristik des Gebäudes werden zunächst auf Basis von typischen Bedarfskennwerten alle Wärmemengen bilanziert, die im Gebäude genutzt werden und in Form von Wärme aus dem Gebäude austreten müssen. Diese Vorgehensweise erlaubt anschließend den Rückschluss darüber, welche Energien in das Gebäude fließen müssen. Energiebedarfsbilanzen werden vor allem bei der Gebäudeplanung eingesetzt, wenn reale Verbräuche noch nicht vorliegen. Die Bedarfsrechnung ist die Prognose der künftig benötigten Energiemenge, also ein Planungsinstrument.

Eine Energiebedarfsrechnung kann für jedes Gebäude gemacht werden, für einen Neubau, aber auch für ein bestehendes Gebäude, zum Beispiel nach einer Modernisierung. Eine Verbrauchsanalyse setzt zumindest eine vorliegende Verbrauchsabrechnung voraus. Ist diese vorhanden, dann kann unabhängig vom Gebäudealter eine Verbrauchsanalyse erfolgen. Bedarf und Verbrauch können - sofern das gewählte Energiebilanzverfahren offen dafür ist - anhand des gleichen Formelwerkes bestimmt werden.

Eine Bedarfsrechnung ermittelt aus einem Satz von Energieeinzelkennwerten einen Endenergiebedarf für einen Zeitraum, z.B. ein Standardjahr. Eine Verbrauchsbilanz hingegen geht von einem konkreten Energieverbrauch aus und korrigiert zeit- und witterungsbedingte Einflüsse. Das korrigierte Messergebnis ist dann ebenfalls der Energieverbrauch für z.B. ein Standardjahr.

Die gängigen Bilanzverfahren lassen entweder Bedarfsrechnungen (VDI 2067, DIN V 4108 Teil 6 und DIN V 4701 Teil 10) oder Verbrauchsanalysen (VDI 3807 und VDI 3808) zu.

Ein Verfahren, das beide Verfahren uneingeschränkt - und vor allem gleichzeitig detailliert - zulässt, musste zu Projektbeginn erst entwickelt werden. Es handelt sich um das in Kapitel 4.3 bzw. 4.3.4 vorgestellte Gesamtbilanzverfahren.

4.1.4. Bilanzen für den Gebäudebestand und den Neubau

Das Thema Energiebilanz für Neubauten und den Gebäudebestand ist eng mit der Frage der Verbrauchsanalyse und der Bedarfsrechnung verbunden. Für den Neubau kommen zunächst nur Bedarfsrechnungen in Frage. Wenn das Gebäude einmal steht, dann wird es zum "Gebäudebestand" und kann entweder mit einem Verfahren zur Verbrauchsanalyse untersucht werden oder wieder mit einer Bedarfsanalyse.

Alle gängigen Energiebilanzverfahren lassen die Bewertung von neuen Wohnbauten zu. Darüber hinaus sind das LEG-Verfahren und der daraus abgeleitete Hessische Energiepass sowie die VDI 2067 Blatt 2 dazu geeignet, auch für bestehende Gebäude im Wohn- und Nichtwohnbau einen Energiebedarf vorauszuberechnen.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens weiterentwickelten Bilanzverfahren gelten sowohl für den Bestand als auch für den Neubau.

4.2. Übliche Bilanzverfahren

Verschiedene Bilanzverfahren bewerten dieselben Energiekennwerte unterschiedlich. Im Rahmen von Literaturrecherchen und Voruntersuchungen zum Thema Energiebilanzierung wurden verschiedene Verfahren verglichen. Ziel dieses Vergleichs ist es, Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zu finden. Aus den positiven Ansätzen werden die Verfahren entwickelt, mit deren Hilfe die Felduntersuchungen dieses Forschungsvorhabens ausgewertet werden.

Besonderes Augenmerk lag auf der Art der Bewertung der Lüftungswärmeverluste, der Bewertung der Wärmeübergabe, der Bewertung der Verteilverluste sowie der Verrechnung von Fremdwärme als Gewinn.

Verglichen bzw. untersucht werden folgende Verfahren:

- Bilanzverfahren zur EnEV 2002: DIN V 4108 "Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs" und DIN V 4701 "Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung" [EnEV] [DIN V 4108-6] [DIN V 4701-10],
- VDI 2067 "Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen", hauptsächlich die Blätter 1, 2 und 4 [VDI 2067],
- LEG-Verfahren "Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung" [LEG],
- Hessischer Energiepass "Energiepass Heizung/Warmwasser, Institut Wohnen und Umwelt und IMPULS Programm Hessen" [Energiepass],
- Norm SIA 380/1 "Thermische Energie im Hochbau" des Schweizer Architekten- und Ingenieurvereins [SIA 380/1].

Die Gegenüberstellung erfolgt in Tabelle 4.1 bis Tabelle 4.5. Für die untersuchten Merkmale und Kriterien besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Für jedes Verfahren werden wichtige positive und negative Ansätze erläutert.

Merkmal	EnEV 2002 (incl. DIN V 4108 Teil 6 und DIN V 4701 Teil 10)
Grundzüge und Ziele des Verfahrens? Anwendbar auf welche Gebäude? Bilanzgrößen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rechtlicher Nachweis der energetischen Qualität ▪ für Wohnbauten geeignet ▪ für Neubauten geeignet ▪ Bilanz von End- und Primärenergiebedarf
Bilanzzeiträume? Art der Energiekennwerte? Offenheit für projektspezifische Kennwerte?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DIN V 4108 Teil 6: Jahresheizwärmebedarf mit Monats- oder Jahresbilanz ▪ EnEV 2002: Jahresheizwärmebedarf in Jahresbilanz ▪ DIN V 4701 Teil 10: Anlagentechnik in Jahresbilanz ▪ Bilanz in DIN V 4108 Teil 6 und EnEV überwiegend mit absoluten Energien ▪ Bilanz in DIN V 4701 Teil 10 mit flächenbezogenen Kennwerten und dimensionslosen Kennzahlen ▪ viele festgelegte Kennwerte vorhanden, aber projektspezifische Daten zugelassen
Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung, von Hilfsenergien und Kühlenergie? Bilanz von Klimatisierung und elektrischem Haushaltsstrom?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trinkwarmwasserbereitung und Hilfsenergien werden berücksichtigt ▪ Kühlenergie, Klimatisierung und Haushaltsstrom werden nicht bilanziert
Einbindung von regenerativen Techniken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilanzierung von regenerativen Techniken möglich
Berücksichtigung des räumlich und zeitlich eingeschränkten Betriebes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ räumlich eingeschränkter Heizbetrieb ist pauschal in der mittleren Innentemperatur von 19 °C erfasst ▪ zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb in der EnEV 2002 pauschal in der DIN V 4108 Teil 6 detailliert als Verminderung der Verluste (Transmission und Lüftung) erfasst ▪ eingeschränkter Heizbetrieb in der DIN V 4701 Teil 10 nicht erfasst
Berücksichtigung der Wärmeverluste der Wärmeübergabe?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmeverluste der Wärmeübergabe als eigene flächenbezogene Kenngröße in kWh/(m²a) bilanziert
Berücksichtigung von Wärmebrücken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmebrücken können ausführlich oder pauschal erfasst werden
Berücksichtigung der zurückgewonnenen Wärme einer Lüftungsanlage?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmerückgewinnung mit Hilfe des energetischen Luftwechsels in DIN V 4108 Teil 6 erfasst ▪ Wärmerückgewinnung korrekt aber als Anteil an der Anlagentechnik in DIN V 4701 Teil 10 bilanziert
Umgang und Bilanzierung von Wärmegewinnen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EnEV: konstanter Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne aus Personen/Geräten und Solareinstrahlung ▪ DIN V 4108 Teil 6: variabler Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne aus Personen/Geräten und Solareinstrahlung ▪ DIN V 4701 Teil 10: konstanter Ausnutzungsgrad für innere Gewinne aus Anlagentechnik
Bilanzierung von Wärmeverlusten der Verteilung und Speicherung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verluste der Trinkwarmwasserverteilung und -speicherung werden voll als Verlust bilanziert; ein Teil wird der Heizung als Gut schrift gutgeschrieben ▪ für Verteilung und Speicherung der Heizung und Lüftung werden nur die nicht zur Raumheizung nutzbaren Anteile als Verlust bilanziert
Bilanzierung der Wärmeverluste der Wärmeerzeugung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilanzierung über Aufwandszahlen und Deckungsanteile

Tabelle 4.1 Bilanzverfahren: Normen zur EnEV 2002

Positiv ist die sehr detaillierte Bewertungsmöglichkeit für Verteilsysteme und der verschiedenen Arten von Wärmeerzeugern. Negativ ist die Festlegung eines starren Nutzerprofils und der festen Heizgrenze von 10°C für die Anlagentechnik und die Beschränkung auf durchgehenden Heizbetrieb. Die Handhabung der Bewertung der Fremdwärme ist nicht einsichtig.

Merkmal	SIA 380/1
Grundzüge und Ziele des Verfahrens? Anwendbar auf welche Gebäude? Bilanzgrößen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ realistische Bedarfsrechnung für den Neubau mit zahlreichen Standardnutzungsprofilen ▪ Bilanz bis zum Endenergiebedarf der Wärmeenergien
Bilanzzeiträume? Art der Energiekennwerte? Offenheit für projektspezifische Kennwerte?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beliebige Bilanzzeiträume ▪ überwiegend absolute Kennwerte und Nutzungsgrade ▪ Standardwerte vorhanden, projektspezifische Kennwerte zugelassen
Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung, von Hilfsenergien und Kühlenergie? Bilanz von Klimatisierung und elektrischem Haushaltsstrom?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbindung von Warmwasserbereitung ▪ keine Bewertung von Hilfsenergien, Haushaltsstrom, Kühlung und Klimatisierung
Einbindung von regenerativen Techniken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewertung von Wärmepumpen, Holzfeuerungen, aber nicht von Solaranlagen
Berücksichtigung des räumlich und zeitlich eingeschränkten Betriebes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ räumlich und zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb wird mit der mittleren Innentemperatur erfasst ▪ keine Bewertung für die Anlagentechnik
Berücksichtigung der Wärmeverluste der Wärmeübergabe?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine
Berücksichtigung von Wärmebrücken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ja, ausführlich möglich
Berücksichtigung der zurückgewonnenen Wärme einer Lüftungsanlage?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rückgewonnene Wärme wird als energetischer Luftwechsel erfasst
Umgang und Bilanzierung von Wärmegewinnen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung von solaren Gewinnen sowie inneren Gewinnen für Personen und Geräte ▪ keine Gewinne aus Anlagentechnik berücksichtigt ▪ variabler Ausnutzungsgrad für Fremdwärme je nach Gewinn-Verlust-Verhältnis
Bilanzierung von Wärmeverlusten der Verteilung und Speicherung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ über den Gesamtnutzungsgrad der Anlagentechnik
Bilanzierung der Wärmeverluste der Wärmeerzeugung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ über den Gesamtnutzungsgrad der Anlagentechnik

Tabelle 4.2 Bilanzverfahren: SIA 308/1

Positiv ist die freie Wahl der Bilanzzeit und die Vorgabe diverser Standardnutzungsprofile. Negativ ist die - zumindest in der vorliegenden Version - vorgeschlagene Verwendung von Nutzungsgraden zur Bewertung der Anlagentechnik.

Merkmal	LEG
Grundzüge und Ziele des Verfahrens? Anwendbar auf welche Gebäude? Bilanzgrößen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ realistische Bedarfsrechnung für Neubau und Bestand ▪ Bilanz bis zum Endenergiebedarf der Wärmeenergien
Bilanzzeiträume? Art der Energiekennwerte? Offenheit für projektspezifische Kennwerte?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jahresbilanz oder bis zum Jahresheizwärmebedarf auch mit Monatsbilanz ▪ überwiegend absolute Kennwerte und Nutzungsgrade ▪ Standardwerte vorhanden, aber projektspezifische Kennwerte bevorzugt
Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung, von Hilfsenergien und Kühlenergie? Bilanz von Klimatisierung und elektrischem Haushaltsstrom?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbindung Warmwasserbereitung ▪ keine Bewertung von Hilfsenergien, Haushaltsstrom, Kühlung und Klimatisierung
Einbindung von regenerativen Techniken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ für Bewertung von regenerativen Techniken Hinweis auf andere Verfahren bzw. bei Solaranlagen mit Deckungsanteilen
Berücksichtigung des räumlich und zeitlich eingeschränkten Betriebes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ räumlich und zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb wird nicht erfasst
Berücksichtigung der Wärmeverluste der Wärmeübergabe?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine
Berücksichtigung von Wärmebrücken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ja, ausführlich möglich
Berücksichtigung der zurückgewonnenen Wärme einer Lüftungsanlage?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rückgewonnene Wärme wird als energetischer Luftwechsel erfasst
Umgang und Bilanzierung von Wärmegewinnen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung von solaren Gewinnen sowie inneren Gewinnen für Personen und Geräte ▪ keine Gewinne aus Anlagentechnik berücksichtigt ▪ variabler Ausnutzungsgrad für Fremdwärme je nach Gewinn-Verlust-Verhältnis
Bilanzierung von Wärmeverlusten der Verteilung und Speicherung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verluste für Trinkwarmwasser ausführlich berechnet und voll berücksichtigt und für Heizung nur im unbeheizten Bereich bilanziert
Bilanzierung der Wärmeverluste der Wärmeerzeugung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilanzierung über flächenbezogene Verluste mit Berücksichtigung von Bereitschaftsverlusten und Abgasverlusten

Tabelle 4.3 Bilanzverfahren: LEG

Positiv ist die zugelassene Verwendung von projektspezifischen Daten und die genaue Bewertungsmöglichkeit für Verteilnetze. Negativ ist die Bewertung von ausschließlich durchgehendem Betrieb sowie die Art der Bewertung der Fremdwärme aus Anlagentechnik.

Merkmal	Hessischer Energiepass
Grundzüge und Ziele des Verfahrens? Anwendbar auf welche Gebäude? Bilanzgrößen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ realistische Bedarfsrechnung für Neubau und Bestand ▪ Bilanz der Endenergien, der Primärenergien und des äquivalenten CO₂-Ausstoßes
Bilanzzeiträume? Art der Energiekennwerte? Offenheit für projektspezifische Kennwerte?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jahresbilanz ▪ überwiegend mit absoluten Kennwerten und Nutzungsgraden, sonst auch mit flächenbezogenen Größen ▪ zahlreiche Standardwerte vorhanden, aber projektspezifische Kennwerte bevorzugt
Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung, von Hilfsenergien und Kühlenergie? Bilanz von Klimatisierung und elektrischem Haushaltsstrom?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewertung der Trinkwarmwasserbereitung sowie von Hilfsenergien vorgesehen ▪ Bilanz von Energie für Klimatisierung, Kühlung und Haushaltsstrom nicht möglich
Einbindung von regenerativen Techniken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewertung von regenerativen Energien möglich
Berücksichtigung des räumlich und zeitlich eingeschränkten Betriebes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb vermindert die Verluste der Transmission und Lüftung ▪ räumlich eingeschränkter Betrieb wird in der mittleren Innentemperatur erfasst ▪ eingeschränkter Betrieb bei Bestimmung der Hilfsenergien erfasst, bei technischen Verlusten nicht
Berücksichtigung der Wärmeverluste der Wärmeübergabe?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmeübergabe nicht explizit erfasst, aber ggf. als Änderung der Innentemperatur möglich
Berücksichtigung von Wärmebrücken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ja, ausführlich möglich
Berücksichtigung der zurückgewonnenen Wärme einer Lüftungsanlage?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rückgewonnene Wärme wird als energetischer Luftwechsel erfasst
Umgang und Bilanzierung von Wärmegewinnen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung von solaren Gewinnen sowie inneren Gewinnen für Personen und Geräte ▪ ggf. Gewinne aus Trinkwarmwasserbereitung berücksichtigt ▪ keine Gewinne aus Heizung berücksichtigt ▪ variabler Ausnutzungsgrad für Fremdwärme je nach Gewinn-Verlust-Verhältnis
Bilanzierung von Wärmeverlusten der Verteilung und Speicherung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verluste für Trinkwarmwasser ausführlich berechnet und voll berücksichtigt ▪ für Heizung nur im unbeheizten Bereich bilanziert, keine Angaben zu Heizungsspeichern
Bilanzierung der Wärmeverluste der Wärmeerzeugung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmeverluste mit Hilfe von Deckungsanteilen und Nutzungsgraden erfasst

Tabelle 4.4 Bilanzverfahren: Hessischer Energiepass

Positiv ist die sehr variable Verwendung eigener Randdaten bei gleichzeitig breiter Angabe typischer Kennwerte. Negativ ist die Bewertung des zeitlich eingeschränkten Betriebes allein für die baulichen Kenngrößen. Auch im Hessischen Energiepass wird der Fremdwärmenutzungsgrad nicht für Fremdwärme aus Anlagentechnik verwendet.

Merkmal	VDI 2067 Blätter 1, 2, (3), 4, (6) und (7)
Grundzüge und Ziele des Verfahrens? Anwendbar auf welche Gebäude? Bilanzgrößen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berechnung des Brennstoffbedarfes für die Heizung und Trinkwarmwasserbereitung zur Bestimmung der Energiekosten; ▪ für Wohn- und Nichtwohnbauten geeignet; ▪ für Alt- und Neubau zugelassen - aber nur eine Heizgrenztemperatur für alle Gebäude zugrundegelegt (15 °C) ▪ Bilanz endet bei Endenergie bzw. bei Kosten
Bilanzzeiträume? Art der Energiekennwerte? Offenheit für projektspezifische Kennwerte?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jahresbilanz ▪ Bilanz überwiegend mit absoluten Energien und Nutzungsgraden ▪ viele festgelegte Kennwerte vorhanden, aber projektspezifische Daten zugelassen
Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung, von Hilfsenergien und Kühlenergie? Bilanz von Klimatisierung und elektrischem Haushaltsstrom?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Heizung ohne Hilfsenergien in Blatt 1 und 2 ▪ Trinkwasserbereitung incl. Hilfsenergien in Blatt 4 ▪ Kühlung und Klimatisierung mit Hilfsenergien in Blatt 3
Einbindung von regenerativen Techniken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Einbindung von Solartechnik oder Haushaltsstrom ▪ Wärmepumpen und BHKWs in Blatt 6 und Blatt 7
Berücksichtigung des räumlich und zeitlich eingeschränkten Betriebes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingangsgröße ist die räumlich gemittelte Solltemperatur ▪ Berücksichtigung von räumlich und zeitlich eingeschränktem Betrieb als verminderte Verluste der Transmission und Lüftung ▪ Berücksichtigung von zeitlich eingeschränktem Betrieb auch für die technischen Verluste der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung
Berücksichtigung der Wärmeverluste der Wärmeübergabe?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmeverluste der Wärmeübergabe drücken sich in erhöhten Raumtemperaturen aus
Berücksichtigung von Wärmebrücken?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ keine Berücksichtigung von Wärmebrücken
Berücksichtigung der zurückgewonnenen Wärme einer Lüftungsanlage?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ einfache Lüftungsanlagen werden in Blatt 3 mitbehandelt
Umgang und Bilanzierung von Wärme gewinnen?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ innerer Fremdwärmeanfall aus Personen und Geräten sowie solarer Fremdwärmeanfall werden aus Anhaltswerten bestimmt ▪ Ausnutzungsgrad der Fremdwärme hängt ab von der Art der Regelung und der Höhe der solaren Gewinne zu den Wärmeverlusten aus Transmission und Lüftung
Bilanzierung von Wärmeverlusten der Verteilung und Speicherung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilanzierung mit absoluten Kennwerten je nach realer Ausführung für Trinkwarmwasserbereitung ▪ für die Heizung Bilanzierung anhand eines Verteilungsnutzungsgrades
Bilanzierung der Wärmeverluste der Wärmeerzeugung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bilanzierung über Nutzungsgrad mit Berücksichtigung von Bereitschaftsverlusten und Abgasverlusten

Tabelle 4.5 Bilanzverfahren: VDI 2067

Positive Merkmale der VDI 2067 (alte Version) ist die Berücksichtigung der Regelung. So wird die Innentemperatur aufgrund der Regelung korrigiert und auch der Fremdwärmenutzungsgrad. Negativ ist der Umgang mit Nutzungsgraden, z.B. für die Verteilung sowie die feste Heizgrenze von 15°C. Der Ansatz, nur die solare Fremdwärme (nicht die innere) zur Bestimmung des Fremdwärmenutzungsgrades heranzuziehen, ist für ältere Gebäude nachvollziehbar. Nur die solare Fremdwärme fällt sporadisch in so hohem Maße in einem Gebäude an, dass sie nicht nutzbar wird. Alle anderen Anteile der Fremdwärme fallen eher gleichförmig an und bilden eine Art Grundleistung der Wärmeversorgung. Diese Ansätze müssen in einem Niedrigenergiegebäude mit sehr geringen Heizlasten überdacht werden.

Die Aussagen zur VDI 2067 innerhalb dieser Forschungsarbeit beziehen sich grundsätzlich auf die alte Ausgabe der Richtlinie, die seit Oktober 2002 zurückgezogen ist. An dieser Stelle soll ein Hinweis auf die Neuerscheinung der VDI 2067 erfolgen, die noch während der Bearbeitung des vorliegenden Projektes novelliert wird.

Der Rechenansatz der neuen Version ist weitaus komplexer als jener der alten und erfolgt weitgehend mit Hilfe von Aufwandszahlen für die einzelnen Schritte der anlagentechnischen Bilanz. Das Gebäude wird anhand einer dynamischen Simulation abgebildet, mit der sowohl der Heiz- als auch der Kühlbedarf ermittelt werden. Wärmegewinne aus der Anlagentechnik werden innerhalb der Simulation zunächst nicht berücksichtigt. Die Verrechnung erfolgt im Zusammenhang z.B. mit der Nutzenübergabe. Die Teile der neuen VDI 2067 liegen bis zur Erstellung des Berichtes noch nicht durchgehend vor, so dass eine Bewertung der Untersuchungsobjekte noch nicht möglich ist.

Neben den genannten fünf Verfahren sind noch weitere Bilanzverfahren, die teilweise nur für einzelne Teile der gesamten Bilanz verwendbar sind, untersucht worden [Hauser/Hausladen] [SchüßlerDA] [Bilanzverfahren]. Die Ergebnisse der Auswertung dieser Verfahren ist ebenfalls in die Weiterentwicklung der Bilanzverfahren eingeflossen.

4.3. Weiterentwicklung: Gesamtbilanzverfahren

4.3.1. Neue Ansätze

Die Untersuchung der Bilanzverfahren zeigt, dass keines der Verfahren - nach Ansicht der Autoren - ohne negative Ansätze ist. Die erste Weiterentwicklung der in der Praxis vorhandenen Bilanzverfahren beruht darauf, die positiven Aspekte der Verfahren zu vereinen.

Folgende gewünschte Neuerungen für eine Energiebilanz lassen sich aus der Analyse der vorhandenen Bilanzverfahren ableiten:

- Das neue Verfahren soll sowohl eine Bedarfsberechnung als auch eine Verbrauchsbereinigung ermöglichen können; das kann keines der vorher untersuchten Verfahren.
- Das Verfahren soll flexibel in der Wahl der Heizzeit und damit variabel zur Bewertung von Neubauten und Bestandsgebäuden einsetzbar sein.
- Das Verfahren soll typische Kenndaten für verschiedene Nutzerprofile, Bauausführungen und Anlagentechniken bieten, aber dennoch Platz für eigene Kennwerte lassen.
- Kennwerte sollen aus anderen Bilanzverfahren übernommen werden können; das gilt vor allem für die Bewertung des Baukörpers, der Verteilsysteme und Wärmeezeuger, damit der Formalismus im Verfahren selbst gering gehalten wird.
- Energiemengen sollen möglichst als absolute Größen, nicht als Aufwandszahlen oder Nutzungsgrade bestimmt werden.
- **Das Verfahren soll durchgehend für die Bewertung eines eingeschränkten Heizbetriebes geeignet sein.**
- **Der Einfluss der Fremdwärme soll für alle Arten Fremdwärme eines Gebäudes gemeinschaftlich bewertet werden - es gibt nur einen Nutzungsgrad für Fremdwärme.**
- **Der Einfluss der dezentralen Regelung, der Art der Wärmeübergabe und des eingeschränkten Heizbetriebes soll sich primär in der Raumtemperatur widerspiegeln.**

Die gewünschten Kriterien sollen sich auch auf eine monatliche Bilanz des Energiebedarfs oder auf eine Analyse der Energieverbrauches übertragen lassen. Damit sollen zeitlich unterschiedliche Auswirkungen, v.a. der Qualitätssicherung (Nutzer reagiert auf angebotenes Verschwendungspotential), während der Zeit eines Jahres untersucht und die Ansätze der Jahresbilanzverfahren überprüft werden.

Monatliche Messdaten für konkrete Gebäude sind vorhanden. Dazu wurden mehrere Niedrigenergie-mehrfamiliengebäude im Feld mit entsprechender Messtechnik ausgestattet. Für diese Gebäude werden monatliche Abrechnungsdaten erhoben, die es ermöglichen, den monatweisen Energieverbrauch getrennt nach "Heizung" und "Trinkwarmwasserbereitung" zu erfassen.

4.3.2. Gesamtbilanzverfahren für Jahresbilanz

Aus den genannten Vorschlägen für eine neues Bilanzverfahren wird im Rahmen des Forschungsprojektes das Gesamtbilanzverfahren abgeleitet. Dieses Verfahren ist die Grundlage sowohl für eine Bedarfsbilanz (als Vergleich zu anderen Bedarfsbilanzen) als auch für einen Großteil der Verbrauchsbilanzen.

Das Gesamtbilanzverfahren ist eine Energiebilanz für den näherungsweise stationären Zustand eines Gebäudes. Für einen definierten Zeitraum werden die Energiegewinne und -verluste der Anlagentechnik und des Gebäudes anhand von Kennwerten und unter Voraussetzung einer bestimmten Nutzung ermittelt.

Die angegebenen Kennwerte sind über die Bilanzzeit eines Jahres gemittelte Werte. Kennwerte können auch mit Hilfe anderer Energiebilanzverfahren bestimmt werden. Das Verfahren ermöglicht die Berechnung der über den Zeitraum eines Jahres zur Warmwasserbereitung und Raumheizung (Heizung inkl. Lüftung) benötigten Jahresendenergiemengen.

Als wesentlicher Unterschied zu vielen anderen Berechnungsverfahren ist die durchgehende Betrachtungsweise bei der Bewertung von Gebäude, Anlage und Nutzer zu nennen. Die im beheizten Bereich des Gebäudes unregelmäßig anfallende Fremdwärme (solare Energiegewinne, innere Wärmeenergiegewinne durch Personen und Geräte, aber auch durch die Anlagentechnik) wird gemeinschaftlich betrachtet und bewertet. Eine getrennte Bewertung des stark schwankenden Anfalls solarer Fremdwärme wird nicht vorgenommen. Eine teilweise zeitlich und räumlich eingeschränkte Nutzung der Anlagentechnik (Heizung, Lüftung, Trinkwarmwasserbereitung) kann ebenfalls berücksichtigt werden.

Der durch die Lüftung des Gebäudes auftretende Lüftungswärmeverlust muss nicht auf die Bereiche "Gebäude", "Nutzer" und "Anlage" aufgeteilt werden, sondern wird als Gesamtgröße bewertet.

Die Einzelkennwerte werden anhand des in Bild 4.1 vorgestellten Schemas miteinander verknüpft.

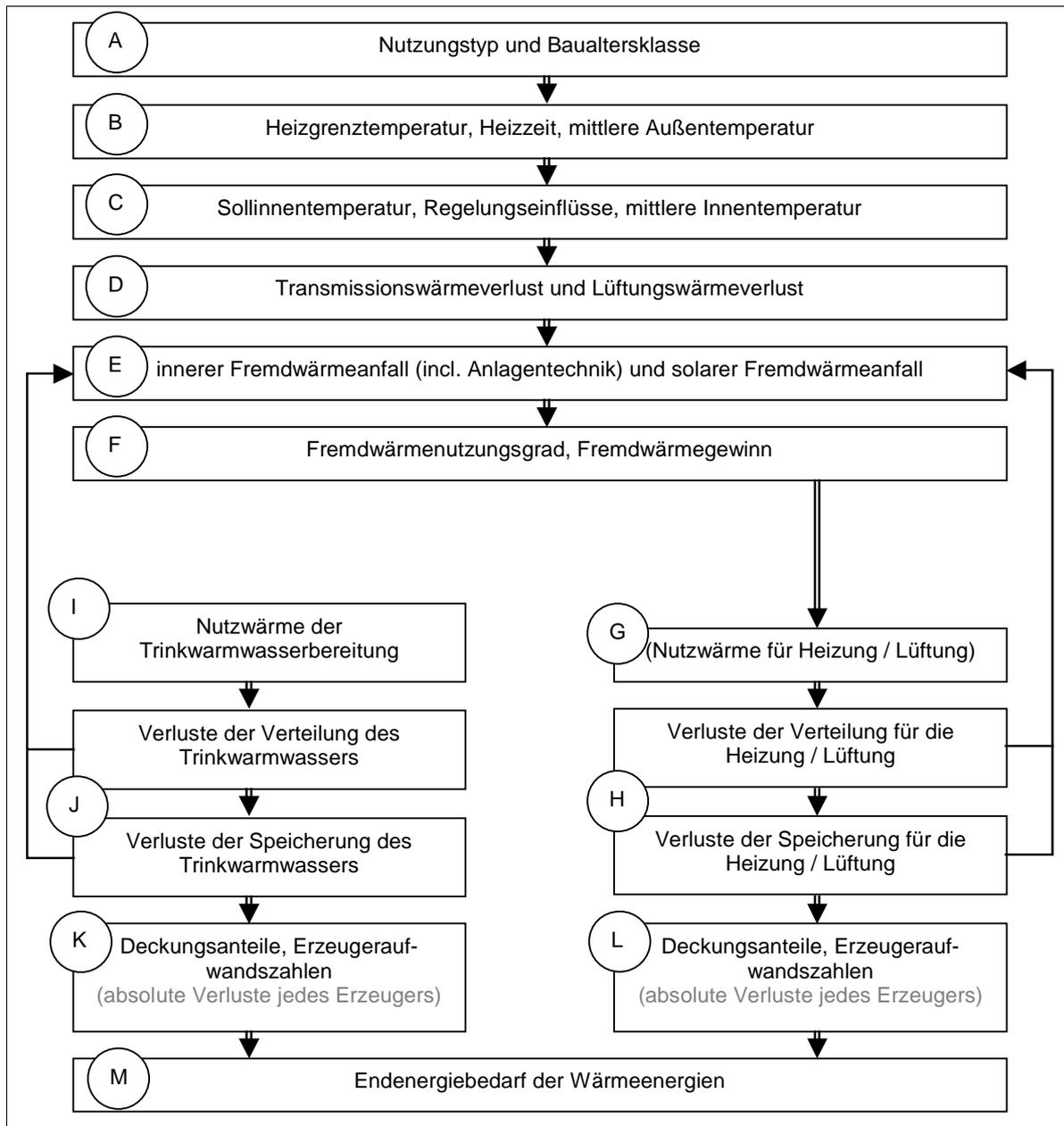


Bild 4.1 Schema für Gesamtbilanz (Bedarf)

Der Bewertungsablauf bei der Bedarfsermittlung wird im folgenden kurz erläutert.

(A) Zunächst wird das Gebäude einem Nutzungstyp und einer Baualtersklasse zugeordnet. Diese allgemeinen Gebäudeeigenschaften helfen bei der Bildung von Energiekennwerten, wenn keine realen Daten vorliegen.

(B) Im nächsten Schritt wird für das Gebäude zunächst die Heizgrenztemperatur abgeschätzt, unterhalb der das Gebäude beheizt werden muss. Damit liegen die Länge der Heizperiode und die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode fest. Dies sind fundamentale Größen, welche die Höhe aller Energiekennwerte entscheidend bestimmen, da das gesamte Bilanzverfahren mit diesen Werten durchgeführt wird.

(C) Aus der mittleren Sollinnentemperatur für die beheizte Zone des Gebäudes kann unter Berücksichtigung der Art der Temperaturregelung (teilweise zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb, Art der Regelung der Wärmeübergabe an den Raum) und den Eigenschaften des Gebäudes (Wärmespeicherkapazität, Auskühlverhalten) eine mittlere Innentemperatur bestimmt werden. Es wird kein gesonderter Wärmeverlust der Wärmeübergabe ausgewiesen. Das physikalische Phänomen wird vereinfacht als eine erhöhte Raumtemperatur ausgedrückt.

(D) Für das Gebäude wird die spezifische Transmissionsheizlast H_T aufgrund der Wärmedämmqualität im Bereich der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (mittlerer U-Wert und Wärmebrücken) bestimmt. Unter Zugrundelegung der gemessenen oder näherungsweise Abschätzung der Gebäudedichtheit, anhand der Nutzung und der Anlagentechnik können der mittlere Luftwechsel und damit die spezifische Lüftungsheizlast H_V berechnet werden. Mit den mittleren Innen- und Außentemperaturen sowie der Länge der Heizperiode ergeben sich die Summe der Wärmeverluste der Transmission und Lüftung.

(E) Zum Fremdwärmeanfall zählen im Rahmen des Gesamtbilanzverfahrens die Energien der solaren Einstrahlung sowie die gesamte, unregelmäßig innerhalb des beheizten Bereiches des Gebäudes auftretende Wärmeabgabe von Personen, Geräten, Beleuchtung und den Komponenten der Anlagentechnik. An dieser Stelle müssen die Verluste der Anlagentechnik laut (H) und (J) bereits bekannt sein.

(F) Nicht der gesamte so bilanzierte Fremdwärmeanfall kann auch zu Heizzwecken, das heißt zur Deckung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten, genutzt werden. Der nutzbare Anteil - der Wärmegewinn - hängt von einem Nutzungsgrad für Fremdwärme ab. Anhand des Verhältnisses von Fremdwärmeanfall zu Wärmeverlusten wird dieser Nutzungsgrad bestimmt.

(G) Der für das Gebäude notwendige Restanteil geregelter Wärmeabgabe der Raumheizung (als gebäude-, anlagen- und nutzungsabhängige Eigenschaft) kann aus der Differenz der Wärmeverluste (Transmission und Lüftung) und der Wärmegewinne (solare und innere) ermittelt werden. Diese Wärmemenge wird als "Nutzwärme der Heizung und Lüftung" bezeichnet. In diesem Schritt wird auch die Wahl der Heizgrenztemperatur überprüft.

(H) Neben der Nutzwärmemenge werden nun die anlagentechnischen Verluste der Heizungs- und ggf. einer vorhandenen Lüftungsanlage bestimmt. Anhand von mittleren Heizwasser- bzw. Lufttemperaturen der Versorgungsleitungen und Speicher, mittleren Umgebungstemperaturen, verlegten Leitungslängen und Speichergrößen, Dämmstandards der Anlagenkomponenten sowie der Art der Regelung und Nutzung wird die Energiemenge bestimmt, die im Verlaufe einer Heizperiode von Verteilungen und Speichern (ggf. auch Erzeugern) abgegeben wird. Der Anteil, der davon im beheizten Bereich anfällt, wird gesondert ausgewiesen, er zählt zum Fremdwärmeanfall und kann teilweise zur Heizung genutzt werden.

(I) Für die Trinkwarmwasserbereitung wird das bisher gezeigte Schema analog angewendet. Anhand der Nutzung des Gebäudes (Personenzahl, Komfortansprüche) wird zunächst der Trinkwarmwasserbedarf ermittelt. Er wird als Nutzenergie der Trinkwarmwasserbereitung verstanden.

(J) Analog zu den bereits für die Heizung und Lüftungsanlage genannten Kenngrößen werden die jährlichen Wärmeverluste der Wärmeverteilung und Wärmespeicherung für das Trinkwarmwassernetz bestimmt. Der im beheizten Bereich auftretende Wärmeverlust wird gesondert ausgewiesen. Er kann, da auch er zum Fremdwärmeanfall zählt, teilweise zur Raumheizung verwendet werden.

Zusammen mit dem bereits berechneten Wärmenutzen für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung bestimmen die Wärmeverluste aller Wärmeverteilungen und aller Wärmespeicher die Energiemenge, die durch den (oder die) Wärmeerzeuger im Verlauf eines Jahres bereitgestellt werden muss. Die Betrachtung erfolgt an dieser Stelle weiterhin getrennt für die Heizung und Lüftung auf der einen Seite und die Trinkwarmwasserbereitung auf der anderen Seite, auch wenn ggf. zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung ein und derselbe Wärmeerzeuger verwendet wird.

(K) Für jeden Wärmeerzeuger der Heizung und Lüftung (Kessel, Luftheizregister, Wärmerückgewinnung, usw.) wird ein Deckungsanteil bestimmt. Dieser spiegelt den Anteil wieder, den der jeweilige Erzeuger zur gesamten benötigten Energieabgabe der Heizung und Lüftung beiträgt. Anschließend wird für jeden Erzeuger eine Erzeugeraufwandszahl ermittelt. Diese berücksichtigt - als Multiplikator für die abzugebende Energie des Erzeugers - die zusätzlichen Energieverluste, die bei der Wärmeerzeugung im Betrieb und in Stillstandszeiten auftreten. Eine getrennte Betrachtung der Wärmeerzeugerverluste in Betriebs- und Bereitschaftsverluste ist möglich für brennstoffbefeuerte Kessel. Die Wärmerückgewinnung einer Lüftungsanlage wird wie ein Wärmeerzeuger behandelt, der keine Energie benötigt. Sofern bekannt, können die Wärmeverluste der Erzeugung, die im beheizten Bereich anfallen, als Fremdwärme angesehen werden.

(L) Die Wärmeverluste der Erzeugung der Wärme für die Trinkwarmwasserbereitung werden bestimmt, je nach Art und Anzahl der Wärmeerzeuger. Für jeden Wärmeerzeuger der Trinkwarmwasserbereitung (Solaranlage, Wärmepumpe, Elektroheizstab, usw.) werden dabei ein Deckungsanteil und eine Erzeugeraufwandszahl - in Analogie zu den Definitionen der Heizung und Lüftung - ermittelt. Auch für die Erzeuger der Trinkwarmwasserbereitung ist es denkbar, die Wärmeverluste absolut zu berechnen und die im beheizten Bereich des Gebäudes anfallenden Wärmeverluste als Fremdwärme anzusehen.

(M) Aus allen Einzelenergiekennwerten für Nutz- und Verlustenergien, Deckungsanteilen und Erzeugeraufwandszahlen wird der Jahresendenergiebedarf des Gebäudes bestimmt. Dies ist die Energiemenge, die zur Aufrechterhaltung der geforderten Raumbedingungen (Temperatur und Luftwechsel) und zur Bereitstellung der benötigten Warmwassermenge theoretisch in Form eines Energieträgers (Gas, Öl, Fernwärme) in das Gebäude fließen muss. Dabei sind jedoch bisher nur die thermischen Energien berücksichtigt.

Der in diesem Vorhaben als zentrale Größe untersuchte Lüftungswärmebedarf wird als mittlerer jährlicher Luftwechsel dargestellt, der sich zusammensetzt aus dem Grundluftwechsel, mit dem die Lüftungswärmeverluste Q_V berechnet werden und einem zusätzlichen Luftwechsel, dessen Maximalwert sich aus den nicht nutzbaren Anteilen der Fremdwärme ergibt (siehe Kapitel 3.3). Beide Anteile werden zusätzlich auch einzeln mit angegeben. Der Maximalwert ergibt sich nur, wenn sämtliche nicht nutzbaren Anteile der Fremdwärme ohne Temperaturerhöhung abgelüftet werden. Es ergibt sich damit eine Bandbreite für den realen Luftwechsel.

Das Gesamtbilanzverfahren vereinigt alle in Kapitel 4.3.1 gewünschten Merkmale, ein Auszug der in der Literatur recherchierten typischen Kennwerte befindet sich im Anhang (Kapitel 9.4). Die mögliche Verbrauchsberichtigung ist in Kapitel 4.3.4 allgemein und im Kapitel 4.5.4 konkret beschrieben. Eine genauere Beschreibung der Bedarfsbilanz findet sich im Kapitel 4.5.3.

4.3.3. Gesamtbilanzverfahren für Monatsbilanz

Eine weitere Neuerung der Energiebilanz stellt die monatsweise durchgehende Bilanzierung von Baukörper, Anlagentechnik und Nutzung dar. Monatliche Bilanzverfahren sind nach Kenntnis der Autoren bis zu diesem Forschungsvorhaben nur für die baulichen Energiekennwerte vorhanden.

Im Rahmen der Forschungsarbeit werden vorhandene Bilanzverfahren auf eine Eignung zur monatsweisen Energiebilanz hin untersucht [UllrichSA]. Dazu wird eine weitreichende Literaturrecherche durchgeführt.

Im Wesentlichen soll damit geprüft werden, ob sich das bereits vorhandene Gesamtbilanzverfahren auch für eine monatsweise Bilanzierung verwenden lässt bzw. welche Veränderungen im Algorithmus vorzunehmen sind und welche Verfahren eine genauere Ermittlung bestimmter Kennwerte zulassen.

Schwerpunkte der Monatsbilanz, d.h. wichtige Unterscheidungspunkte von der Jahresbilanz, sind:

- Variation der monatsweisen Raumlufthtemperatur,
- Variation von monatsweisen Luftwechselzahlen,
- Variation des unterschiedlichen solaren Fremdwärmeanfalles,
- Variation der monatsweisen Systemtemperaturen (Verteilleitungen, Speicher),
- Variation des Ausnutzungsgrades für Fremdwärme.

Die Monatsbilanzierung wird wie die Jahresbilanzierung als Bedarfsrechnung und als bereinigende Verbrauchsrechnung unter Berücksichtigung der Witterungseinflüsse erarbeitet. Der schematische Ablauf, der in Bild 4.1 für eine Bedarfsrechnung gezeigt ist, bleibt erhalten. Folgende wichtige Änderungen gibt es gegenüber der Jahresbilanz im Bewertungsablauf des Energiebedarfs (vgl. Bild 4.1 und Erklärungen):

- Bilanziert werden monatsweise alle Kennwerte jeweils für die gesamte Zeit eines Monats, nicht nur für die Heizzeit.
- Die Abschätzung der Heizzeit als Eingangsgröße der Bilanz erfolgt dennoch, damit die Wärmeverluste der Heizungsanlage (v.a. in den Übergangsmoaten) bestimmt werden können.
- Es wird mit mittleren Außentemperaturen für jeden Monat gerechnet, ebenso mit mittleren solaren Einstrahlungswerten.
- Die Lüftungs- und Transmissionsverluste werden anhand der mittleren Außentemperatur eines Monats bestimmt.
- für die Bewertung des Fremdwärmeanfalles wird der monatliche Ansatz der DIN V 4108-6 verwendet.
- die anlagentechnischen Verluste werden anhand mittlerer monatlicher Systemtemperaturen bestimmt, die von der mittleren monatlichen Außentemperatur abhängen.

Die Zuordnung zu Nutzungstypen und Baualtersklassen, die Art der Bewertung der Innentemperatur und die allgemeine Verrechnung aller Energiekennwerte in der Bilanz bleibt erhalten.

4.3.4. Verbrauchsbereinigung mit Gesamtbilanz

Wenn die Verbrauchswerte für das entsprechende Jahr als Energiemengen vorliegen, kann die Energieanalyse mit den Kennwertes des Gesamtbilanzverfahrens vorgenommen werden. Zur Verdeutlichung des Ablaufs dient Bild 4.2.

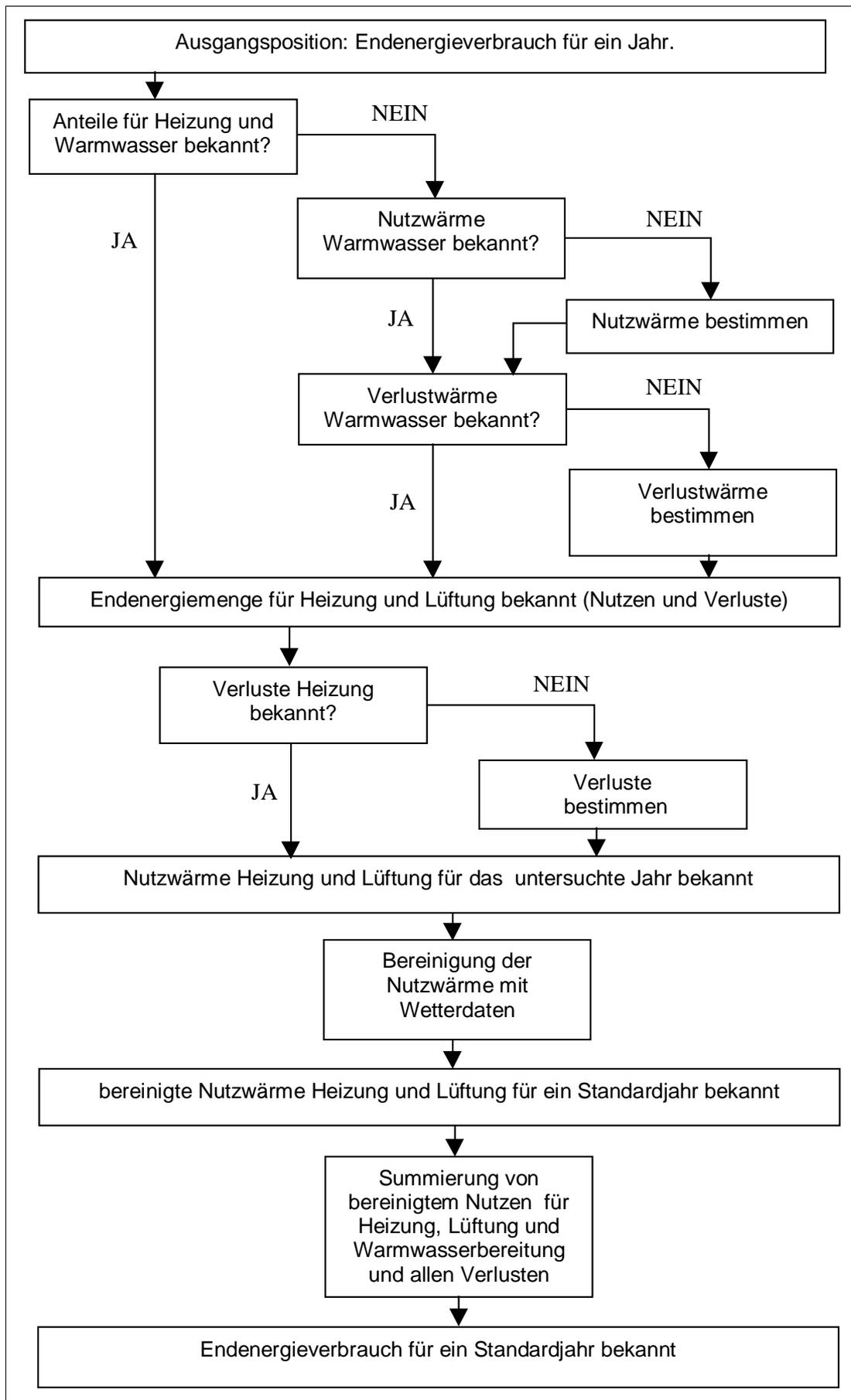


Bild 4.2 Ablaufschema für die Energieanalyse eines bestehenden Gebäudes

Der gesamte Jahresendenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung muss zunächst einmal auf die Bereiche "Heizung/Lüftung" und "Trinkwarmwasser" aufgeteilt werden. Falls keine Messwerte, zum Beispiel aus separaten Wärmemengenzählern für die Heizung oder die Warmwasserbereitung, vorliegen, wird zunächst der Warmwassernutzen bestimmt. Dazu wird - wenn möglich - immer die Wasserabrechnung herangezogen. Im Anschluss daran werden die Verluste der Warmwasserbereitung ermittelt. Dabei fließen die Ausführung und Regelungsstrategie des Warmwassersystems ein.

Ist die Jahresendenergie für Trinkwarmwasserbereitung bekannt, kann auch die Jahresendenergie für Heizung und Lüftung ermittelt werden. Diese Energiemenge umfasst sowohl Verluste des Heiz- und Lüftungssystems als auch den Nutzen, der zur Deckung der Wärmeverluste des Gebäudes notwendig ist.

In der Regel müssen nun nacheinander zunächst alle technischen Verluste der Heizung und Lüftung bestimmt werden. Wie bei der Trinkwarmwasserbereitung fließen in diese Ermittlung sowohl die technische Ausstattung als auch Regelungsstrategien ein. Aus der Jahresendenergie für das Heizungs- und Lüftungssystem und den technischen Verlusten wird die Nutzwärme als Differenz bestimmt.

Die innere und solare Fremdwärme wird bestimmt. Die bei der Berechnung der anlagentechnischen Verluste bilanzierten Energiemengen innerhalb des beheizten Bereiches werden als Fremdwärme der Anlagentechnik herangezogen. Die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung werden aus der Nutzwärmemenge und dem nutzbaren Anteil der Fremdwärme bestimmt.

Die vorhandenen Kennwerte für Transmission und Lüftung werden mit Hilfe der Gradtagszahlen witterungsbereinigt (vgl. Kapitel 3.5.3).

Wenn alle Energiekennwerte für das Untersuchungsjahr gekannt sind, dann beginnt die Rekonstruktion des Standardjahres anhand der drei nachfolgend genannten Bereinigungsmechanismen:

- Die Bereinigung des Energieverbrauches (Nutzen und Verluste) der Trinkwarmwasserbereitung auf ein Standardjahr erfolgt anhand einer einfachen **Zeitkorrektur**, da er als ein nahezu wetterunabhängiger Verbrauch angesehen wird. Dazu werden die Anzahl der Tage des Messzeitraumes verglichen mit einem ganzen Jahr.
- Die Verluste der Heizung werden einfach anhand der Zahl der Heiztage im Messzeitraum hoch- bzw. heruntergerechnet auf die Anzahl der Heiztage des Standardjahres. Es handelt sich hier wieder um eine **Heizzeitkorrektur**.
- Die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste des Standardjahres werden mit einer **Gradtagzahlkorrektur** aus den Werten des Untersuchungsjahres bestimmt.

Alternativ wäre die Korrektur der gesamten Nutzwärme der Heizung und Lüftung mit Hilfe einer **Heizgradtagkorrektur** möglich (vgl. Kapitel 3.5.2). Da der Fremdwärmeanfall aber bekannt ist, wird diese Möglichkeit nicht weiter verfolgt.

Letztlich sind die einzelnen Kennwerte für die Nutzenergien und die Verlustenergien bekannt und das Standardjahr kann rekonstruiert werden.

4.4. Weiterentwicklung: ΔQ -Verfahren

4.4.1. Neue Ansätze

Die in Kapitel 4.3 beschriebenen Ansätze zur Weiterentwicklung der üblichen Bilanzverfahren werden im Rahmen des Forschungsvorhabens noch einmal erweitert. Gründe für diese Entscheidung liegen vor allem in der Bewertung der Qualitätssicherung der Anlagentechnik.

Wie in Kapitel 3.4.4 erläutert, lassen sich die Einflüsse einer nicht erfolgten Qualitätssicherung nur schwer in Kenngrößen einer Energiebilanz erfassen. Mögliche variable Bilanzgröße sind die Raumtemperatur, der Luftwechsel, die Länge der Heizzeit und/oder die mittlere Systemtemperatur der Anlagentechnik.

Neben den gelösten Problemen üblicher Bilanzverfahren bleibt die bereits eingangs in Kapitel 3.1.3 erwähnte Problematik des Fremdwärmenutzungsgrades. Da physikalisch recht einsichtig ist, dass der nicht genutzte Anteil der Fremdwärme das Gebäude auch als ein Energiestrom verlassen muss, wird nach einem Verfahren gesucht, das folgende Kriterien aufweist:

- Das neue Verfahren soll sich soweit wie möglich am Gesamtbilanzverfahren orientieren, es soll zunächst für eine Verbrauchsdatenauswertung geeignet sein.
- **Der Einfluss der Fremdwärme soll nicht mit Hilfe eines Fremdwärmenutzungsgrades bewertet werden.**
- **der Einfluss der dezentralen Regelung, der Art der Wärmeübergabe und des eingeschränkten Heizbetriebes und des eventuell vorhandenen Mehrverbrauches aufgrund nicht erfolgter Qualitätssicherung der Anlagentechnik soll sich in einer Differenzenergiemenge widerspiegeln.**
- Das Verfahren soll flexibel in der Wahl der Heizzeit und damit variabel zur Bewertung von Neubauten und Bestandsgebäuden einsetzbar sein.
- Das Verfahren soll typische Kenndaten für verschiedene Nutzerprofile, Bauausführungen und Anlagentechniken bieten, aber dennoch Platz für eigene Kennwerte lassen.
- Kennwerte sollen aus anderen Bilanzverfahren übernommen werden können; das gilt vor allem für die Bewertung des Baukörpers, der Verteilsysteme und Wärmeeerzeuger, damit der Formalismus im Verfahren selbst gering gehalten wird.
- Energiemengen sollen möglichst als absolute Größen, nicht als Aufwandszahlen oder Nutzungsgrade bestimmt werden
- Das Verfahren soll durchgehend für die Bewertung eines eingeschränkten Heizbetriebes geeignet sein.

In Bezug auf den Luftwechsel und die mittlere Innentemperatur werden damit - nach Ansicht der Autoren - erstmals reale Werte in der Bilanz bestimmt. Die übermäßige Temperatur- und Luftwechselerhöhung, die sich in einer üblichen Bilanz (mit Fremdwärmenutzungsgrad) nur indirekt ermitteln lassen, werden hier zahlenmäßig angegeben. Insbesondere Luftwechsel, die mit dem ΔQ -Verfahren bestimmt werden, sind damit nicht direkt mit Luftwechseln anderer Bilanzverfahren vergleichbar.

4.4.2. ΔQ -Verfahren für Jahresbilanz

Aus den genannten neuen Vorschlägen zur Weiterentwicklung einer Energiebilanz ohne Rückgriff auf den Fremdwärmenutzungsgrad wird das in Bild 4.3 schematisch gezeigte ΔQ -Verfahren entwickelt.

Es lehnt sich bei der Bestimmung der Einzelkennwerte an der Gesamtbilanz an. Mit seiner Hilfe wird der Einfluss einer nicht vorhandenen Qualitätssicherung anhand einer Differenzenergiemenge (ΔQ) sichtbar gemacht, die einem unnötigen Mehrverbrauch gegenüber einem idealen Zustand entspricht.

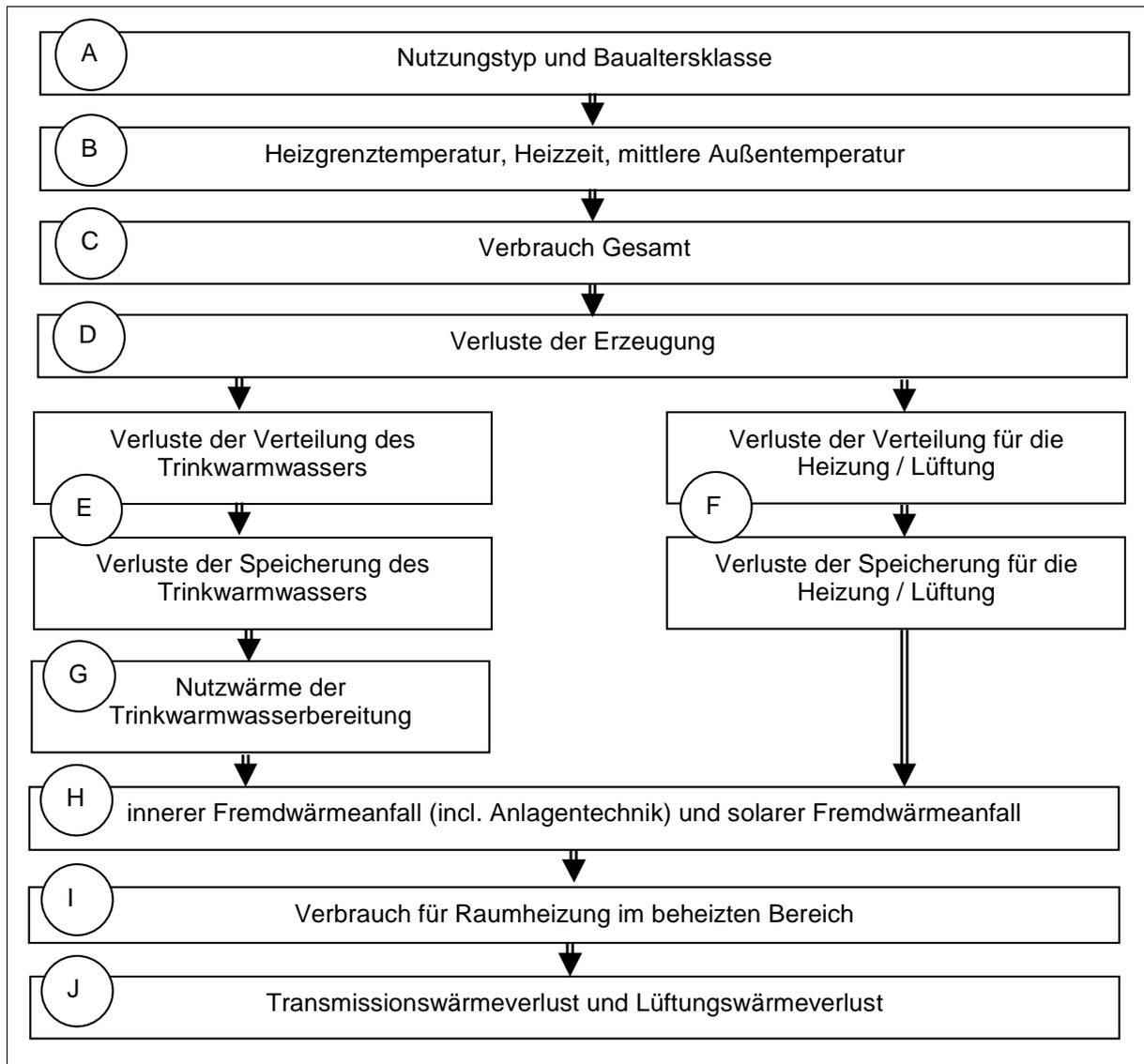


Bild 4.3 Schema für ΔQ -Verfahren

Der Bewertungsablauf bei der Bedarfsermittlung wird im folgenden kurz erläutert.

(A) Zunächst wird das Gebäude einem Nutzungstyp und einer Baualtersklasse zugeordnet. Diese allgemeinen Gebäudeeigenschaften helfen bei der Bildung von Energiekennwerten, wenn keine realen Daten vorliegen.

(B) Im nächsten Schritt wird für das Gebäude zunächst die Heizgrenztemperatur abgeschätzt, unterhalb der das Gebäude beheizt werden muss. Damit liegen die Länge der Heizperiode und die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode fest. Dies sind fundamentale Größen, welche die Höhe aller Energiekennwerte entscheidend bestimmen, da das gesamte Bilanzverfahren mit diesen Werten durchgeführt wird.

(C) Der Verbrauch für ein Jahr zur Heizung und Trinkwarmwasserbereitung wird aus einer Verbrauchsabrechnung ermittelt.

(D) Die Verluste der Erzeugung für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung werden abgeschätzt anhand der vom Wärmeerzeuger aufgenommenen Energiemenge und einer Berechnung der Betriebs- und Bereitschaftsverluste oder anhand von Messungen.

(E) Die Verluste, die bei der Verteilung und Speicherung des Trinkwarmwassers im Gebäude während eines Jahres anfallen, werden mit Hilfe einer Bilanz bestimmt. Der Anteil, der innerhalb des beheizten Bereiches und innerhalb der gewählten Heizzeit anfällt, wird gesondert als Fremdwärme ausgewiesen.

(F) Die Verluste, die bei der Verteilung und Speicherung von Heizwasser in der Heizzeit anfallen, werden mit Hilfe einer Bilanz bestimmt. Der Anteil, der innerhalb des beheizten Bereiches anfällt, wird gesondert als Fremdwärme ausgewiesen.

(G) Die Nutzwärme für Trinkwarmwasser wird - wenn möglich - anhand von Kennwerten bestimmt.

(H) Der innere und der solare Fremdwärmeanfall in der Heizzeit werden ohne Berücksichtigung eines Fremdwärmenutzungsgrades bestimmt. Dabei wird auf die bereits berechneten Fremdwärmemengen der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung zurückgegriffen.

(I) Aus dem Gesamtenergieverbrauch und den unter (D) bis (H) berechneten Kennwerten wird die Energiemenge bestimmt, die innerhalb der Heizzeit in den beheizten Bereich über die Heizflächen eingebracht wird.

(J) Aus der Energiemenge, die insgesamt in der beheizten Hülle aus allen Energiequellen emittiert wird (Heizflächen, Fremdwärme), werden reale Transmissions- und Lüftungswärmeverluste als Summengröße bestimmt. Bezogen auf die minimalen Wert für den Transmissions- und Lüftungswärmeverlust (mit einer definierten Raumtemperatur und einem definierten Luftwechsel) wird die Differenzenergiemenge ΔQ abgeleitet, die einem nicht nötigen Mehrverbrauch (mit vielseitigen Ursachen) entspricht.

Die als Vergleichsbasis zur Bildung von ΔQ dienende minimale Rauminnentemperatur und der gewählte Mindestluftwechsel sind frei wählbar. Gerade die Temperatur sollte nicht zu gering gewählt werden, weil ein sehr geringer Temperaturwert praktisch nicht erreichbar ist. Dies liegt vor allem am zeitlich nicht veränderbaren Auftreten solarer Einstrahlung. Dieser Teil der Fremdwärme kann nicht unter einen bestimmten Anteil minimiert werden und provoziert auch bei der besten Regelung im NEH Temperaturerhöhungen. Gleiches gilt für das Regelsystem im Raum (Thermostatventile), die immer eine Regelabweichung aufweisen. Annahmen für eine mittlere minimale Raumtemperatur sollten daher um die 20...21°C liegen.

Das ΔQ -Verfahren vereinigt alle in Kapitel 4.4.1 gewünschten Merkmale. Die praktische Anwendung der Verbrauchsbilanz ist im Kapitel 4.5.6 beschrieben.

4.4.3. ΔQ -Verfahren für Monatsbilanz

Auch das ΔQ -Verfahren soll zur monatlichen Energiebilanzierung herangezogen werden. Es lehnt sich an die Überführung des Gesamtbilanzverfahrens in eine Monatsbilanz an.

Der generelle Verfahrensansatz der Verbrauchsbilanz, der in Bild 4.3 für eine ΔQ -Jahresbilanz beschrieben ist, bleibt erhalten. Folgende wichtige Änderungen gibt es gegenüber der Jahresbilanz im Bewertungsablauf des Energiebedarfs (vgl. Bild 4.3 und Erklärungen):

- Bilanziert werden alle Kennwerte monatsweise jeweils für die gesamte Zeit eines Monats, nicht nur für die Heizzeit.
- Die Abschätzung der Heizzeit als Eingangsgröße der Bilanz erfolgt dennoch, damit die Wärmeverluste der Heizungsanlage (v.a. in den Übergangsmoaten) bestimmt werden können.
- Es wird mit mittleren Außentemperaturen für jeden Monat gerechnet, ebenso mit mittleren solaren Einstrahlungswerten.

- Die Lüftungs- und Transmissionsverluste werden anhand der mittleren Außentemperatur eines Monats bestimmt.
- die anlagentechnischen Verluste werden anhand mittlerer monatlicher Systemtemperaturen bestimmt, die von der mittleren monatlichen Außentemperatur abhängen.

Die Zuordnung zu Nutzungstypen und Baualtersklassen und die allgemeine Verrechnung aller Energiekennwerte in der Bilanz bleibt erhalten.

4.5. Beschreibung der Verfahren für die Auswertung

In den folgenden Unterkapiteln werden die in der Untersuchung verwendeten Bilanzverfahren anhand ihres Formalismus und Rechenablaufes erläutert. Die Darstellung erfolgt weitgehend tabellarisch.

4.5.1. Bedarf: EnEV 2002 und DIN V 4701-10

Die Bedarfsrechnung erfolgt mit dem vereinfachten Verfahren zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs, das im Anhang 1 der EnEV dokumentiert ist. Zur Bewertung der Anlage in der Bedarfsrechnung werden die Standardwerte der DIN V 4701-10 herangezogen. Das nachfolgende Schema gibt den Ablauf wieder. Die Berechnung der DIN V 4701-10 erfolgt eigentlich mit bezogenen Kennwerten (A_N). Der Formalismus ist zur besseren Vergleichbarkeit mit absoluten Kennzahlen dargestellt.

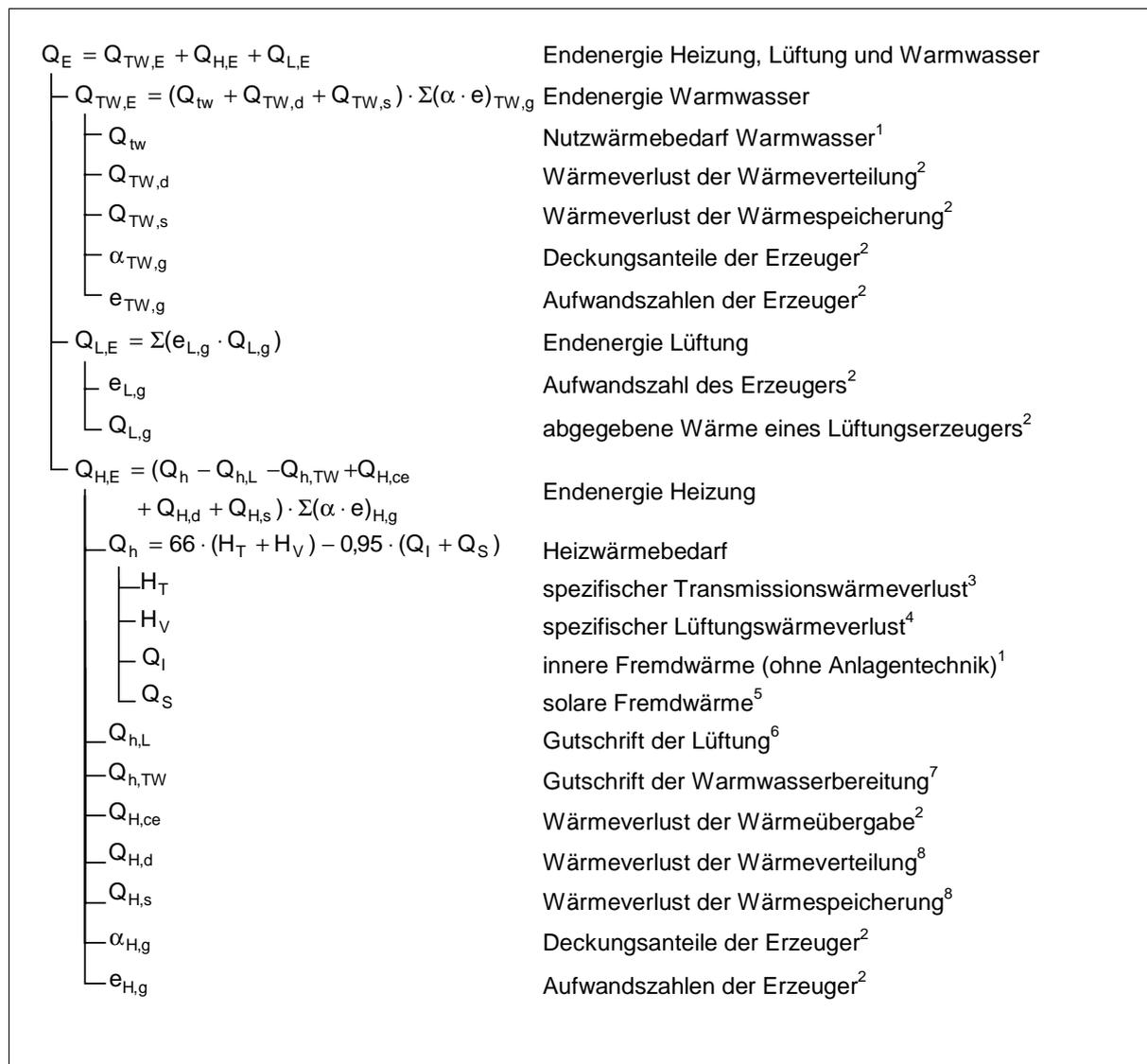


Bild 4.4 Rechenverfahren: Bedarf EnEV 2002

Für die Bedarfsrechnung nach EnEV werden folgende Annahmen getroffen:

- ¹ Diese Standardwerte sind der EnEV entnommen.
- ² Diese Standardwerte sind der DIN V 4701-10 entnommen.
- ³ Der spezifische Transmissionswärmeverlust wird aus den U-Werten der Hüllbauteile ermittelt. Abminderungsfaktoren werden der EnEV entnommen. Es wird ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag angesetzt. Die "66", mit der der spezifische Transmissionswärmeverlust multipliziert wird, hat die Einheit kWh/a und ist eine Gradtagszahl.
- ⁴ Der spezifische Lüftungswärmeverlust ist in der EnEV tabelliert. Die "66", mit der der spezifische Lüftungswärmeverlust multipliziert wird, ist die Gradtagszahl.
- ⁵ Die solare Fremdwärme wird mit den realen Fensterdaten und den weiteren in der EnEV tabellierten Kennwerten bestimmt.
- ⁶ Die Gutschrift der Lüftung ist ein Kennwert nach DIN V 4701-10, der bei der Berechnung der Lüftungsanlage ermittelt wird.
- ⁷ Die Gutschrift der Trinkwarmwasserbereitung ist ein Kennwert nach DIN V 4701-10, der bei der Berechnung der Verteilverluste und Speicherverluste der Trinkwarmwasseranlage ermittelt wird.
- ⁸ Die Kennwerte sind Standardwerte der DIN V 4701-10. Es ist zu beachten, dass die bilanzierten Verluste nur den Anteil repräsentieren, der nicht als Fremdwärme nutzbar ist. Die Kennwerte sind nicht unbedingt mit denen aus anderen Bilanzverfahren vergleichbar.

Als reale Daten für die Bedarfsermittlung werden nur die Bauteildaten berücksichtigt. Alle anderen Daten sind Standardnutzungsdaten.

Über das übliche Verfahren hinaus wird zusätzlich der Luftwechsel bestimmt, der sich ergibt, wenn die gesamte nicht genutzte Fremdwärme $(0,05) \cdot (Q_S + Q_I)$ sowie die nicht genutzten Anteile der Fremdwärme aus Anlagentechnik, die in der beheizten Hülle anfallen, abgelüftet würden.

4.5.2. Bedarf: Hessischer Energiepass

Das Verfahren des Hessischen Energiepasses richtet sich nach folgendem Schema, dessen Formelzeichen teilweise an die übliche Nomenklatur angepasst wurden, um die Verständlichkeit zu erhöhen.

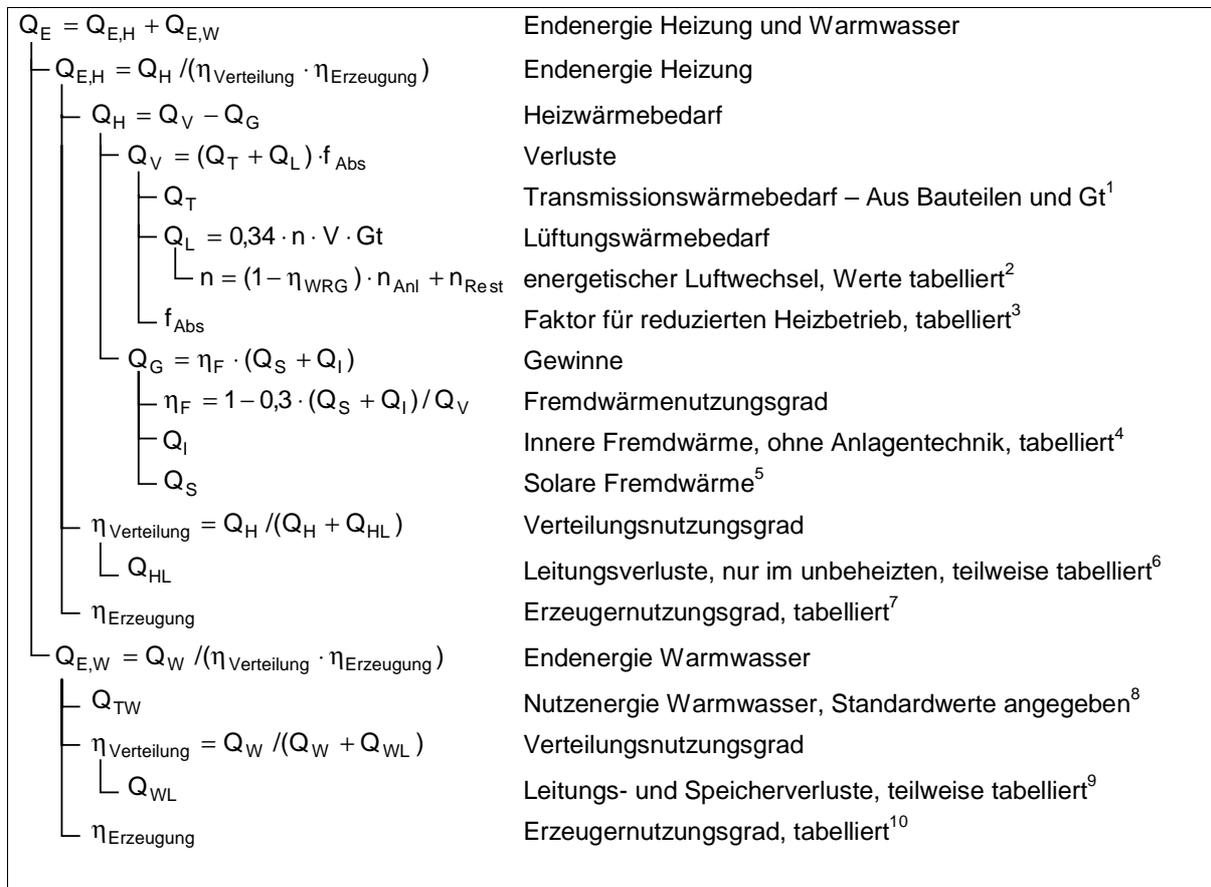


Bild 4.5 Rechenverfahren: Bedarf Hessischer Energiepass

Für die Bedarfsrechnung mit dem Hessischen Energiepass werden folgende Annahmen getroffen:

- ¹ Der Transmissionswärmeverlust wird aus den k-Werten (neu U-Werten) für die Hülle ermittelt. Abminderungsfaktoren werden dem Hessischen Energiepass entnommen. Die Gradtagszahl ist die im Verfahren angegebene Größe von 84 kWh/a bei einer Heizzeit von 225 d/a.
- ² Für den Luftwechsel der Anlage und den Restluftwechsel sind im Verfahren Werte tabelliert. Diese werden verwendet.
- ³ Die Heizunterbrechung wird für mittelschwere Bauweise und ein Niedrigenergiehaus berücksichtigt.
- ⁴ Die inneren Wärmegewinne aus Personen und Elektroenergieverbrauch sind tabelliert. Auf die Tabellenwerte wird zurückgegriffen.
- ⁵ Die solaren Gewinne werden anhand der Fensterausrichtung bestimmt und mit verschiedenen Faktoren korrigiert. Der Standardkorrekturfaktor wird angesetzt.
- ⁶ Die Verteilverluste werden anhand der verlegten Meter Rohr im unbeheizten Bereich bestimmt. Spezifische Verlustwerte je Meter Rohr sind tabelliert. Die Tabellenwerte werden verwendet.
- ⁷ Der Erzeugernutzungsgrad wird nach Tabelle bestimmt.
- ⁸ Der Trinkwarmwasserbedarf kann anhand des Verbrauches abgeschätzt werden oder anhand eines Standardwertes. Der Standardwert wird verwendet.
- ⁹ Die Verluste der Verteilleitungen werden anhand der verlegten Meter Rohr ermittelt. Die spezifischen Verluste je Meter Rohr werden Tabellen entnommen. Der Speicherverlust ist tabelliert. Es wird der Tabellenwert verwendet.
- ¹⁰ Der Erzeugernutzungsgrad wird nach Tabelle bestimmt.

Als reale Daten für die Bedarfsermittlung werden nur die Bauteildaten und die verlegten Leitungslängen bzw. das installierte Speichervolumen berücksichtigt. Alle anderen Daten sind Standardnutzungsdaten.

Über das übliche Verfahren hinaus wird zusätzlich der Luftwechsel bestimmt, der sich ergibt, wenn die gesamte nicht genutzte Fremdwärme $(1-\eta_F) \cdot (Q_S + Q_I)$ abgelüftet würde.

4.5.3. Bedarf: Gesamtbilanzverfahren Jahresweise

Das entwickelte Gesamtbilanzverfahren zur Bedarfsermittlung, dessen Neuerungen gegenüber anderen Verfahren in Kapitel 4.3 beschrieben sind, folgt folgendem Schema als Jahresbilanz:

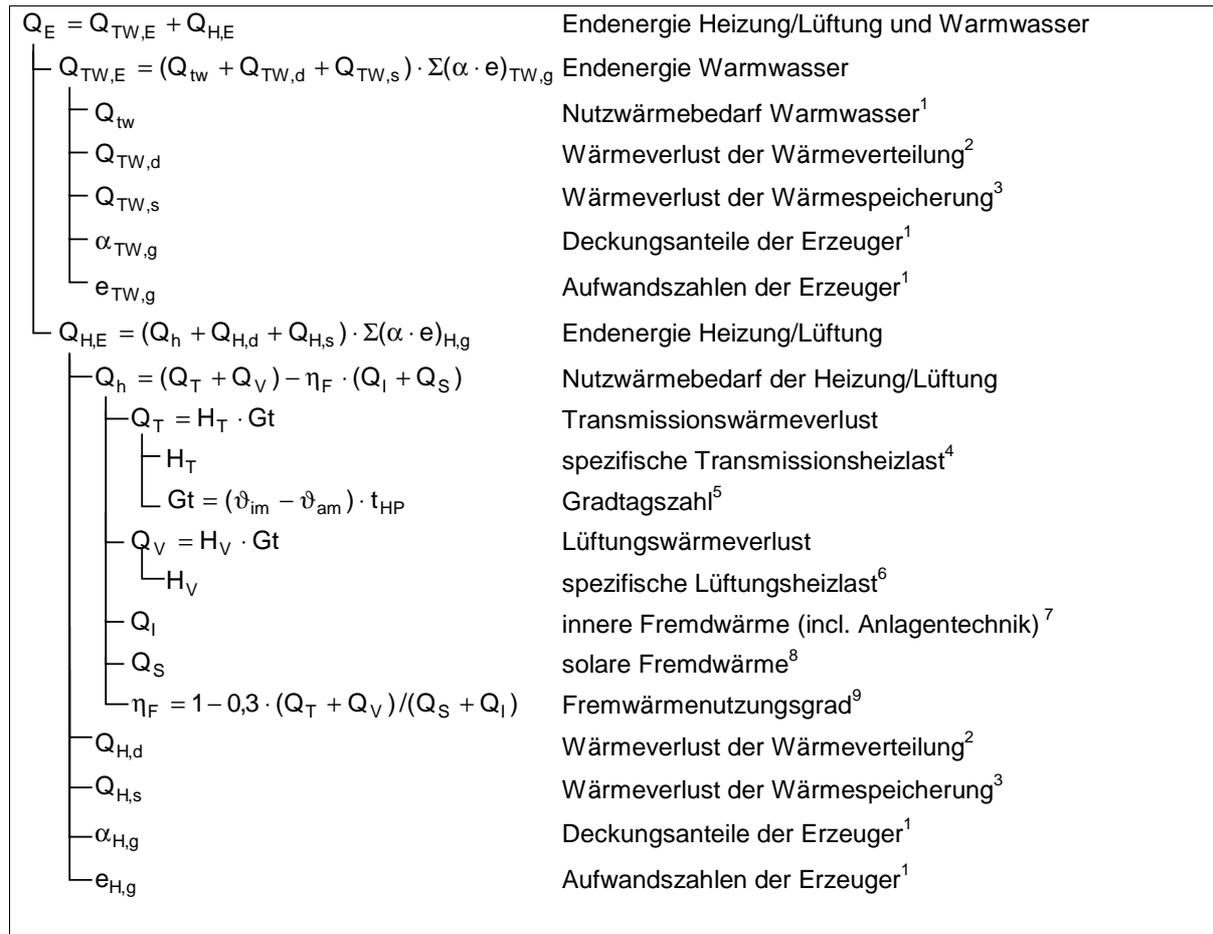


Bild 4.6 Rechenverfahren: Bedarf Gesamtbilanz Jahresweise

Für die Bedarfsrechnung mit dem Gesamtbilanzverfahren werden folgende Annahmen getroffen.

- ¹ Die Kennwerte sind Standardwerte des Gesamtbilanzverfahrens.
- ² Wärmeverluste der Verteilung werden mit den realen Leitungslängen bestimmt; Die spezifischen Verluste je Meter Rohr werden Tabellen entnommen. Der Einfluss des eingeschränkten Heizbetriebes wird über tabellierte Faktoren berücksichtigt.
- ³ Wärmeverluste der Speicherung werden mit den realen Speichergrößen bestimmt; Die spezifischen Verluste für den Speicher werden Tabellen entnommen. Der Einfluss des eingeschränkten Heizbetriebes wird über tabellierte Faktoren berücksichtigt.
- ⁴ Der spezifische Transmissionswärmeverlust wird aus den U-Werten für die Hülle ermittelt. Abminderungsfaktoren werden dem Gesamtbilanzverfahren entnommen.
- ⁵ Die Gradtagszahl wird mit einer mittleren Innentemperatur bestimmt, in der die Einflüsse der Absenkung und des eingeschränkten Heizbetriebes erfasst sind. Die restlichen Klimadaten und die Sollinnentemperatur sind tabelliert.

- ⁶ Die zur Bestimmung der spezifischen Lüftungsheizlast erforderlichen Luftwechsel der Anlage sowie Restluftwechsel sind im Verfahren tabelliert. Diese werden verwendet.
- ⁷ Die innere Fremdwärme wird incl. der Anteile bestimmt, die aus der Anlagentechnik stammen. Die inneren Wärmegewinne aus Personen und Elektroenergieverbrauch sind tabelliert. Auf die Tabellenwerte wird zurückgegriffen.
- ⁸ Die solaren Gewinne werden anhand der Fensterausrichtung bestimmt und mit verschiedenen Faktoren korrigiert. Der Standardkorrekturfaktor wird angesetzt. Die Globalstrahlung ist tabelliert.
- ⁹ Der Fremdwärmenutzungsgrad folgt demselben Ansatz wie im Hessischen Energiepass.

Als reale Daten für die Bedarfsermittlung werden nur die Bauteildaten und die verlegten Leitungslängen bzw. das installierte Speichervolumen berücksichtigt. Alle anderen Daten sind Standardnutzungsdaten.

Über das übliche Verfahren hinaus wird zusätzlich der Luftwechsel bestimmt, der sich ergibt, wenn die gesamte nicht genutzte Fremdwärme $(1-\eta_F) \cdot (Q_S + Q_I)$ abgelüftet würde.

4.5.4. Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren Jahresweise

Das in Kapitel 4.5.3 als Bedarfsenergiebilanz eingesetzte Gesamtbilanzverfahren wird zur jahresweisen Auswertung von Verbrauchswerten herangezogen. Die Struktur bleibt die gleiche, die Reihenfolge der ermittelten Kennwerte wird etwas verändert.

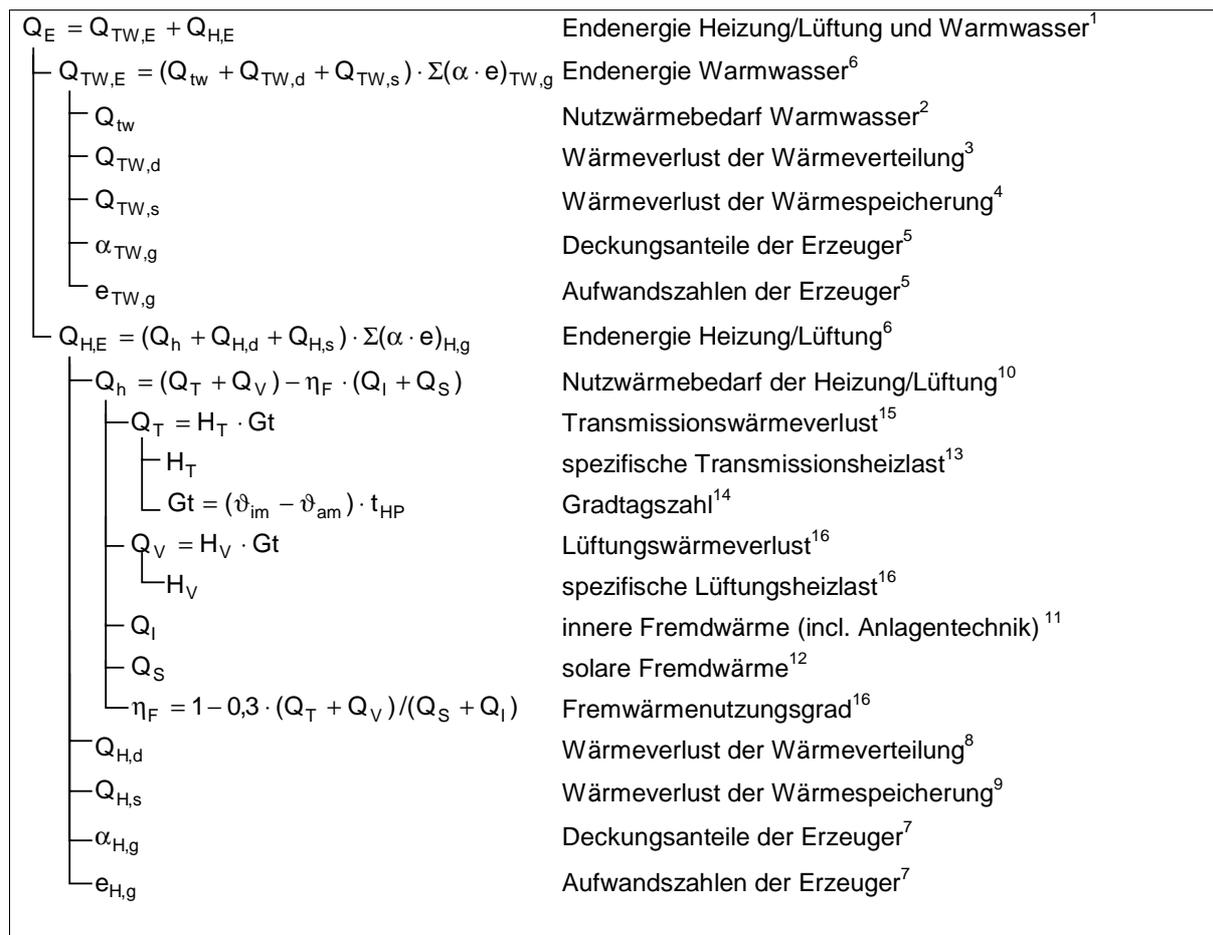


Bild 4.7 Rechenverfahren: Verbrauch Gesamtbilanz Jahresweise

Für die jahresweise Verbrauchsanalyse werden folgende Annahmen getroffen, in der Reihenfolge der Ermittlung der Kennwerte:

- 1 Der Endenergiebedarf für Heizung/Lüftung und Warmwasser ist aus einer Messung bekannt.
- 2 Die Nutzwärmemenge Warmwasser wird anhand der verbrauchten Wassermenge bestimmt.
- 3 Die Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss der Zirkulation wird anhand der Rechenansätze der DIN V 4701-10 berücksichtigt.
- 4 Die Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet.
- 5 Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen der Trinkwarmwasserbereitung werden - sofern keine genaueren Daten vorhanden sind, dem Gesamtbilanzverfahren bzw. dem Hessischen Energiepass entnommen. Sofern die Wärmeverluste der Erzeugung bekannt sind, werden sie als absolute Größe berücksichtigt.
- 6 Die Endenergie für Warmwasser wird aus den Kenndaten bestimmt und mit einem ggf. vorhandenen Messergebnis verglichen. Die Endenergie für Heizung wird als Differenz bestimmt bzw. das vorhandene Messergebnis wird, sofern vorhanden, überprüft.
- 7 Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen der Heizung werden - sofern keine genaueren Daten vorhanden sind, dem Gesamtbilanzverfahren bzw. dem Hessischen Energiepass entnommen. Sofern die Wärmeverluste der Erzeugung bekannt sind, werden sie als absolute Größe berücksichtigt.
- 8 Die Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss von Absenkezeiten wird anhand der Rechenansätze des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Die Heizzeit wird zunächst angenommen.
- 9 Die Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet. Es wird mit der angenommenen Heizzeit gerechnet.
- 10 Der Nutzwärmebedarf für die Heizung wird bestimmt aus dem Endenergiebedarf und den Verlusten. Er wird überprüft anhand des ggf. vorhandenen Messwertes (Wärmeabgabe der Heizflächen, gemessen mit Heizkostenverteilern).
- 11 Der inneren Fremdwärmeanfall wird bestimmt. Dabei werden Ansätze der SIA 380/1 sowie des Hessischen Energiepasses für die Fremdwärme aus Personen und Geräten verwendet. Die Fremdwärme aus Anlagentechnik entstammt den vorhergehenden Rechenschritten.
- 12 Die solare Fremdwärme wird bestimmt. Dabei wird die gewählte Länge der Heizzeit berücksichtigt.
- 13 Die spezifische Transmissionsheizlast wird berechnet wie in der Bedarfsrechnung aus den Einzelbauteilen.
- 14 Die Gradtagszahl wird wie für die Bedarfsrechnung erläutert, bestimmt. Es werden die Sollinnentemperatur sowie die Regelungszu- und -abschläge berücksichtigt. Die Heizzeit ist die vorher angenommene
- 15 Der Transmissionswärmeverlust wird bestimmt.
- 16 Durch eine iterative Rechnung wird der Luftwechsel bestimmt, so dass sowohl die Formel für den Fremdwärmenutzungsgrad erfüllt ist als auch der (ggf. aus Messungen) bekannte Nutzwärmebedarf der Heizung/Lüftung erreicht wird. Die Annahme der Heizgrenztemperatur wird überprüft.

Andere Rechenverfahren zur Bestimmung einzelner Größen werden immer dann herangezogen, wenn sich dadurch die Genauigkeit der Abbildung der realen Randdaten für das Gebäude erhöht.

Über das beschriebene Verfahren hinaus wird zusätzlich der Luftwechsel bestimmt, der sich ergibt, wenn die gesamte nicht genutzte Fremdwärme $(1-\eta_F) \cdot (Q_S + Q_I)$ abgelüftet würde.

Die Bereinigung von Verbrauchsdaten erfolgt für den Standort Würzburg anhand der in Kapitel 3.5 beschriebenen Zusammenhänge.

4.5.5. Verbrauch: Gesamtbilanz monatsweise

Das in Kapitel 4.5.4 beschriebene Gesamtbilanzverfahren wird für die monatsweise Auswertung von Verbrauchswerten herangezogen. Die Struktur bleibt die gleiche wie für die Jahresbilanz.

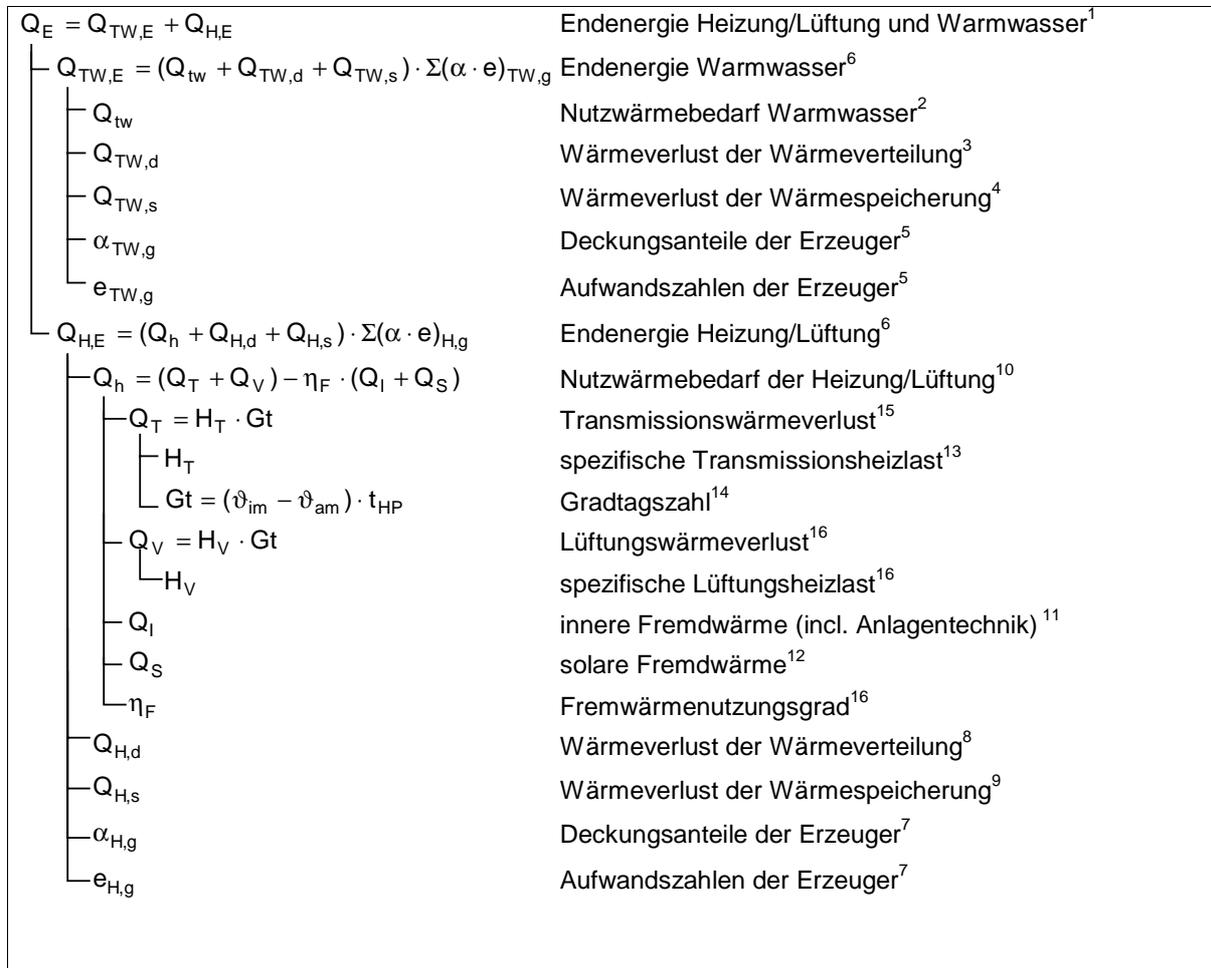


Bild 4.8 Rechenverfahren: Verbrauch Gesamtbilanz jahresweise

Für die monatsweise Verbrauchsanalyse werden folgende Annahmen getroffen, dargestellt in der Reihenfolge der Ermittlung der Kennwerte:

- ¹ Der monatsweise Endenergiebedarf für Heizung/Lüftung und Warmwasser ist aus einer Messung bekannt.
- ² Die monatsweise Nutzwärmemenge Warmwasser wird anhand der verbrauchten Wassermenge bestimmt. Es werden aus dem Jahresverbrauch Monatswerte abgeleitet.
- ³ Die monatsweisen Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss der Zirkulation wird anhand der Rechenansätze der DIN V 4701-10 berücksichtigt.
- ⁴ Die monatsweisen Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet.
- ⁵ Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen werden durch monatsweise Wärmeverluste ersetzt, die aus Messwerten bekannt sind.
- ⁶ Die monatsweise Endenergie für Warmwasser wird aus dem Kenndaten bestimmt und mit einem ggf. vorhandenen monatsweisen Messergebnis verglichen. Die monatsweise Endenergie für Heizung wird als Differenz bestimmt bzw. das vorhandene monatsweise Messergebnis wird, sofern vorhanden, überprüft.

- 7 Die Wärmeverluste der Erzeugung werden als absolute Größe (Messwert) berücksichtigt. Damit wird die Bewertung mit Deckungsanteilen und Erzeugeraufwandszahlen ersetzt.
- 8 Die monatsweisen Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss von Absenkezeiten wird ggf. anhand der Rechenansätze des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt, die mittlere Temperatur im System wird mit den Ansätzen der DIN V 4701-10 bestimmt. Die Heizzeit (als Betriebszeit der Anlage) wird zunächst angenommen.
- 9 Die monatsweisen Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwert des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird ggf. anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet, die mittlere Temperatur im System wird mit den Ansätzen der DIN V 4701-10 bestimmt. Es wird mit der angenommenen Heizzeit gerechnet.
- 10 Der monatliche Nutzwärmebedarf für die Heizung wird bestimmt aus dem monatlichen Endenergiebedarf der Heizung und den Verlusten der Heizung. Die Summe aller Monatswerte wird überprüft anhand des jährlichen Messwertes der Wärmeabgabe der Heizflächen (nach Heizkostenverteilern).
- 11 Der monatliche innere Fremdwärmeanfall wird bestimmt. Dabei werden Ansätze der SIA 380/1 sowie des Hessischen Energiepasses für die Fremdwärme aus Personen und Geräten verwendet. Es wird über die Zeit eines ganzen Monats bilanziert, unabhängig davon, ob die Heizung in Betrieb ist oder nicht. Die monatsweise Fremdwärme aus Anlagentechnik entstammt den vorhergehenden Rechenschritten.
- 12 Die monatliche solare Fremdwärme wird bestimmt. Dabei werden die monatlichen Werte der DIN V 4108-6 herangezogen.
- 13 Die spezifische Transmissionsheizlast wird berechnet wie in der Bedarfsrechnung aus den Einzelbauteilen.
- 14 Die monatliche Gradtagszahl wird, wie für die Bedarfsrechnung erläutert, bestimmt. Es werden die Sollinnentemperatur sowie die Regelungszu- und -abschläge berücksichtigt. Die Zeit eines vollen Monats wird verwendet.
- 15 Der monatliche Transmissionswärmeverlust wird bestimmt.
- 16 Durch eine iterative Rechnung wird der monatliche Luftwechsel bestimmt, so dass sowohl die Formel für den Fremdwärmenutzungsgrad erfüllt ist als auch der bekannte monatliche Nutzwärmebedarf der Heizung/Lüftung erreicht wird. Die Formel für den Fremdwärmenutzungsgrad wird nach DIN V 4108-6 verwendet.

Andere Rechenverfahren zur Bestimmung einzelner Größen werden immer dann herangezogen, wenn sich dadurch die Genauigkeit der Abbildung der realen Randdaten für das Gebäude erhöht. Es werden aus den monatlichen Werten auch Jahresmittelwerte für alle Größen bestimmt.

Über das beschriebene Verfahren hinaus wird zusätzlich der monatliche Luftwechsel bestimmt, der sich ergibt, wenn die gesamte nicht genutzte Fremdwärme $(1-\eta_F) \cdot (Q_S + Q_I)$ eines Monats abgelüftet werden würde.

Die Bereinigung von Verbrauchsdaten erfolgt für den Standort Würzburg anhand der in Kapitel 3.5 beschriebenen Zusammenhänge.

4.5.6. Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Jahresbilanz

Das entwickelte ΔQ -Verfahren zur Verbrauchsanalyse, dessen Neuerungen gegenüber anderen Verfahren in Kapitel 4.4 beschrieben sind, folgt folgendem Schema bei Verwendung als Jahresbilanz:

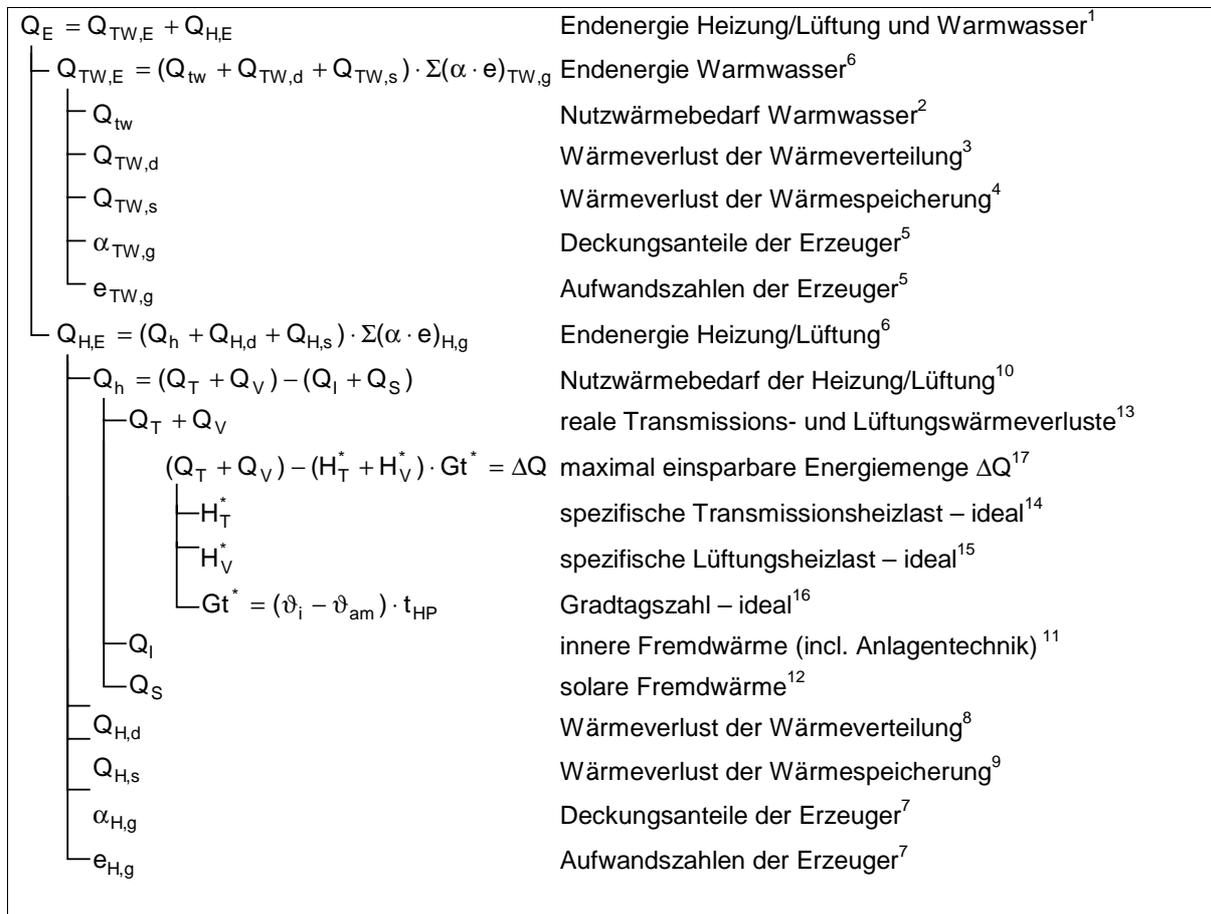


Bild 4.9 Rechenverfahren: Verbrauch ΔQ -Verfahren jahresweise

Für die jahresweise Verbrauchsanalyse werden folgende Annahmen getroffen, in der Reihenfolge der Ermittlung der Kennwerte:

- 1 Der Endenergiebedarf für Heizung/Lüftung und Warmwasser ist aus einer Messung bekannt.
- 2 Die Nutzwärmemenge Warmwasser wird anhand der verbrauchten Wassermenge bestimmt.
- 3 Die Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss der Zirkulation wird anhand der Rechenansätze der DIN V 4701-10 berücksichtigt.
- 4 Die Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet.
- 5 Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen der Trinkwarmwasserbereitung werden - sofern keine genaueren Daten vorhanden sind, dem Gesamtbilanzverfahren bzw. dem Hessischen Energiepass entnommen. Sofern die Wärmeverluste der Erzeugung bekannt sind, werden sie als absolute Größe berücksichtigt.
- 6 Die Endenergie für Warmwasser wird aus dem Kenndaten bestimmt und mit einem ggf. vorhandenen Messergebnis verglichen. Die Endenergie für Heizung wird als Differenz bestimmt bzw. das vorhandene Messergebnis wird, sofern vorhanden, überprüft.
- 7 Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen der Heizung werden - sofern keine genaueren Daten vorhanden sind, dem Gesamtbilanzverfahren bzw. dem Hessischen Energiepass entnommen. Sofern die Wärmeverluste der Erzeugung bekannt sind, werden sie als absolute Größe berücksichtigt.

- ⁸ Die Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss von Absenkezeiten wird anhand der Rechenansätze des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Die Heizzeit wird zunächst angenommen.
- ⁹ Die Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergroße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet. Es wird mit der angenommenen Heizzeit gerechnet.
- ¹⁰ Der Nutzwärmebedarf für die Heizung wird bestimmt aus dem Endenergiebedarf und den Verlusten. Er wird überprüft anhand des ggf. vorhandenen Messwertes (Wärmeabgabe der Heizflächen).
- ¹¹ Der inneren Fremdwärmeanfall wird bestimmt. Dabei werden Ansätze der SIA 380/1 sowie des Hessischen Energiepasses für die Fremdwärme aus Personen und Geräten verwendet. Die Fremdwärme aus Anlagentechnik entstammt den vorhergehenden Rechenschritten.
- ¹² Die solare Fremdwärme wird bestimmt. Dabei wird die gewählte Länge der Heizzeit berücksichtigt.
- ¹³ Der reale Transmissions- und Lüftungswärmeverlust wird aus den vorhandenen Daten bestimmt. Hier ist die eigentliche Bilanz abgeschlossen.
- ¹⁴ Die spezifische Transmissionsheizlast wird berechnet wie im Gesamtbilanzverfahren aus den Einzelbauteilen.
- ¹⁵ Die spezifische Lüftungsheizlast wird berechnet nach den Ansätzen des Gesamtbilanzverfahrens, jedoch mit der Annahme eines minimalen, idealen Luftwechsels.
- ¹⁶ Die minimale, ideale Gradtagszahl wird bestimmt. Es werden die Sollinnentemperatur (ohne Regelungszu- und -abschläge), sowie die ideale Heizzeit und die zugehörige mittlere Außentemperatur berücksichtigt.
- ¹⁷ Die maximal einsparbare Energiemenge ΔQ , bezogen auf den jetzigen Zustand und verglichen mit einem idealen Zustand wird bestimmt.

Andere Rechenverfahren zur Bestimmung einzelner Größen werden immer dann herangezogen, wenn sich dadurch die Genauigkeit der Abbildung der realen Randdaten für das Gebäude erhöht.

Über das beschriebene Verfahren hinaus wird wie folgt weiterverfahren: Die realen Transmissions- und Lüftungsverluste ($Q_T + Q_V$) werden durch paarweise Wahl von Luftwechsel und Temperatur erklärbar gemacht. D.h. es werden jeweils die korrespondierenden Paare ϑ_{im} und n herausgefunden, mit denen sich der gegebene Verlust gerade einstellt.

Die Bereinigung von Verbrauchsdaten erfolgt für den Standort Würzburg anhand der in Kapitel 3.5 beschriebenen Zusammenhänge.

4.5.7. Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Monatsbilanz

Das in ΔQ -Verfahren wird für die monatsweise Auswertung von Verbrauchswerten herangezogen. Die Struktur bleibt die gleiche wie für die Jahresbilanz zur Bereinigung.

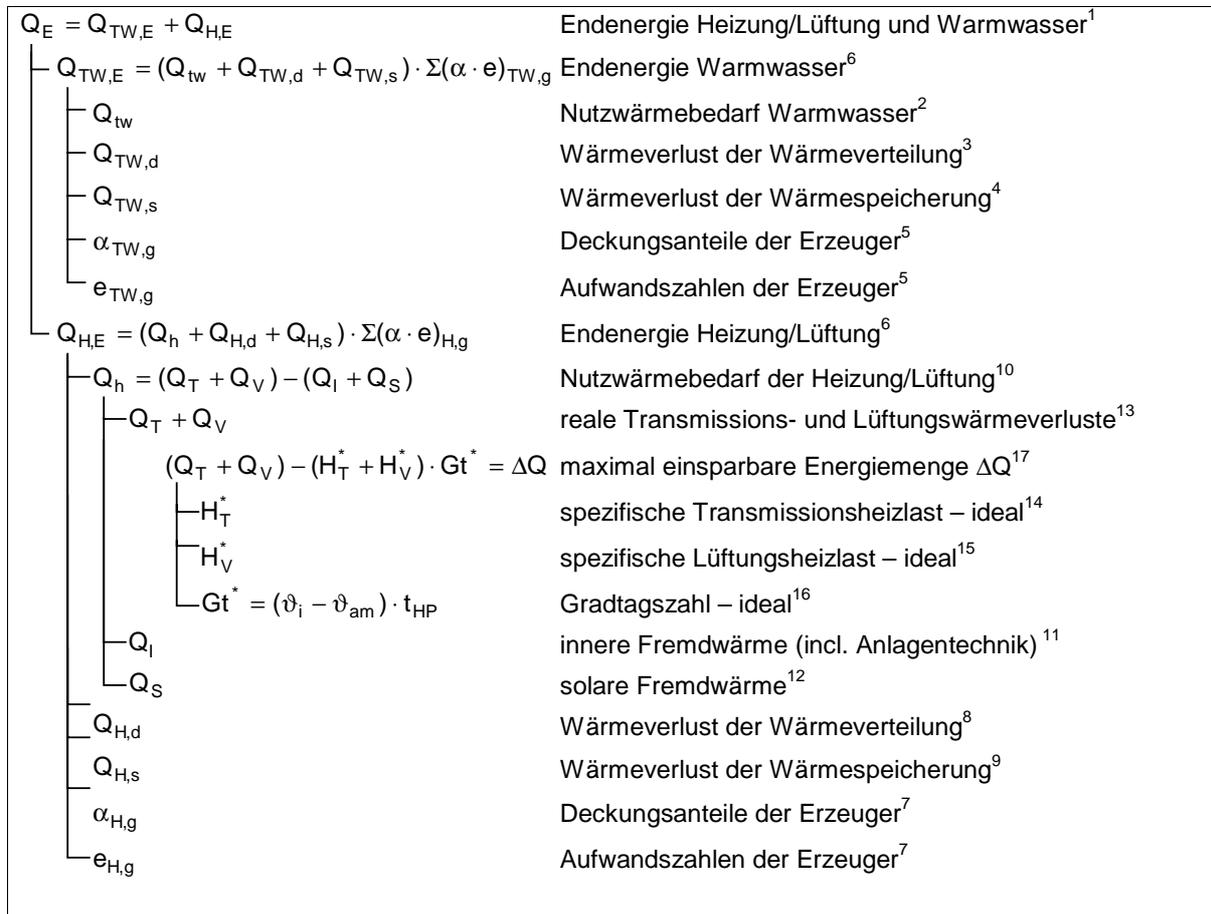


Bild 4.10 Rechenverfahren: Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise

Für die monatsweise Verbrauchsanalyse werden folgende Annahmen getroffen, in der Reihenfolge der Ermittlung der Kennwerte:

- 1 Der monatsweise Endenergiebedarf für Heizung/Lüftung und Warmwasser ist aus einer Messung bekannt.
- 2 Die monatsweise Nutzwärmemenge Warmwasser wird anhand der verbrauchten Wassermenge bestimmt. Es werden aus dem Jahresverbrauch Monatswerte abgeleitet.
- 3 Die monatsweisen Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss der Zirkulation wird anhand der Rechenansätze der DIN V 4701-10 berücksichtigt.
- 4 Die monatsweisen Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahren bewertet.
- 5 Deckungsanteile und Erzeugeraufwandszahlen werden durch monatsweise Wärmeverluste ersetzt, die aus Messwerten bekannt sind.
- 6 Die monatsweise Endenergie für Warmwasser wird aus dem Kenndaten bestimmt und mit einem ggf. vorhandenen monatsweisen Messergebnis verglichen. Die monatsweise Endenergie für Heizung wird als Differenz bestimmt bzw. das vorhandene monatsweise Messergebnis wird, sofern vorhanden, überprüft.

- 7 Die Wärmeverluste der Erzeugung werden als absolute Größe (Messwert) berücksichtigt. Damit wird die Bewertung mit Deckungsanteilen und Erzeugeraufwandszahlen ersetzt.
- 8 Die monatsweisen Wärmeverluste der Verteilung werden bestimmt. Es werden die realen Leitungslängen sowie die längenbezogenen U-Werte des LEG-Verfahrens angewendet, der Einfluss von Absenkezeiten wird ggf. anhand der Rechenansätze des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt, die mittlere Temperatur im System wird mit den Ansätzen der DIN V 4701-10 bestimmt. Die Heizzeit (als Betriebszeit der Anlage) wird zunächst angenommen.
- 9 Die monatsweisen Wärmeverluste der Speicherung werden bestimmt. Es werden die reale Speichergröße und die volumenbezogenen Kennwerte des Gesamtbilanzverfahrens berücksichtigt. Der Einfluss einer Abschaltung wird ggf. anhand des Ansatzes des Gesamtbilanzverfahrens bewertet, die mittlere Temperatur im System wird mit den Ansätzen der DIN V 4701-10 bestimmt. Es wird mit der angenommenen Heizzeit gerechnet.
- 10 Der monatliche Nutzwärmebedarf für die Heizung wird bestimmt aus dem monatlichen Endenergiebedarf der Heizung und den Verlusten der Heizung. Die Summe aller Monatswerte wird überprüft anhand des jährlichen Messwertes der Wärmeabgabe der Heizflächen (aus Heizkostenverteilern).
- 11 Der monatliche innere Fremdwärmeanfall wird bestimmt. Dabei werden Ansätze der SIA 380/1 sowie des Hessischen Energiepasses für die Fremdwärme aus Personen und Geräten verwendet. Es wird über die Zeit eines ganzen Monats bilanziert, unabhängig davon, ob die Heizung in Betrieb ist oder nicht. Die monatsweise Fremdwärme aus Anlagentechnik entstammt den vorhergehenden Rechenschritten.
- 12 Die monatliche solare Fremdwärme wird bestimmt. Dabei werden die monatlichen Werte der DIN V 4108-6 herangezogen.
- 13 Der monatliche reale Transmissions- und Lüftungswärmeverlust wird aus den vorhandenen Daten bestimmt. Hier ist die eigentliche Bilanz abgeschlossen.
- 14 Die spezifische Transmissionsheizlast wird berechnet wie im Gesamtbilanzverfahren aus den Einzelbauteilen.
- 15 Die spezifische monatliche Lüftungsheizlast wird berechnet nach den Ansätzen des Gesamtbilanzverfahrens, jedoch mit der Annahme eines minimalen, idealen (ggf. monatlichen) Luftwechsels.
- 16 Die minimale, ideale monatliche Gradtagszahl wird bestimmt. Es werden die (ggf. monatlich variierende) Sollinnentemperatur (ohne Regelungszu- und -abschläge), sowie die Zeit eines Monats und die mittlere Außentemperatur des Monats berücksichtigt.
- 17 Die maximal monatlich einsparbare Energiemenge ΔQ , bezogen auf den jetzigen Zustand und verglichen mit einem idealen Zustand werden bestimmt.

Andere Rechenverfahren zur Bestimmung einzelner Größen werden immer dann herangezogen, wenn sich dadurch die Genauigkeit der Abbildung der realen Randdaten für das Gebäude erhöht. Es werden aus den monatlichen Werten auch Jahresmittelwerte für alle Größen bestimmt.

Über das beschriebene Verfahren hinaus wird wie folgt weiterverfahren: Die monatlichen realen Transmissions- und Lüftungsverluste ($Q_T + Q_V$) werden durch paarweise Wahl von Luftwechsel und Temperatur erklärbar gemacht. D.h. es werden jeweils die korrespondierenden Paare ϑ_{im} und n herausgefunden, mit denen sich der gegebene Verlust gerade einstellt.

Die Bereinigung von Verbrauchsdaten erfolgt für den Standort Würzburg anhand der in Kapitel 3.5 beschriebenen Zusammenhänge.

5. Ergebnisse der Feldprojekte

5.1. Objektbeschreibung

Tabelle 5.1 gibt eine Übersicht über die mit den Bilanzverfahren untersuchten Gebäude, drei Mehrfamilienhäuser und ein Einfamilienhaus. Die Gebäude umfassen den Bereich von 200...4000 m² Wohnfläche in einer ausgewogenen Staffelung.

		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Standort		Hannover	Berlin	Hannover	Münster
Baujahr		1998	1979, saniert 1998	1998	2000
Typ		Mehrfamilienhaus als Doppelhaus	zwei nebeneinander liegende Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhaus als Doppelhaus	frei stehendes Einfamilienhaus
Wohneinheiten		20	70	16	1
Personenzahl		38	127	31	2
äußeres Volumen V_e	m ³	5244	15469	3489	609
Luftvolumen V	m ³	3552	10782	2319	400
Hüllfläche A	m ²	2177	5443	1513	417
Nutzfläche A_N	m ²	1678	4950	1112	195
Energiebezugsfläche A_{EB}	m ²	1421	4228	924	160
Kompaktheit A/V_e	m ⁻¹	0,415	0,352	0,434	0,685
Verhältnis A_N/A_{EB}	-	1,18	1,17	1,20	1,22
Wohnfläche je Person	m ² /P	37	33	30	80
Wohnfläche je Wohneinheit (\emptyset)	m ² /WE	71	60	58	160
Personen je WE (\emptyset)	P/WE	1,9	1,8	1,9	2,0

Tabelle 5.1 Allgemeine Gebäudedaten

Die Nutzfläche A_N , welche die Energieeinsparverordnung definiert und die aus dem umbauten Volumen abgeleitet ist, ist etwa 20 % größer als die echte beheizte Fläche (Energiebezugsfläche A_{EB}).

Tabelle 5.2 zeigt die Daten zum Baukörper. Die Ermittlung des mittleren U-Wertes erfolgt anhand von Plänen und U-Wertberechnungen für die einzelnen Bauteile. Die Temperaturkorrektur für an Erdreich oder unbeheizte Räume grenzende Flächen ist bereits in diesem Wert enthalten. (Der U-Wert für das MFH 1 wurde seit der Erstellung des 1. Zwischenberichtes korrigiert, weil seit dem genauere Daten bekannt geworden sind.)

		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
U-Wert					
Mittelwert für die Hüllfläche (incl. Minderungsfaktoren)	W/(m ² K)	0,394	0,578	0,427	0,511
Fensterflächen je nach Ausrichtung und Energiedurchlassgrad					
N	m ² (-)	10,1 (0,58)	-	15,7 (0,62)	20,0 (0,58)
NO	m ² (-)	15,4 (0,58)	-	-	-
O	m ² (-)	-	41,0 (0,58)	111,9 (0,62)	-
SO	m ² (-)	133,8 (0,58)	102,0 (0,58)	-	-
S	m ² (-)	-	42,0 (0,58)	12,8 (0,62)	30,0 (0,58)
SW	m ² (-)	14,6 (0,58)	-	-	-
W	m ² (-)	10,1 (0,58)	291,0 (0,58)	111,9 (0,62)	-
NW	m ² (-)	164,8 (0,58)	173,0 (0,58)	-	-
Dach	m ² (-)	-	-	9,7 (0,62)	14,0 (0,62)

Tabelle 5.2 Daten zum Baukörper

Tabelle 5.3 liefert einen Überblick der in den Gebäuden installierten Anlagentechnik.

	MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Heizung				
Übergabe	freie Heizkörper unter den Fenstern mit Thermostatventilen	freie Heizkörper unter den Fenstern mit elektronischen Reglern	freie Heizkörper unter den Fenstern mit Thermostatventilen	freie Heizkörper unter den Fenstern mit Thermostatventilen
Verteilung	zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge in Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen im Estrich, teilgedämmt	zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge frei in den Wohnungen teils und voll gedämmt; Anbindeleitungen frei in den Wohnungen, ungedämmt	zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge in Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen im Estrich, teilgedämmt	zentrale Verteilleitungen bzw. Steigestränge in Schächten und im Estrich, teilgedämmt; Anbindeleitungen im Estrich, teilgedämmt
Auslegung	65/39°C (Soll)	80/45°C (Soll, ca.)	65/39°C (Soll)	70/55°C (Soll, ca.)
Eingeschränkter Betrieb	Nachtabsenkung (Soll) für ca. 6 Stunden	Nachtabsenkung (Soll) für ca. 6 Stunden	Nachtabsenkung (Soll) für ca. 6 Stunden	Nachtabsenkung (Soll) für ca. 6 Stunden
Erzeugung	Anschluss an Nahwärme mit Kompaktübergabestation, im Keller	Anschluss an Nahwärme mit Kompaktübergabestation, im Keller	Anschluss an Nahwärme mit direkter Kompaktübergabestation, im Keller	Anschluss an Nahwärme mit Kompaktübergabestation
Lüftung				
System	zentrale Abluftanlage mit Zuluftöffnungen in den Wohnräumen und Absaugung in Sanitärräumen und Küchen, feuchtegeregelt	Abluftventilatoren in den Bädern, keine Bedarfsregelung, durch Lichtschalter gesteuert	zentrale Abluftanlage mit Zuluftöffnungen in den Wohnräumen und Absaugung in Sanitärräumen und Küchen, feuchtegeregelt	keine mechanische Lüftung
Trinkwarmwasserbereitung				
Verteilung	Zirkulation für die Bereiche Verteilung und Steigestränge; zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge in Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen im Estrich und in Wänden, teilgedämmt	Zirkulation für die Bereiche Verteilung und Steigestränge; zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge in Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen in Wänden, teilgedämmt	Zirkulation für die Bereiche Verteilung und Steigestränge; zentrale Verteilleitungen im Keller, frei unter der Decke, gedämmt; Steigestränge in Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen im Estrich und in Wänden, teilgedämmt	Zirkulation für die Bereiche Verteilung und Steigestränge; zentrale Verteilleitungen bzw. Steigestränge im Estrich oder Schächten, gedämmt; Anbindeleitungen im Estrich und in Wänden, teilgedämmt
Speicherung	900 l Speicher, indirekt beheizt, gedämmt, im Keller aufgestellt	keine	500 l Speicher, indirekt beheizt, gedämmt, im Keller aufgestellt	130 l Speicher, indirekt beheizt, gedämmt
Erzeugung	zentral mit der Heizung	zentral mit der Heizung	zentral mit der Heizung	zentral mit der Heizung

Tabelle 5.3 Allgemeine Daten zur Anlagentechnik

Tabelle 5.4 liefert Daten zu den aus Installationsplänen und Leistungsverzeichnissen ermittelten Verteilsystemen. Die Durchmesser (DN) und die Dämmwerte (in % der vorgeschriebenen Dämmdicke) sind mittlere Werte für den jeweiligen Bereich.

		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Heizung					
beheizter Bereich	Steigestränge, in m	568	1728	419	2,8
	DN	10-15	18-22	10-15	10-15
	% Dämmung	100	75	100	100
	Anbindeleitungen, in m	577	360	246	123,9
	DN	10-15	10-15	10-15	10-15
	% Dämmung	100	0	100	100
unbeheizter Bereich	Verteilung, in m	112	825	141	-
	DN	20-32	20-32	20-32	-
	% Dämmung	100	100	100	-
Trinkwarmwasserbereitung					
beheizter Bereich	Steigestränge, in m	134	374	146	16,5
	DN	10-15	18-22	10-15	10-15
	% Dämmung	100	100	100	100
	Anbindeleitungen, in m	235	430	121	30,8
	DN	10-15	10-15	10-15	10-15
	% Dämmung	100	50	100	100
unbeheizter Bereich	Verteilung, in m	188	234	140	-
	DN	20-32	20-32	20-32	-
	% Dämmung	100	100	100	-
Kennwerte bezogen auf die Energiebezugsfläche					
Heizung	in m/m ²	0,885	0,689	0,872	0,792
Trinkwarmwasser	in m/m ²	0,392	0,246	0,440	0,296
beheizter Bereich	in m/m ²	1,065	0,684	1,009	1,088
unbeheizter Bereich	in m/m ²	0,211	0,250	0,304	0,000
Gesamt	in m/m ²	1,277	0,934	1,313	1,088

Tabelle 5.4 Spezielle Daten zum Verteilsystem

Die Heizungsleitungen des Mehrfamilienhauses 2 sind in den Wohnungen strangweise verlegt, d.h. übereinander liegende Heizkörper sind jeweils an einem Steigestrang zusammengeschlossen. Die Steigestränge sind mit weißen Dämmhülsen teilweise voll, teilweise 100 %, teilweise 50 % nach Verordnung gedämmt.

Leitungen, die mit halber Dämmstärke gedämmt sind, dann jedoch im Estrich oder in Wänden verlegt sind, werden mit einer 100 %-Dämmung bewertet, um den zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand der Wand bzw. des Fußbodens zu bewerten.

Für die Gebäude ergibt sich eine verlegte Leitungslänge von etwa 1m/m² Energiebezugsfläche, wobei davon etwa drei Viertel auf die Heizleitungen entfallen.

Tabelle 5.5 gibt eine Übersicht zu den für die Energiebilanz herangezogenen Messwerten. Die gezeigten Verbrauchsdaten der vier Gebäude werden mit Jahresbilanzverfahren ausgewertet.

	MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Messzeitraum				
von	15.10.99	01.01.00	01.05.01	01.07.00
bis	16.10.00	31.12.00	30.04.02	27.09.01
Endenergie Gebäude, in kWh/a	112886	412880	89178	21680
Wärmeabgabe der Heizflächen, in kWh/a	48630	189240	k.A.	k.A.
Verbrauch Warmwasser, in m ³	377,5	1649	k.A.	49,3
Endenergie Warmwasser, in kWh/a	k.A.	k.A.	33761	k.A.

Tabelle 5.5 Messwerte Jahreswerte

Tabelle 5.7 bzw. Tabelle 5.8 zeigen die parallel ausgewerteten monatlichen Messdaten. Für das Mehrfamilienhaus 1 liegen neben den Jahresdaten auch Monatsdaten vor, allerdings für einen anderen Messzeitraum.

in kWh vom 01.05.01 - 30.04.02	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Endenergie Gebäude, in [MWh/Messzeitraum]	15,959	11,477	12,333	8,168	4,199	4,195	3,271	3,354	6,346	7,141	13,129	19,891
Endenergie Trinkwarmwasser, nach der Wärmeübergabestation, in [MWh/Messzeitraum]	3,957	3,709	4,210	3,659	3,109	3,516	3,069	3,125	3,210	3,745	3,531	4,171

Tabelle 5.6 Messwerte Monatswerte für MFH 1

in kWh vom 01.05.01 - 30.04.02	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Endenergie Gebäude, in [MWh/Messzeitraum]	12,808	9,421	10,088	7,420	4,580	4,524	2,644	2,575	4,734	5,947	9,834	14,603
Endenergie Trinkwarmwasser, nach der Wärmeübergabestation, in [MWh/Messzeitraum]	3,169	2,908	3,133	2,845	2,794	2,875	2,363	2,253	2,384	2,742	2,887	3,428

Tabelle 5.7 Messwerte Monatswerte für MFH 3

In der monatlichen Bilanz sind keine monatlichen Daten des Trinkwarmwasserverbrauchs (in Kubikmetern) bekannt. Über die monatliche Wärmeabgabe der Heizflächen kann ebenfalls keine Aussage gemacht werden.

5.2. Bedarf: EnEV 2002 und DIN V 4701-10

Tabelle 5.7 liefert die Ergebnisse für die jahresweise Bedarfsrechnung nach Energieeinsparverordnung und DIN V 4701-10 für die vier Gebäude. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in absoluten Zahlen, um die Kennwerte vergleichbar mit denen anderer Bilanzverfahren zu machen. Die Heizgrenztemperatur liegt für alle Gebäude bei 10°C, so wie das Verfahren es vorschreibt.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	10	10	10	10
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	3,3	3,3	3,3	3,3
	Heizzeit, in [d/a]	185	185	185	185
	Soll-Luftwechsel, in [h ⁻¹]	0,6	0,6	0,6	0,6
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	19	19	19	19
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission, in [kWh/a]	63795	225601	47632	15440
	Wärmeverluste Lüftung, in [kWh/a]	56412	166413	37552	6556
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	9437	37786	14490	4429
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,95	0,95	0,95	0,95
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	8965	35897	13765	4207
	Innere Fremdwärme aus Pers. u. Geräten, in [kWh/a]	36916	108900	24574	4290
	Nutzungsgrad, in [-]	0,95	0,95	0,95	0,95
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	35070	103455	23345	4076
	Jahresheizwärmebedarf, in [kWh/a]	76172	252663	48074	13713
Gutschrift Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	3608	11336	2323	275	
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Jahresheizwärmebedarf, in [kWh/a]	72564	241327	45751	13438
	Übergabeverlust, in [kWh/a]	5537	1980	3686	644
	Verteilverlust, in [kWh/a]	3423	12474	2491	460
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Aufwandszahl Erzeuger, in [-]	1,01	1,01	1,01	1,01
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	82339	258339	52447	13907
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	20975	61875	13963	2438
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	11276	32670	7685	1720
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1779	0	1151	614
	Aufwandszahl Erzeuger, in [-]	1,14	1,14	1,14	1,14
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	38795	107781	25990	5440
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	82339	258339	52447	13907
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	38795	107781	25990	5440
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	121134	366120	78436	19347

Tabelle 5.8 Ergebnisse: Bedarf EnEV und DIN V 4701-10 jahresweise

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen sind in Tabelle 5.9 wiedergegeben. Es wird darauf verzichtet, die Ergebnisse zusätzlich bezogen auf die in der EnEV definierte Nutzfläche A_N anzugeben. Die Autoren weisen darauf hin, dass die dadurch berechneten Energiekennwerte etwa 20 % kleiner als die in Tabelle 5.9 angegebenen Werte sind.

Dargestellt sind auf A_{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	57,9	61,1	56,8	86,9
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	27,3	25,5	28,1	34,0
	Jahresendenergie Wärme	85,2	86,6	84,9	120,9

Tabelle 5.9 Ergebnisse: Bedarf EnEV und DIN V 4701-10 jahresweise (flächenbezogen)

5.3. Bedarf: Hessischer Energiepass

Tabelle 5.10 liefert die Ergebnisse für die jahresweise Bedarfsrechnung nach dem Verfahren des Hessischen Energiepasses. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt - wie im Energiepass vorgesehen - in absoluten Zahlen, um die Kennwerte vergleichbar mit denen anderer Bilanzverfahren zu machen. Die Heizgrenztemperatur liegt für alle Gebäude bei 12°C, so wie das Verfahren es im Standardfall vorschlägt.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	12
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	4,4	4,4	4,4	4,4
	Heizzeit, in [d/a]	225	225	225	225
	Soll-Luftwechsel, in [h ⁻¹]	0,6	0,6	0,6	0,6
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	20	20	20	20
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission, in [kWh/a]	72050	264269	54268	17899
	Wärmeverluste Lüftung, in [kWh/a]	60867	184760	39738	6854
	Faktor für eingeschränkten Betrieb, in [-]	0,95	0,95	0,95	0,95
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	16355	32769	13783	4224
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,903	0,926	0,900	0,919
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	14765	30330	12405	3880
	Innere Fremdwärme aus Pers. u. Geräten, in [kWh/a]	24555	73060	15967	2160
	Nutzungsgrad, in [-]	0,903	0,926	0,900	0,919
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	22168	67622	14371	1984
Jahresheizwärmebedarf, in [kWh/a]	95984	351077	67230	18890	
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Jahresheizwärmebedarf, in [kWh/a]	95984	351077	67230	18890
	Verteilverlust, in [kWh/a]	2800	23925	3525	0
	Nutzungsgrad Erzeuger, in [-]	0,98	0,98	0,98	0,98
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	100800	382655	72199	19275
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	24157	71876	15708	2720
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21972	41801	17588	1268
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1314	0	946	438
	Nutzungsgrad Erzeuger, in [-]	0,96	0,96	0,96	0,96
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	49335	118211	35608	4603
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	100800	382655	72199	19275
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	49335	118211	35608	4603
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	150135	500866	107807	23878

Tabelle 5.10 Ergebnisse: Bedarf Hessischer Energiepass jahresweise

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen sind in Tabelle 5.11 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A_{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	70,9	90,5	78,1	120,5
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	34,7	28,0	38,5	28,8
	Jahresendenergie Wärme	105,7	118,5	116,6	149,2

Tabelle 5.11 Ergebnisse: Bedarf Hessischer Energiepass jahresweise (flächenbezogen)

5.4. Bedarf: Gesamtbilanzverfahren

Tabelle 5.12 liefert die Ergebnisse für die jahresweise Bedarfsrechnung nach dem Gesamtbilanzverfahren. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in absoluten Zahlen, um die Kennwerte vergleichbar mit denen anderer Bilanzverfahren zu machen. Die Heizgrenztemperatur wird abhängig vom Gebäude gewählt. Für das freistehende Einfamilienhaus wird – vor allem aufgrund seines schlechten mittleren U-Wertes der Hüllfläche – die Heizgrenze von 15°C gewählt. Die Mehrfamilienhäuser werden, wie im Hessischen Energiepass mit 12°C berechnet.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	15
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	4,5	4,5	4,5	5,5
	Heizzeit, in [d/a]	225	225	225	270
	Soll-Luftwechsel, in [h ⁻¹]	0,6	0,6	0,6	0,6
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	20	20	20	20
	mittlere Innentemperatur, in [°C]	20,2	19,8	20,2	20,2
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission, in [kWh/a]	72663	259859	54730	20281
	Wärmeverluste Lüftung, in [kWh/a]	61349	178105	39921	7767
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	15670	32769	13273	4505
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,862	0,859	0,861	0,883
	Fremdwärmege Gewinn, in [kWh/a]	13506	28139	11422	3977
	Innere Fremdwärme aus Pers. u. Geräten, in [kWh/a]	24555	73060	15967	2592
	Nutzungsgrad, in [-]	0,862	0,859	0,861	0,883
	Fremdwärmege Gewinn, in [kWh/a]	21164	62736	13740	2288
	Innere Fremdwärme aus TW-bereitung, in [kWh/a]	7586	20977	6443	1488
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,862	0,859	0,861	0,883
	Fremdwärmege Gewinn, in [kWh/a]	6539	18013	5544	1313
	Innere Fremdwärme aus Heizung, in [kWh/a]	13904	79475	8313	2378
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,862	0,859	0,861	0,883
	Fremdwärmege Gewinn, in [kWh/a]	11984	68246	7154	2099
Nutzwärme Heizung / Lüftung, in [kWh/a]	80865	260830	56791	18370	
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	80865	260830	56791	18370
	Verteilverlust, in [kWh/a]	16693	105743	11816	2378
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Aufwandszahl Erzeuger, in [-]	1,01	1,01	1,01	1,01
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	98534	370239	69293	20956
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21315	63420	13860	2400
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	28446	53993	22470	2011
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1655	0	329	456
	Aufwandszahl Erzeuger, in [-]	1,03	1,03	1,03	1,03
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	52959	120935	37759	5013
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	98534	370239	69293	20956
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	52959	120935	37759	5013
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	151492	491174	107051	25969

Tabelle 5.12 Ergebnisse: Bedarf Gesamtbilanzverfahren jahresweise (absolut)

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen sind in Tabelle 5.13 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A_{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	69,3	87,6	75,0	131,0
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	37,3	28,6	40,9	31,3
	Jahresendenergie Wärme	106,6	116,2	115,9	162,3

Tabelle 5.13 Ergebnisse: Bedarf Gesamtbilanzverfahren jahresweise (flächenbezogen)

5.5. Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren jahresweise

Die Verbrauchsberechnung ist eine zweigeteilte Rechnung. Zunächst wird der Verbrauch für den Messzeitraum in seine Einzelbestandteile, d.h. Energiekennwerte zerlegt. Danach wird aus den Einzelkennwerten das Standardjahr rekonstruiert. Die Ergebnisse, die sich zunächst für den Messzeitraum aus den Verbrauchsdaten ergeben, zeigt Tabelle 5.14.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Messzeitraum, in [d/a]	368	366	365	453
	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	15
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	5,8	5,5	5,7	8,2
	Heizzeit, in [d/a]	207	194	209	279
	Luftwechsel aus Bilanz, in [h ⁻¹]	0,44	0,54	0,59	0,67
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	20,0	20,0	20,0	20,0
	mittlere Innentemperatur, in [°C]	20,2	18,9	20,2	20,2
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission, in [kWh/a]	61420	209544	46959	17070
	Wärmeverluste Lüftung, in [kWh/a]	38253	0,841	33688	7276
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	15502	28010	12473	5976
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,810	0,841	0,818	0,850
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	12417	23556	10203	5080
	Innere Fremdwärme aus Pers. u. Geräten, in [kWh/a]	22738	72682	20247	1912
	Nutzungsgrad, in [-]	0,810	0,841	0,818	0,850
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	18418	61126	16562	1625
	Innere Fremdwärme aus TW-bereitung, in [kWh/a]	6190	17633	5029	1213
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,810	0,841	0,818	0,850
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	5014	14829	4114	1031
	Innere Fremdwärme aus Heizverteilung, in [kWh/a]	18553	63304	11254	3104
	Fremdwärmenutzungsgrad, in [-]	0,810	0,841	0,818	0,850
	Fremdwärmegewinn, in [kWh/a]	15028	53239	9206	2638
Nutzwärme Heizung / Lüftung, in [kWh/a]	48630	189240	40577	13978	
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	48630	189240	40577	13978
	Verteilungsverlust, in [kWh/a]	20415	84911	14291	3104
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1516	5483	549	171
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	70425	279429	55417	17252
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	17451	76232	14863	2279
	Verteilungsverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21811	50465	16372	1316
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1249	0	1009	653
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1950	6549	1516	179
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	42461	133246	33761	4428
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	70425	279634	55417	17
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	42461	133246	33761	2279
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	112886	412880	89178	21680

Tabelle 5.14 Ergebnisse: Verbrauch Gesamtbilanzverfahren jahresweise

Tabelle 5.15 liefert die Ergebnisse für die jahresweise Bereinigung der Messdaten. Einige Größen können nach der Bereinigung nicht mehr einzeln, sondern nur zusammengefasst mit anderen Werten, angegeben werden.

In diesem Fall handelt es sich um die nutzbare (innere und solare) Fremdwärme. Da die Wärmeverluste für Transmission und Lüftung sowie die geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen bereinigt werden, bilden die nutzbaren Wärmegewinne die Restmenge in der Bilanz der Energien der beheizten Hülle. Sie schaffen den "rechnerischen" Ausgleich der Verluste und Gewinne.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	15
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	4,5	4,5	4,5	5,5
	Heizzeit, in [d/a]	225	225	225	270
	Soll-Luftwechsel, in [h ⁻¹]	0,44	0,54	0,59	0,67
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	20,0	20,0	20,0	20,0
	mittlere Innentemperatur, in [°C]	20,2	20,2	20,2	20,2
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission, in [kWh/a]	71793	263325	54074	20022
	Wärmeverluste Lüftung, in [kWh/a]	44713	166357	38793	8534
	nutzbare Fremdwärme, in [kWh/a]*	52827	176798	40977	9590
	Nutzwärme Heizung / Lüftung, in [kWh/a]	63679	252884	51980	18966
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	63679	252884	51980	18966
	Verteilverlust, in [kWh/a]	22190	98479	15385	3004
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1648	6359	591	165
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	87517	357723	67956	22135
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	17309	76024	14863	1836
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21633	50327	16372	1060
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1238	0	1009	526
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1934	6532	1516	145
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	42115	132882	33761	3567
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	87517	357723	67956	22135
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	42115	132882	33761	3567
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	129631	490605	101717	25702

Tabelle 5.15 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren jahresweise

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen für das Standardjahr sind in Tabelle 5.16 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A _{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	61,6	84,6	73,5	138,3
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	29,6	31,4	36,5	22,3
	Jahresendenergie Wärme	91,2	116,0	110,1	160,6

Tabelle 5.16 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren jahresweise (flächenbezogen)

5.6. Verbrauch: ΔQ -Verfahren als Jahresbilanz

Die Verbrauchsberechnung ist auch für das ΔQ -Verfahren eine zweigeteilte Rechnung. Zunächst wird der Verbrauch für den Messzeitraum in die einzelnen Energiekennwerte zerlegt. Danach wird aus den Einzelkennwerten das Standardjahr rekonstruiert. Die Ergebnisse, die sich für den Messzeitraum ergeben, zeigt Tabelle 5.17.

Die Rauminnentemperatur, die zur Bestimmung der Verluste von Leitungen im beheizten Bereich verwendet wird, beträgt vereinfachend 20°C. Diese Annahme muss getroffen werden, weil die Temperatur selbst in der Bilanz zunächst nicht bestimmt wird. Die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung sind das Bilanzergebnis aus Fremdwärme und Wärmeabgabe der Heizflächen. In dieser Restmenge sind sowohl der Luftwechsel als auch die Temperatur noch frei wählbar.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Messzeitraum, in [d/a]	368	366	365	453
	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	15
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	5,8	5,5	5,7	8,5
	Heizzeit, in [d/a]	207	194	209	279
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Nutzwärme Heizung / Lüftung, in [kWh/a]	48630	189240	40518	13956
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	15502	27988	12473	6178
	Innere Fremdwärme aus Pers. u. Geräten, in [kWh/a]	22738	72695	20247	2607
	Innere Fremdwärme aus TW-bereitung, in [kWh/a]	6279	17440	5076	1222
	Innere Fremdwärme aus Heizverteilung, in [kWh/a]	18672	63843	11326	3110
	reale Wärmeverluste Transmission und Lüftung, in [kWh/a]	111821	371206	89640	27073
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	48630	189240	40518	13956
	Verteilverlust, in [kWh/a]	21044	85264	14350	3110
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1439	5490	549	171
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	71097	279994	55417	17237
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	17451	76252	15638	2279
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21970	50103	16544	1331
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1249	0	1009	653
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1119	6532	659	180
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	41789	132886	33761	4443
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	71097	279994	55417	17237
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	41789	132886	33461	4443
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	112886	412880	89178	21680

Tabelle 5.17 Ergebnisse: Verbrauch ΔQ -Verfahren jahresweise

Aus den in Tabelle 5.17 ermittelten Einzelkennwerten wird ein Standardjahr rekonstruiert. Die Bezugs-temperatur zur Bestimmung der Verteilverluste im beheizten Bereich ist weiterhin 20°C. Ergebnisse zeigt Tabelle 5.18.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	12	12	12	15
	mittlere Außentemperatur, in [°C]	4,5	4,5	4,5	5,5
	Heizzeit, in [d/a]	225	225	225	270
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Nutzwärme Heizung / Lüftung, in [kWh/a]	63679	252884	51905	18936
	Solare Fremdwärme, in [kWh/a]	16850	32460	13428	5979
	Innere Fremdwärme, in [kWh/a]	51836	178538	39455	6716
	reale Wärmeverluste Transmission und Lüftung, in [kWh/a]	132365	463928	104788	31631
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	63679	252884	51905	18936
	Verteilverlust, in [kWh/a]	22873	98730	15449	3010
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1564	6367	591	165
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	88116	357981	67944	22111
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	17309	76044	15338	1836
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21791	49966	16455	1073
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1238	0	1009	526
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1110	6514	659	145
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	41448	132524	33761	3580
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	88116	357981	67944	22111
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	41448	132524	33761	3580
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	129565	490505	101705	25691

Tabelle 5.18 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren jahresweise

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen des bereinigten Standardjahres sind in Tabelle 5.19 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A_{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	62,0	84,7	73,5	138,2
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	29,2	31,3	36,5	22,4
	Jahresendenergie Wärme	91,2	116,0	110,1	160,6

Tabelle 5.19 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren jahresweise (flächenbezogen)

5.7. Verbrauch: Gesamtbilanzverfahren monatsweise

Die Untersuchung der Monatsdaten erfolgt für die beiden Mehrfamilienhäuser in Hannover. Es sind sowohl die monatlichen Energiemengen für die Trinkwarmwasserbereitung (nach der Wärmeübergabestation) als auch der monatliche Gesamtverbrauch (vor der Wärmeübergabestation) bekannt.

Die in Tabelle 5.20 bis Tabelle 5.23 gezeigten Ergebnisse gelten monatlich. Sie sind jeweils über alle Tage eines Monats anhand der Wetterdaten bestimmt. Die Kennwerte in den Randbereichen, d.h. der Sommermonate sind kritisch zu betrachten. Hier schwankt das Ergebnis des Luftwechsels sehr sensibel mit unterschiedlichen Eingangsdaten. Für die beiden Gebäude sind jeweils nacheinander zuerst die unbereinigten Daten des Messzeitraums, anschließend die auf ein Standardjahr bereinigten Kennwerte angegeben.

MFH 1		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	3354	6346	7141	13129	19891	15959	11477	12333	8168	4199	4195	3271
Q _{TW}	kWh/a	3125	3210	3745	3531	4171	3957	3709	4210	3659	3109	3516	3069
Q _H	kWh/a	229	3136	3396	9598	15720	12002	7768	8123	4509	1090	679	202
ϑ_i	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
n	h ⁻¹	1,00	0,70	0,76	0,38	0,51	0,35	0,38	0,39	0,45	0,47	0,50	1,00
Q _h	kWh/a	0	1120	1740	5950	11108	7818	4445	4418	1390	0	0	0
η		0,162	0,942	0,972	1,000	1,000	1,000	0,999	0,998	0,959	0,591	0,624	0,171
Q _i	kWh/a	3543	4977	4769	6467	7465	7071	5948	6629	5980	4319	4351	3522
Q _S	kWh/a	5390	3621	2433	1360	2347	1067	1935	2989	4830	6345	5581	6037
Q _V	kWh/a	920	4639	4596	4869	8748	5285	4326	5003	4607	2563	2615	1030
Q _T	kWh/a	528	4586	4147	8909	12178	10660	7993	9009	7151	3748	3593	606

Tabelle 5.20 Ergebnisse: Unbereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 1

MFH 1		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	4661	3571	13320	13948	19473	20277	16314	14066	6982	5874	2733	4758
Q _{TW}	kWh/a	3125	3210	3745	3531	4171	3957	3709	4210	3659	3109	3516	3069
Q _H	kWh/a	1536	361	9575	10417	15302	16320	12605	9856	3323	2765	-783	1689

Tabelle 5.21 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 1

MFH 3		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	2575	4734	5947	9834	14603	12808	9421	10088	7420	4580	4524	2644
Q _{TW}	kWh/a	2253	2384	2742	2887	3428	3169	2908	3113	2845	2794	2875	2363
Q _H	kWh/a	322	2350	3205	6947	11175	9639	6513	6975	4575	1786	1649	281
ϑ_i	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
n	h ⁻¹	1,30	0,85	1,06	0,38	0,40	0,44	0,51	0,54	0,76	1,47	1,45	1,50
Q _h	kWh/a	3	831	1926	4357	7956	6698	4139	4346	2329	858	604	0
η		0,165	0,964	0,993	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,924	0,898	0,189
Q _i	kWh/a	2885	3718	3618	4609	5231	4995	4249	4731	4318	3349	3343	2872
Q _S	kWh/a	4273	2819	1799	922	452	723	1428	2268	3889	4438	4526	4892
Q _V	kWh/a	781	3678	4178	3179	4467	4392	3800	4559	5093	5233	4961	1008
Q _T	kWh/a	398	3454	3124	6710	9172	8029	6020	6786	5386	2823	2707	457

Tabelle 5.22 Ergebnisse: Unbereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 2

MFH 3		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	3618	2638	11041	10421	14327	16185	13283	11496	6389	6441	2213	3976
Q _{TW}	kWh/a	2253	2384	2742	2887	3428	3169	2908	3113	2845	2794	2875	2363
Q _H	kWh/a	1365	254	8299	7534	10899	13016	10375	8383	3544	3647	-662	1613

Tabelle 5.23 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 2

Negative Werte können sich rechnerisch aufgrund der Witterungsreinigung ergeben. Sie treten v.a. in der Übergangszeit auf. Der Effekt beruht auf der Tatsache, dass in diesen Monaten im Standardjahr eine sehr hohe Menge an Fremdwärme zu verzeichnen ist. Die aus dem Untersuchungsjahr bereinigten Lüftung- und Transmissionswärmeverluste sind jedoch geringer als die angebotene Fremdwärme.

Tabelle 5.24 liefert die zusammengefassten jährlichen Ergebnisse für die bereinigten Verbrauchswerte nach dem Gesamtbilanzverfahren. Die Energiekennwerte gelten für ein bereinigtes Jahr. Die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung, sowie die Wärmegewinne sind nur in der Heizzeit bilanziert. Daher sind die Jahreswerte nicht unmittelbar vergleichbar mit der Summe der Monatswerte. Aus den monatsweisen Messwerten zeigt sich, dass im Gegensatz zur Bedarfsrechnung mit einer "realen" Heizgrenztemperatur von 15 °C zu rechnen ist.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1 Summe Monate (Heizzeitbezug)	MFH 3 Summe Monate (Heizzeitbezug)
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	15	15
	Heizzeit, in [d/a]	273	273
	mittlerer Luftwechsel, in [h ⁻¹]	0,72	0,90
	Soll-Innentemperatur, in [°C]	20,0	20,0
	mittlere Innentemperatur, in [°C]	20,2	20,2
Wärmegewinne und Wärmeverluste des beheizten Raumes	Wärmeverluste Transmission in der Heizzeit, in [kWh/a]	75724	57035
	Wärmeverluste Lüftung in der Heizzeit, in [kWh/a]	49216	42980
	nutzbare Fremdwärme in der Heizzeit, in [kWh/a]*	72100	54483
	Nutzwärme, in [kWh/a]	52839	45533
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	52839	45533
	Verteilverlust, in [kWh/a]	26419	17785
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	2424	3372
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	82965	68266
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	20357	16387
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21415	16365
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1238	1009
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	0	0
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	43011	33761
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	82965	68266
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	43011	33761
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	125976	102027

Tabelle 5.24 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise – Summenwerte

Der mittlere Luftwechsel ist höher, wenn ein ganzes Jahr untersucht wird, weil die Sommermonate, in denen viel gelüftet wird, dann mit berücksichtigt werden.

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen sind in Tabelle 5.25 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A _{EB} bezogene Energien in [kWh/(m ² a)]		MFH 1 Summe Monate (Heizzeitbezug)	MFH 3 Summe Monate (Heizzeitbezug)
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	58,4	73,9
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	30,3	36,5
	Jahresendenergie Wärme	88,7	110,4

Tabelle 5.25 Ergebnisse: Verbrauch Gesamtbilanzverfahren monatsweise - Summenwert (flächenbezogen)

5.8. Verbrauch: ΔQ -Verfahren monatsweise

Die Untersuchung der Monatsdaten erfolgt für die beiden Mehrfamilienhäuser in Hannover. Die in Tabelle 5.26 bis Tabelle 5.29 gezeigten Ergebnisse gelten monatlich. Auch in diesem Fall werden für die beiden Gebäude jeweils nacheinander zuerst die unbereinigten Daten des Messzeitraums, anschließend die auf ein Standardjahr bereinigten Kennwerte angegeben. Die Kennwerte in den Randbereichen, d.h. der Sommermonate sind kritisch zu betrachten.

MFH 1		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	3354	6346	7141	13129	19891	15959	11477	12333	8168	4199	4195	3271
Q _{TW}	kWh/a	3125	3210	3745	3531	4171	3957	3709	4210	3659	3109	3516	3069
Q _H	kWh/a	229	3136	3396	9598	15720	12002	7768	8123	4509	1090	679	202
Q _h	kWh/a	0	1120	1740	5950	11108	7818	4445	4418	1390	0	0	0
Q _{Gewinne}	kWh/a	8959	8624	7229	7853	9839	8164	7907	9645	10835	10691	9958	9585
Q _V + Q _T real	kWh/a	8959	9744	8969	13803	20946	15982	12353	14063	12225	10691	9958	9585

Tabelle 5.26 Ergebnisse: Unbereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 1

MFH 1		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	3438	4944	12658	13676	19583	19021	14244	13192	7841	4602	4301	3271
Q _{TW}	kWh/a	3125	3210	3745	3531	4171	3957	3709	4210	3659	3109	3516	3069
Q _H	kWh/a	313	1734	8913	10145	15412	15064	10535	8982	4182	1493	785	202

Tabelle 5.27 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 1

MFH 3		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	2575	4734	5947	9834	14603	12808	9421	10088	7420	4580	4524	2644
Q _{TW}	kWh/a	2253	2384	2742	2887	3428	3169	2908	3113	2845	2794	2875	2363
Q _H	kWh/a	322	2350	3205	6947	11175	9639	6513	6975	4575	1786	1649	281
Q _h	kWh/a	3	831	1926	4357	7956	6698	4139	4346	2329	858	604	0
Q _{Gewinne}	kWh/a	7165	6543	5425	5538	5690	5725	5684	7006	8213	7794	7876	7771
Q _V + Q _T real	kWh/a	7168	7374	7351	9895	13646	12423	9823	11352	10542	8652	8480	7771

Tabelle 5.28 Ergebnisse: Unbereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 2

MFH 3		Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
Q	kWh/a	2840	3840	11877	10234	14383	15431	11998	10933	6980	6092	3745	2871
Q _{TW}	kWh/a	2471	2496	2751	2887	3428	3169	2908	3113	2854	2876	3062	2590
Q _H	kWh/a	369	1343	9126	7347	10955	12262	9090	7820	4125	3216	683	281

Tabelle 5.29 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Monatswerte für MFH 2

Tabelle 5.30 liefert die zusammengefassten jährlichen Ergebnisse für die bereinigten Verbrauchswerte nach dem ΔQ -Verfahren. Die Energiekennwerte gelten für ein bereinigtes Jahr. Die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung, sowie die Wärmegewinne sind nur in der Heizzeit bilanziert. Daher sind die Jahreswerte nicht unmittelbar vergleichbar mit der Summe der Monatswerte.

Dargestellt sind absolute Energien in [kWh/a]		MFH 1 Summe Monate (Heizzeitbezug)	MFH 3 Summe Monate (Heizzeitbezug)
Randbedingungen	Heizgrenze, in [°C]	15	15
	Heizzeit, in [d/a]	273	273
Jahresendenergie für die Heizung und Lüftung	Nutzwärme, in [kWh/a]	48917	45460
	Verteilverlust, in [kWh/a]	24912	16743
	Speicherverlust, in [kWh/a]	0	0
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	1817	2528
	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	75647	85045
Jahresendenergie für die Trinkwarmwasserbereitung	Nutzwärme Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	20043	16304
	Verteilverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	21729	16448
	Speicherverlust Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	1238	1009
	Verlust Erzeuger, in [kWh/a]	607	844
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	43618	34605
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung), in [kWh/a]	75647	85045
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser, in [kWh/a]	43618	34606
	Jahresendenergie Wärme, in [kWh/a]	116264	119650

Tabelle 5.30 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Summenwert

Wichtige auf die Energiebezugsfläche bezogene Kennzahlen sind in Tabelle 5.31 wiedergegeben.

Dargestellt sind auf A_{EB} bezogene Energien in [kWh/(m²a)]		MFH 1 Summe Monate (Heizzeitbezug)	MFH 3 Summe Monate (Heizzeitbezug)
Jahresendenergie Wärme	Jahresendenergie Heizung (+ Lüftung)	53,2	92,0
	Jahresendenergie Trinkwarmwasser	30,7	37,5
	Jahresendenergie Wärme	81,8	129,5

Tabelle 5.31 Ergebnisse: Bereinigter Verbrauch ΔQ -Verfahren monatsweise - Summenwert (flächenbezogen)

5.9. Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 1

Die mit den einzelnen Bilanzverfahren ermittelten Ergebnisse für das Mehrfamilienhaus 1 werden im folgenden verglichen. Tabelle 5.32 zeigt wichtige allgemeine Größen der Energiebilanz, die weitgehend miteinander vergleichbar sein können, weil sie aus denselben Einzelenergiekennwerten zusammengesetzt sind, d.h. denselben Bilanzumfang haben.

Bezogen auf den Verbrauch sind die Abweichungen der Bedarfsbilanzen in Prozent angegeben.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q	121134	150135	151492	129631	129565
	93 %	116 %	117 %	100 %	100 %
Q_{TW}	38795	49335	52959	42115	41448
	94 %	119 %	128 %	102 %	100 %
Q_H	82339	100800	98534	87517	88116
	93 %	114 %	112 %	99 %	100 %
Q_V	56412	60867	61349	44713	
Q_T	63795	72050	72663	71793	132365

Tabelle 5.32 Ergebnisse der Energiebilanz für das MFH 1

Tabelle 5.33 zeigt die Aufteilung der Endenergie eines Gebäudes auf die Anteile "Nutzen" und "Verluste". Unter dem "Nutzen" (insbesondere der Heizung) verstehen die Bilanzverfahren jedoch teilweise verschiedene Größen, vergleiche Kapitel 3.1.2. Die Kennwerte sind daher nicht unmittelbar vergleichbar.

Die EnEV definiert beispielsweise einen Heizwärmebedarf, das Gesamtbilanzverfahren eine Nutzwärme bzw. geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen. In der Tabelle sind jeweils die Werte summiert, die ein Verfahren als "Nutzen" definiert. Der Nutzen umfasst jedoch immer auch den Nutzwärmebedarf der Trinkwarmwasserbereitung.

Der "Verlust" ist die Differenz zwischen der Endenergie und dem "Nutzen". Es ist zusätzlich die prozentuale Aufteilung zwischen den Größen angegeben.

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q, in kWh/a	121134	150135	156952	129631	129565
$(Q_{TW} + Q_H)$, in kWh/a	93539	120141	107587	80988	80988
Nutzen	77 %	80 %	69 %	62 %	63 %
$\Sigma Q_{\text{Verluste}}$, in kWh/a	27595	29994	49366	48643	48577
Verluste	23 %	20 %	31 %	38 %	37 %

Tabelle 5.33 Verhältnis Nutzen und Verluste für das MFH 1

Tabelle 5.34 spiegelt das Verhältnis der innerhalb des beheizten Bereiches anfallenden geregelten und ungeregelten Wärmeabgabe wieder. Zur Erstellung dieser Tabelle werden jeweils die Verluste des beheizten Raumes (durch Transmission und Lüftung) als Basis herangezogen. Sie geben den "Bedarf" an Energie an, der aus den verschiedenen Energiequellen gedeckt werden muss. Die unregelmäßig anfallenden Wärmegewinne definiert jedes Verfahren anders. Für den hessischen Energiepass sind die Solareinstrahlung, die Personen und Geräte als Energiequellen maßgeblich, das Gesamtbilanzverfahren bilanziert auch unregelmäßig anfallende Verluste der Anlagentechnik.

In der Tabelle sind nur jeweils die Wärmemengen angegeben, die das Verfahren als "ungeregelte Wärme" definiert. Die Werte sind daher nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

	Bedarf:	Bedarf:	Bedarf:	Verbrauch:	Verbrauch:
	EnEV/DIN V 4701-10	Energiepass	Gesamtbilanz	Gesamtbilanz jährlich	ΔQ -Verfahren jährlich
$Q_T + Q_V$, in kWh/a	120207	132917	134057	116506	132365
$\Sigma Q_{\text{Gewinne}}$, in kWh/a	47643	36933	47786	52827	68686
geregelte Wärmeabgabe	60 %	72 %	64 %	55 %	48 %
ungeregelte Wärmeabgabe	40 %	28 %	36 %	45 %	52 %

Tabelle 5.34 Verhältnis geregelte und unregelmäßig Wärmeabgabe für das MFH 1

Die nachfolgenden Tabellen befassen sich mit dem Luftwechsel des Mehrfamilienhauses 1 und dessen Ermittlung aus den unterschiedlichen Energiebilanzen. Tabelle 5.35 zeigt - für alle Bilanzverfahren, die einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren - zunächst die Raumtemperatur, mit der bilanziert wird, und den Eingangsluftwechsel der Bilanz (n_{Soll}).

Weiterhin ist der Luftwechsel angegeben, der sich zusätzlich ergibt, wenn die nicht nutzbaren Anteile der Fremdwärme allein über vermehrte Fensterlüftung das Gebäude verlassen. Zur Berechnung dieser Größe wird der Zusammenhang: $\Delta Q_V = (1 - \eta) \cdot (Q_I + Q_S)$ verwendet.

Werte in kWh/a	Bedarf:	Bedarf:	Bedarf:	Verbrauch:
	EnEV/DIN V 4701-10	Energiepass	Gesamtbilanz	Gesamtbilanz jährlich
ϑ , in °C	19	20	20	20
n_{Soll} , in h ⁻¹	0,6	0,6	0,6	0,44
Δn , in h ⁻¹	+ 0,06	+ 0,04	+ 0,06	+ 0,11

Tabelle 5.35 Luftwechselbereiche für MFH 1 (Teil 1)

Tabelle 5.36 zeigt mögliche Veränderungen des mittleren jährlichen Luftwechsels, der sich innerhalb des jahresweisen ΔQ -Verfahrens ergibt, wenn andere mittlere Raumtemperaturen als Basis für die Bilanz zugrunde gelegt werden. Da die Energiemenge $Q_V + Q_T$ bekannt und konstant ist, hängen Luftwechsel und Temperatur umgekehrt proportional von einander ab.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Verbrauch: ΔQ-Verfahren jährlich						
ϑ , in °C	18	19	20	21	22	23
n , in h ⁻¹	0,83	0,71	0,60	0,50	0,42	0,34

Tabelle 5.36 Luftwechselbereiche für MFH 1 (Teil 2)

Aussagen zu den monatlichen Bilanzen folgen in Kapitel 5.15.6.

5.10. Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 2

Die mit den einzelnen Bilanzverfahren ermittelten Ergebnisse für das Mehrfamilienhaus 2 werden im folgenden verglichen. Tabelle 5.37 zeigt wichtige allgemeine Größen der Energiebilanz. Bezogen auf den Verbrauch sind die Abweichungen der Bedarfsbilanzen in Prozent angegeben.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q	366120	500866	536986	490605	490505
	75 %	102 %	109 %	100 %	100 %
Q _{TW}	107781	118211	137903	132882	132524
	81 %	89 %	104 %	100 %	100 %
Q _H	258339	382655	399083	357723	357981
	72 %	107 %	111 %	100 %	100 %
Q _V	166413	184760	202492	166357	
Q _T	225601	264269	265440	263325	463928

Tabelle 5.37 Ergebnisse der Energiebilanz für das MFH 2

Tabelle 5.38 zeigt die Aufteilung der Endenergie eines Gebäudes auf die Anteile "Nutzen" und "Verluste". In der Tabelle sind jeweils die Werte summiert, die ein Verfahren als "Nutzen" definiert. Die Kennwerte sind daher nicht unmittelbar vergleichbar. Der "Verlust" ist immer die Differenz zwischen der Endenergie und dem "Nutzen".

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q, in kWh/a	366120	500866	490106	490605	490505
(Q _{TW} + Q _H), in kWh/a	303202	422953	323193	328908	328928
Nutzen	83 %	84 %	66 %	67 %	67 %
$\Sigma Q_{\text{Verluste}}$, in kWh/a	62918	77913	166913	161697	161577
Verluste	17 %	16 %	34 %	33 %	33 %

Tabelle 5.38 Verhältnis Nutzen und Verluste für das MFH 2

Tabelle 5.39 zeigt das Verhältnis der innerhalb des beheizten Bereiches anfallenden geregelten und unregulierten Wärmeabgabe. Datengrundlage für die Tabelle sind die Verluste des beheizten Raumes durch Transmission und Lüftung als Basis. Sie geben den "Bedarf" an Energie an, der aus den verschiedenen Quellen gedeckt werden muss.

Die unreguliert anfallenden Wärmegewinne definiert jedes Verfahren anders. In der Tabelle sind nur jeweils die Wärmemengen angegeben, die das Verfahren als "ungeregelte Wärme" definiert. Die Werte sind daher nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
$Q_T + Q_V$, in kWh/a	392014	449029	437964	429682	463928
$\Sigma Q_{\text{Gewinne}}$, in kWh/a	150688	97952	178192	176798	210998
geregelte Wärmeabgabe	62 %	78 %	59 %	59 %	55 %
ungeregelte Wärmeabgabe	38 %	22 %	41 %	41 %	45 %

Tabelle 5.39 Verhältnis geregelte und unregulierte Wärmeabgabe für das MFH 2

Die folgenden Tabellen befassen sich mit dem Luftwechsel des Mehrfamilienhauses 2 und dessen Ermittlung aus den unterschiedlichen Energiebilanzen.

Tabelle 5.40 zeigt - für alle Bilanzverfahren, die einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren, zunächst die Raumtemperatur, mit der bilanziert wird, und den Eingangsluftwechsel der Bilanz (n_{Soll}). Weiterhin ist der Luftwechsel angegeben, der sich zusätzlich ergibt, wenn die nicht nutzbaren Anteile der Fremdwärme über vermehrte Fensterlüftung das Gebäude verlassen.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich
ϑ , in °C	19	20	20	20
n_{Soll} , in h ⁻¹	0,6	0,6	0,6	0,54
Δn , in h ⁻¹	+ 0,08	+ 0,03	+ 0,09	+ 0,08

Tabelle 5.40 Luftwechselbereiche für MFH 2 (Teil 1)

Tabelle 5.41 zeigt mögliche Veränderungen des mittleren jährlichen Luftwechsels, der sich innerhalb des jährlichen ΔQ -Verfahrens ergibt, wenn andere mittlere Raumtemperaturen als Basis für die Bilanz zugrunde gelegt werden.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Verbrauch: ΔQ-Verfahren jährlich						
ϑ , in °C	18	19	20	21	22	23
n , in h ⁻¹	0,88	0,76	0,65	0,56	0,48	0,41

Tabelle 5.41 Luftwechselbereiche für MFH 2 (Teil 2)

Aussagen zu den monatlichen Bilanzen folgen in Kapitel 5.15.6.

5.11. Gegenüberstellung: Mehrfamilienhaus 3

Die mit den einzelnen Bilanzverfahren ermittelten Ergebnisse für das Mehrfamilienhaus 3 werden im folgenden verglichen. Tabelle 5.42 zeigt wichtige allgemeine Größen der Energiebilanz. Bezogen auf den Verbrauch sind die Abweichungen der Bedarfsbilanzen in Prozent angegeben.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q	78436	107807	107051	101717	101705
	77 %	106 %	105 %	100 %	100 %
Q _{TW}	25990	35608	37759	33761	33761
	77 %	105 %	112 %	100 %	100 %
Q _H	52447	72199	69293	67956	67944
	77 %	106 %	102 %	100 %	100 %
Q _V	37552	39738	39921	38793	
Q _T	47632	54268	54730	54074	104788

Tabelle 5.42 Ergebnisse der Energiebilanz für das MFH 3

Tabelle 5.43 zeigt die Aufteilung der Endenergie eines Gebäudes auf die Anteile "Nutzen" und "Verluste". In der Tabelle sind jeweils die Werte summiert, die ein Verfahren als "Nutzen" definiert. Die Kennwerte sind daher nicht unmittelbar vergleichbar. Der "Verlust" ist immer die Differenz zwischen der Endenergie und dem "Nutzen".

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q, in kWh/a	78436	107807	107051	101717	101705
(Q _{TW} + Q _H), in kWh/a	59714	82938	70651	66843	67243
Nutzen	76 %	77 %	66 %	66 %	66 %
$\Sigma Q_{\text{Verluste}}$, in kWh/a	18722	24869	36400	34874	34462
Verluste	24 %	23 %	34 %	34 %	34 %

Tabelle 5.43 Verhältnis Nutzen und Verluste für das MFH 3

Tabelle 5.44 spiegelt das Verhältnis der innerhalb des beheizten Bereiches anfallenden geregelten und unregulierten Wärmeabgabe wieder. Datengrundlage für die Tabelle sind die Verluste des beheizten Raumes durch Transmission und Lüftung als Basis. Sie geben den "Bedarf" an Energie an, der aus den verschiedenen Quellen gedeckt werden muss.

Die unreguliert anfallenden Wärmegewinne definiert jedes Verfahren anders. In der Tabelle sind nur jeweils die Wärmemengen angegeben, die das Verfahren als "ungeregelte Wärme" definiert. Die Werte sind daher nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
$Q_T + Q_V$, in kWh/a	85184	94006	94651	92867	104788
$\Sigma Q_{\text{Gewinne}}$, in kWh/a	39433	26776	37860	40977	52883
geregelte Wärmeabgabe	54 %	72 %	60 %	56 %	50 %
ungeregelte Wärmeabgabe	46 %	28 %	40 %	44 %	50 %

Tabelle 5.44 Verhältnis geregelte und unregulierte Wärmeabgabe für das MFH 3

Die nachfolgenden Tabellen befassen sich alle mit dem Luftwechsel des Mehrfamilienhauses 3 und dessen Ermittlung aus den unterschiedlichen Energiebilanzen.

Tabelle 5.45 zeigt - für alle Bilanzverfahren, die einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren, zunächst die Raumtemperatur, mit der bilanziert wird, und den Eingangsluftwechsel der Bilanz (n_{Soll}). Weiterhin ist der Luftwechsel angegeben, der sich zusätzlich ergibt, wenn die nicht nutzbaren Anteile der Fremdwärme über vermehrte Fensterlüftung das Gebäude verlassen.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich
ϑ , in °C	20,0	20,0	20,2	20,2
n_{Soll} , in h ⁻¹	0,60	0,60	0,60	0,59
Δn , in h ⁻¹	0,09	0,04	0,08	0,12

Tabelle 5.45 Luftwechselbereiche für MFH 3 (Teil 1)

Tabelle 5.46 zeigt mögliche Veränderungen des mittleren jährlichen Luftwechsels, der sich innerhalb des jahresweisen ΔQ -Verfahrens ergibt, wenn andere mittlere Raumtemperaturen als Basis für die Bilanz zugrunde gelegt werden.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Verbrauch: ΔQ-Verfahren jährlich						
ϑ , in °C	18	19	20	21	22	23
n , in h ⁻¹	1,01	0,88	0,77	0,67	0,58	0,51

Tabelle 5.46 Luftwechselbereiche für MFH 3 (Teil 2)

Aussagen zu den monatlichen Bilanzen folgen in Kapitel 5.15.6.

5.12. Gegenüberstellung: Einfamilienhaus

Die mit den einzelnen Bilanzverfahren ermittelten Ergebnisse für das Einfamilienhaus werden im folgenden verglichen. Tabelle 5.47 zeigt wichtige allgemeine Größen der Energiebilanz. Bezogen auf den Verbrauch sind die Abweichungen der Bedarfsbilanzen in Prozent angegeben.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q	19347	23878	24478	25702	25691
	75 %	93 %	95 %	100 %	100 %
Q _{TW}	5440	4603	5013	3567	3580
	152 %	129 %	140 %	100 %	100 %
Q _H	13907	19275	19466	22135	22111
	63 %	87 %	88 %	100 %	100 %
Q _V	6556	6854	6913	8534	
Q _T	4429	17899	18052	20022	31631

Tabelle 5.47 Ergebnisse der Energiebilanz für das EFH

Tabelle 5.48 zeigt die Aufteilung der Endenergie eines Gebäudes auf die Anteile "Nutzen" und "Verluste". In der Tabelle sind jeweils die Werte summiert, die ein Verfahren als "Nutzen" definiert. Die Kennwerte sind daher nicht unmittelbar vergleichbar. Der "Verlust" ist immer die Differenz zwischen der Endenergie und dem "Nutzen".

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Q, in kWh/a	19347	23878	24478	25702	25691
(Q _{TW} + Q _H), in kWh/a	15876	21610	19691	20802	20772
Nutzen	82 %	91 %	80 %	81 %	81 %
$\Sigma Q_{\text{Verluste}}$, in kWh/a	3471	2268	4787	4900	4919
Verluste	18 %	9 %	20 %	19 %	19 %

Tabelle 5.48 Verhältnis Nutzen und Verluste für das EFH

Tabelle 5.49 zeigt das Verhältnis der innerhalb des beheizten Bereiches anfallenden geregelten und ungeregelten Wärmeabgabe. Zur Erstellung dieser Tabelle werden jeweils die Verluste des beheizten Raumes durch Transmission und Lüftung als Basis herangezogen. Sie geben den "Bedarf" an Energie an, der aus den verschiedenen Quellen gedeckt werden muss.

Die unregelmäßig anfallenden Wärmegewinne definiert jedes Verfahren anders. In der Tabelle sind nur jeweils die Wärmemengen angegeben, die das Verfahren als "ungeregelte Wärme" definiert. Die Werte sind daher nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
$Q_T + Q_V$, in kWh/a	21996	24753	24964	28556	31631
$\Sigma Q_{\text{Gewinne}}$, in kWh/a	8558	5864	7673	9590	12695
geregelte Wärmeabgabe	61 %	76 %	69 %	67 %	60 %
ungeregelte Wärmeabgabe	39 %	24 %	31 %	33 %	40 %

Tabelle 5.49 Verhältnis geregelte und unregelmäßig Wärmeabgabe für das EFH

Die nachfolgenden Tabellen befassen sich mit dem Luftwechsel des Einfamilienhauses und dessen Ermittlung aus den unterschiedlichen Energiebilanzen.

Tabelle 5.50 zeigt - für alle Bilanzverfahren, die einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren, zunächst die Raumtemperatur, mit der bilanziert wird, und den Eingangsluftwechsel der Bilanz (n_{Soll}). Weiterhin ist der Luftwechsel angegeben, der sich zusätzlich ergibt, wenn die nicht nutzbaren Anteile der Fremdwärme über vermehrte Fensterlüftung das Gebäude verlassen.

Werte in kWh/a	Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich
ϑ , in °C	19	20	20	20
n_{Soll} , in h ⁻¹	0,6	0,6	0,6	0,67
Δn , in h ⁻¹	+ 0,07	+ 0,03	+ 0,05	+ 0,09

Tabelle 5.50 Luftwechselbereiche für das EFH (Teil 1)

Tabelle 5.51 zeigt mögliche Veränderungen des mittleren jährlichen Luftwechsels, der sich innerhalb des ΔQ -Verfahrens ergibt, wenn andere mittlere Raumtemperaturen als Basis für die Bilanz zugrunde gelegt werden.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Verbrauch: ΔQ-Verfahren jährlich						
ϑ , in °C	18	19	20	21	22	23
n , in h ⁻¹	1,28	1,08	0,91	0,67	0,63	0,51

Tabelle 5.51 Luftwechselbereiche für das EFH (Teil 2)

5.13. Aussagen zu Luftwechsel und Temperatur

5.13.1. Luftwechselbereiche bei 19 bzw. 20°C

Die im Rahmen dieses Projektes verwendeten Energiebilanzverfahren definieren eine mittlere Innentemperatur, mit der die Verlustkennwerte bestimmt werden. Üblich sind 20°C, die EnEV verwendet dagegen 19°C.

Neben dieser Temperatur wird ein bestimmter Luftwechsel in einer Bedarfsbilanz für die Rechnung angenommen bzw. in einer Verbrauchsbilanz ist er die freie Variable, die sich nach Kenntnis aller anderen Bilanzgrößen ergeben muss.

Die in den vorhergehenden Kapiteln zur Bandbreite des mittleren jährlichen Luftwechsels ermittelten Ergebnisse für eine Temperatur von 19 bzw. 20°C sind in Tabelle 5.52 zusammengestellt. Die Verfahren, die einen Fremdwärmenutzungsgrad definieren, liefern einen Bereich für den Luftwechsel. Der erste Wert ist der Rechenwert, mit dem der Lüftungswärmeverlust bestimmt wird. Der zweite Wert enthält zusätzlich zu diesem "Soll-Luftwechsel" einen Differenzluftwechsel. Dieser ergibt sich, wenn angenommen wird, dass die gesamte nicht nutzbare Fremdwärme $(1-\eta)$ das Gebäude ebenfalls nur durch Ablüften verlassen kann.

Luftwechselbereiche, in h^{-1}	Bedarf: EnEV/DIN V 4701- 10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
MFH 1	0,60...0,66	0,60...0,64	0,60...0,66	0,44...0,55	0,60
MFH 2	0,60...0,68	0,60...0,63	0,60...0,69	0,54...0,62	0,65
MFH 3	0,60...0,69	0,60...0,64	0,60...0,68	0,59...0,71	0,77
EFH	0,60...0,67	0,60...0,63	0,60...0,65	0,67...0,76	0,91

Tabelle 5.52 Luftwechselbereiche für die Gebäude bei verschiedenen Bilanzverfahren

Der durch die Verbrauchsberechnung berechnete Luftwechsel bei 20°C ist tendenziell größer als in den Bedarfsrechnungen zunächst angenommen. Er liegt in den untersuchten Gebäuden etwa zwischen 0,60 und 0,90 h^{-1} . Dies kann beispielsweise durch übermäßige Lüftung in den Übergangsjahreszeiten erklärt werden, wenn die Heizungsanlage noch bzw. schon in Betrieb ist und ein Wärmeabgabepotential bietet.

5.13.2. Zusammenhang Luftwechsel und Temperatur in der Jahresbetrachtung

Die in mit dem jahresweisen ΔQ -Verfahren ermittelten Ergebnisse für den Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel sind in Tabelle 5.53 zusammengefasst. Es werden für alle Gebäude die Verbrauchsdaten als Grundlage herangezogen. Die Ergebnisse gelten für ein bereinigtes Standardjahr.

Die Szenarien unterschieden sich in der Wahl der mittleren Innentemperatur.

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Verbrauch: ΔQ-Verfahren jährlich							
ϑ , in °C		18	19	20	21	22	23
MFH 1	n, in h ⁻¹	0,83	0,71	0,60	0,50	0,42	0,34
MFH 2		0,88	0,76	0,65	0,56	0,48	0,41
MFH 3		1,01	0,88	0,77	0,67	0,58	0,51
EFH		1,28	1,08	0,91	0,76	0,63	0,51

Tabelle 5.53 Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel (jahresweises ΔQ -Verfahren)

Die Zusammenhänge zeigt Bild 5.1.

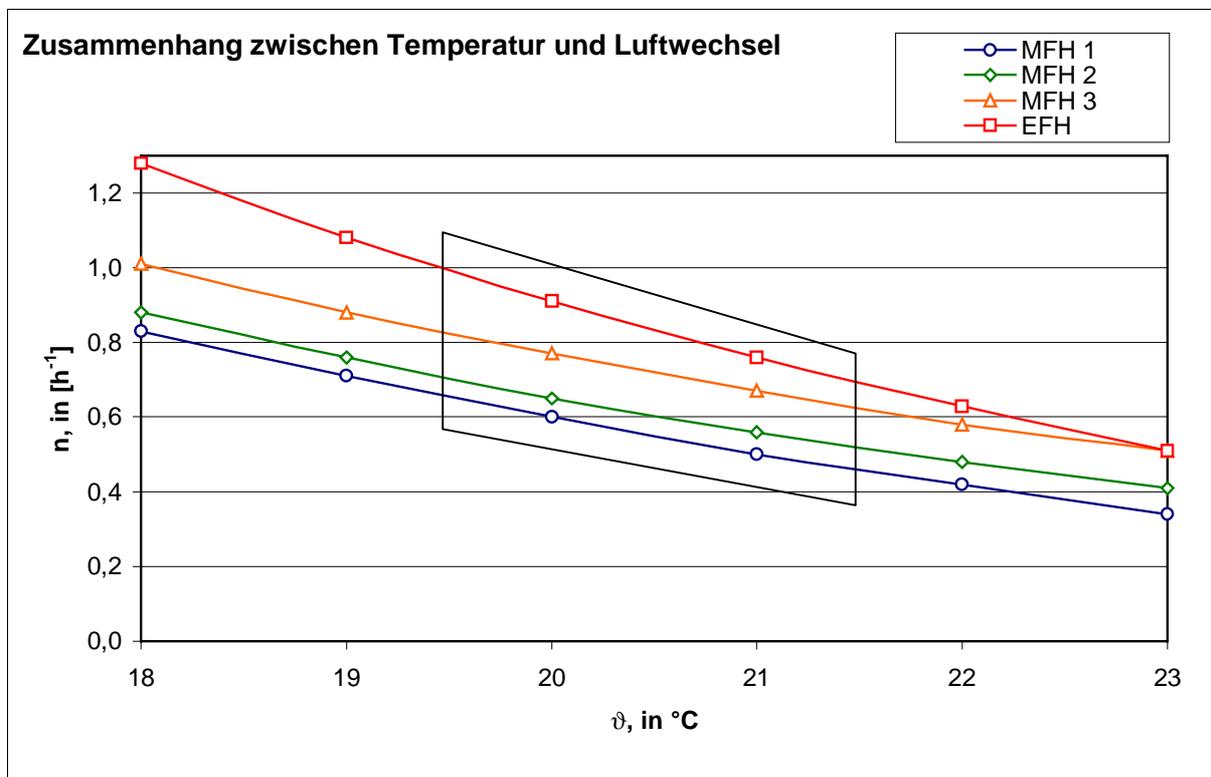


Bild 5.1 Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel für das jahresweise ΔQ -Verfahren

Der Luftwechsel, der sich für die Gebäude aus den Verbrauchsmessungen ergibt, hängt - wie zu erwarten war - von der Innentemperatur ab. Es ergibt sich für die Mehrfamiliengebäude ein realistischer Bereich zwischen 0,6 und 0,7 h⁻¹. Der hohe Luftwechsel für das EFH kann darauf zurückzuführen sein, dass das Gebäude sich noch in der Bauaustrocknungsphase befindet. Für das Mehrfamilienhaus 3 kann eine nicht vollständig umgesetzte Qualitätssicherung der Anlage vermutet werden.

5.13.3. Monatlicher Zusammenhang Luftwechsel und Temperatur

Erfolgt die Untersuchung des Verbrauchs anhand der Monatsmessdaten mit dem monatsweisen ΔQ -Verfahren, ergeben sich für das Mehrfamilienhaus 1 die in Tabelle 5.54 dargestellten Zusammenhänge zwischen Temperatur und Luftwechsel.

Es werden drei Szenarien untersucht: eine minimale (18°C) und eine maximale (23°C) jeweils konstante Raumtemperatur sowie einen über das Jahr realistischen Temperaturverlauf. In den gezeigten Bandbreiten kann der Luftwechsel für die beiden Mehrfamiliengebäude liegen.

	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun
Verbrauch: ΔQ-Verfahren monatlich										
Szenario 1										
ϑ , in °C	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n, in h ⁻¹	1,374	1,531	0,576	0,661	0,507	0,581	0,590	0,769	2,444	2,385
Szenario 2										
ϑ , in °C	21,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	21,00	21,00	22,00
n, in h ⁻¹	0,612	0,816	0,386	0,508	0,351	0,383	0,394	0,402	1,003	0,711
Szenario 3										
ϑ , in °C	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
n, in h ⁻¹	0,347	0,321	0,190	0,337	0,183	0,181	0,193	0,241	0,603	0,520

Tabelle 5.54 Luftwechselbereiche für MFH 1

Für das Mehrfamilienhaus 3 ergibt sich die in Tabelle 5.55 gezeigte Verteilung des Luftwechsel über das Jahr. Die Szenarien sind dieselben wie für das Mehrfamilienhaus 1

	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun
Verbrauch: ΔQ-Verfahren monatlich										
Szenario 1										
ϑ , in °C	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n, in h ⁻¹	1,595	1,989	0,593	0,549	0,629	0,753	0,787	1,131	3,014	3,118
Szenario 2										
ϑ , in °C	21,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	21,00	21,00	22,00
n, in h ⁻¹	0,714	1,098	0,384	0,396	0,444	0,513	0,546	0,651	1,316	1,082
Szenario 3										
ϑ , in °C	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
n, in h ⁻¹	0,407	0,479	0,169	0,225	0,245	0,268	0,299	0,441	0,820	0,851

Tabelle 5.55 Luftwechselbereiche für MFH 3

Es wird der mittlere monatliche Luftwechsel gezeigt, unabhängig davon, ob geheizt wird oder nicht. Da die Bilanz für die Sommermonate mit möglichen Fehlern behaftet ist, werden in Bild 5.2 bzw. Bild 5.3 nur die Ergebnisse innerhalb der Heizzeit (die in den Gebäuden beobachtet worden ist) aufgezeigt.

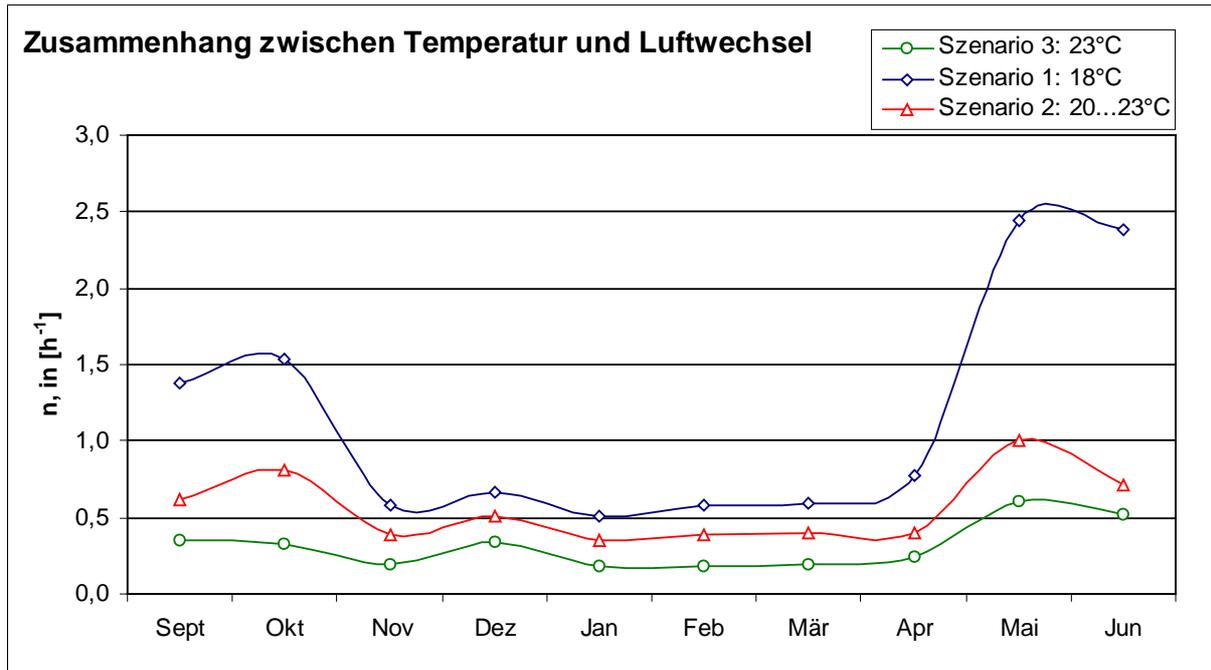


Bild 5.2 Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel für MFH 1

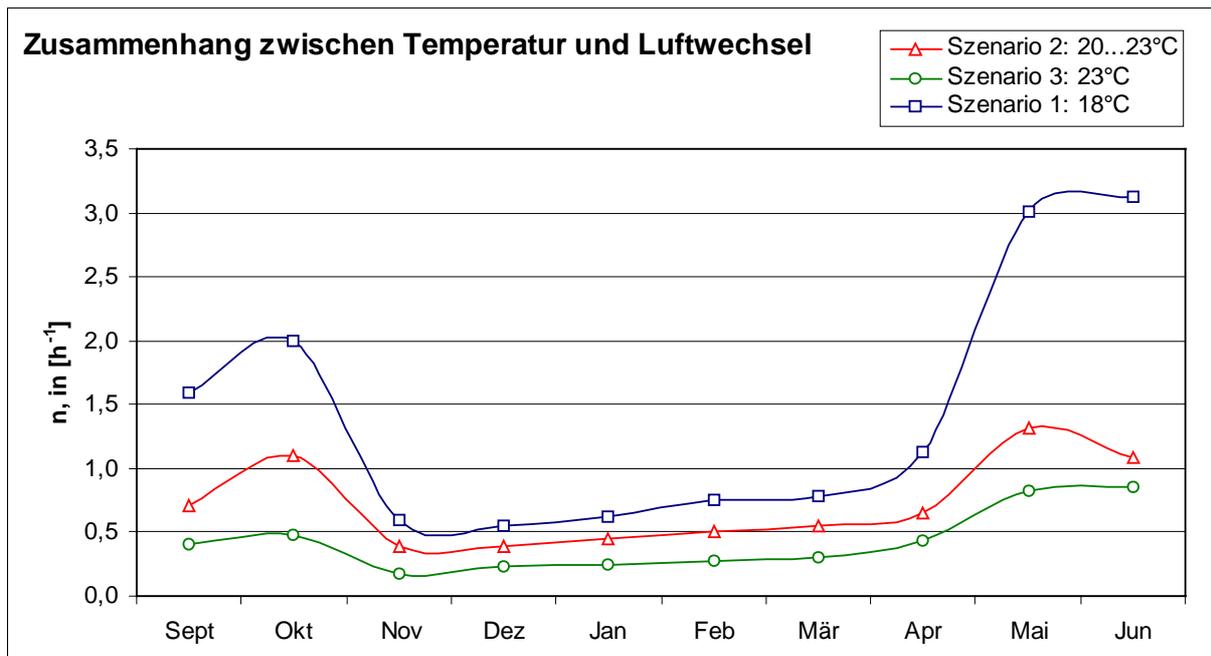


Bild 5.3 Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftwechsel für MFH 3

Sehr deutlich sichtbar ist der verhältnismäßig hohe Luftwechsel in den Übergangsmontaten Oktober und Mai. In beiden Gebäuden wird hier stark gelüftet, obwohl die Außentemperaturen deutlich unter der Raumtemperatur liegen. Der Nutzer verursacht – vermutlich beeinflusst durch die gute Wetterlage – einen erhöhten Lüftungswärmebedarf, den die Heizflächen ausgleichen. Die Heizungsanlage ist nachweislich in diesen Monaten bereits eingeschaltet, obwohl die theoretische Heizgrenze weit niedriger läge. Da keine oder nur eine unzureichende Qualitätssicherung der Anlagentechnik vorhanden sein dürfte, haben die Heizflächen entsprechend hohes Wärmeabgabepotential, das die Nutzer annehmen.

Es ist ebenfalls deutlich sichtbar, dass in beiden Gebäuden in den kalten Monaten ein Mindestluftwechsel von etwa konstant $0,4...0,5 \text{ h}^{-1}$ für den Nutzer akzeptabel ist.

5.13.4. Parametervariation

Tabelle 5.56 gibt eine Übersicht über die mögliche Schwankungsbreite des Luftwechsels, wenn bestimmte Parameter in der Bilanz verändert werden. Es handelt sich um eine Parameterstudie für das Mehrfamilienhaus 1, die mit dem ΔQ -Verfahren für die Jahresbilanz durchgeführt wird. Es werden die gemessenen Verbrauchsdaten als Grundlage für die Berechnung herangezogen.

Luftwechsel, in h^{-1}	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Raumtemperatur					
ϑ_i , in $^{\circ}C$	18	19	20	21	22
n, in $[h^{-1}]$	0,83	0,71	0,60	0,50	0,42
Wärmeabgabe von Personen - Aufenthaltsdauer					
Zeit je Tag, in [h/d]	9	12	15	18	21
n, in $[h^{-1}]$	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64
Wärmeabgabe von Personen - Leistung					
Leistung, in [W/Person]	60	70	80	90	100
n, in $[h^{-1}]$	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62
Nutzbarkeit des Haushaltsstromes bzw. Stromverbrauch					
Nutzbarkeit, in [-]	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
n, in $[h^{-1}]$	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64
Genauigkeit der Heizkostenverteiler					
Anzeigeabweichung,	- 10 %	-5 %	0 %	+5 %	+10 %
n, in $[h^{-1}]$	0,66	0,63	0,60	0,57	0,54

Tabelle 5.56 Luftwechselbereiche für ΔQ -Verfahren - Parametervariation

Tabelle 5.57 gibt eine Übersicht über die mögliche Schwankungsbreite innerhalb einer Parameterstudie für das Mehrfamilienhaus 2, die mit dem Gesamtbilanzverfahren für die Jahresbilanz durchgeführt wird. Es werden die gemessenen Verbrauchsdaten als Grundlage für die Berechnung herangezogen. Die Bereiche für den Luftwechsel ergeben sich, wenn angenommen wird, dass neben dem Luftwechsel, der sich aus der Bilanz ergibt, über einen zusätzlichen Luftwechsel die "nicht nutzbaren" Gewinne abgelüftet werden.

Luftwechsel, in h^{-1}	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Raumtemperatur					
ϑ_i , in $^{\circ}C$	18	19	20	21	22
n, in $[h^{-1}]$	0,78...0,92	0,65...0,78	0,54...0,66	0,45...0,56	0,36...0,46
Wärmeabgabe von Personen - Aufenthaltsdauer					
Zeit je Tag, in [h/d]	9	12	15	18	21
n, in $[h^{-1}]$	0,51...0,61	0,52...0,64	0,54...0,66	0,56...0,68	0,58...0,71
Wärmeabgabe von Personen - Leistung					
Leistung, in [W/Person]	60	70	80	90	100
n, in $[h^{-1}]$	0,52...0,63	0,53...0,65	0,54...0,66	0,55...0,69	0,56...0,69
Nutzbarkeit des Haushaltsstromes bzw. Stromverbrauch					
Nutzbarkeit, in [-]	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
n, in $[h^{-1}]$	0,50...0,61	0,52...0,64	0,54...0,66	0,56...0,69	0,58...0,71
Genauigkeit der Heizkostenverteiler					
Anzeigeabweichung,	- 10 %	-5 %	0 %	+5 %	+10 %
n, in $[h^{-1}]$	0,63...0,74	0,58...0,70	0,54...0,66	0,50...0,62	0,46...0,58

Tabelle 5.57 Luftwechselbereiche für Gesamtbilanzverfahren - Parametervariation

Die Parametervariationen zeigen, dass der Luftwechsel von verschiedenen Größen abhängt. Der Einfluss der Innentemperatur ist am größten. Die Anzeigegenauigkeit der Heizkostenverteiler in den Wohnungen hat ebenfalls einen nicht unerheblichen Einfluss. Der Luftwechsel schwankt um etwa $\pm 10\%$ um seinen Mittelwert, wenn die Anzeige des Heizkostenverteilers sich ebenfalls in diesem Bereich bewegt.

Für beide Bilanzverfahren, die Gesamtbilanz und das ΔQ -Verfahren ergeben sich vergleichbare Aussagen.

5.14. Aussagen zum Einsparpotential ΔQ

Die mit dem ΔQ -Verfahren für ein Jahr ermittelten realen Transmissions- und Lüftungswärmeverluste für das bereinigte Standardjahr werden zur Bestimmung der Größe ΔQ herangezogen. Es wird ein Einsparpotential bezogen auf einen idealen (minimalen) Luftwechsel und eine ideale (minimale) Innentemperatur - berechnet. Die minimalen Werte sind frei wählbar.

Das Ergebnis ΔQ wird der Anschaulichkeit halber auch auf die Energiebezugsfläche A_{EB} bezogen angegeben und zusätzlich in einen äquivalenten U-Wert umgerechnet. Dieser berechnet sich aus dem Einsparpotential bezogen auf die Hüllfläche und bereinigt mit der Gradtagszahl.

Ergebnisse für diese Betrachtung zeigt Tabelle 5.58. Die Ergebnisse gelten für die jahresweisen bereinigten Messwerte. Eine vorhandene oder mögliche Teilbeheizung der Räume wird nicht berücksichtigt.

"ideale Zustände"	Einsparpotential in der jahresweisen ΔQ -Bilanz	MFH 1	MFH 2	MFH 3	EFH
20°C und 0,3 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/a]	30293	108315	30864	7717
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	21,3	25,6	33,4	48,2
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,17	0,24	0,24	0,20
20°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/a]	20560	77590	24248	6527
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	14,5	18,4	26,2	40,8
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,11	0,17	0,19	0,17
20°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/a]	9746	46864	17631	5230
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	5,8	9,5	19,1	32,7
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,05	0,10	0,13	0,13
21°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/a]	11542	52665	18942	4947
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	8,1	12,5	20,5	30,9
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,06	0,11	0,14	0,12
21°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/a]	30	19956	11898	3560
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	0,02	4,7	12,9	22,3
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,04	0,09	0,08
18,2°C und 0,6 h ⁻¹ (EnEV)	ΔQ , in [kWh/a]	18633	68139	23334	7099
	Δq , in [kWh/(m ² a)]	13,1	16,1	25,3	44,4
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,12	0,17	0,21	0,21

Tabelle 5.58 Jahresweises Einsparpotential ΔQ

Der "ideale" Zustand mit etwa 0,4...0,5 h⁻¹ Luftwechsel und einer Raumtemperatur von etwa 20°C werden von den Autoren nach Auswertung der monatlichen Messdaten als realistisch angesehen. Diese Paarungen stellen sich in der kalten Jahreszeit mit hoher Wahrscheinlichkeit in den Gebäuden ein (vgl. Kapitel 5.13.3).

Das Einsparpotential der Gebäude bewegt sich - bei Annahme dieser realistischen, für den Nutzer akzeptablen Innentemperaturen und Luftwechsel für die untersuchten Mehrfamilienwohngebäude zwischen 15...25 kWh/(m²a).

Wird das Einsparpotential in einem äquivalenten U-Wert ausgedrückt, so ergeben sich für die untersuchten Mehrfamilienwohngebäude Werte von etwa 0,10...0,15 W/(m²K) bei realistischen Randbedingungen für die Nutzer. Zur Erklärung dieses Einsparpotentials: die Qualitätssicherung der Nutzung und Anlagentechnik hat einen Einfluss auf die Energiebilanz der untersuchten Gebäude die genauso groß sein kann wie die Veränderung des mittleren U-Wertes um 0,10...0,15 W/(m²K).

Die geschilderten Zusammenhänge zeigen Bild 5.4 bzw. Bild 5.5.

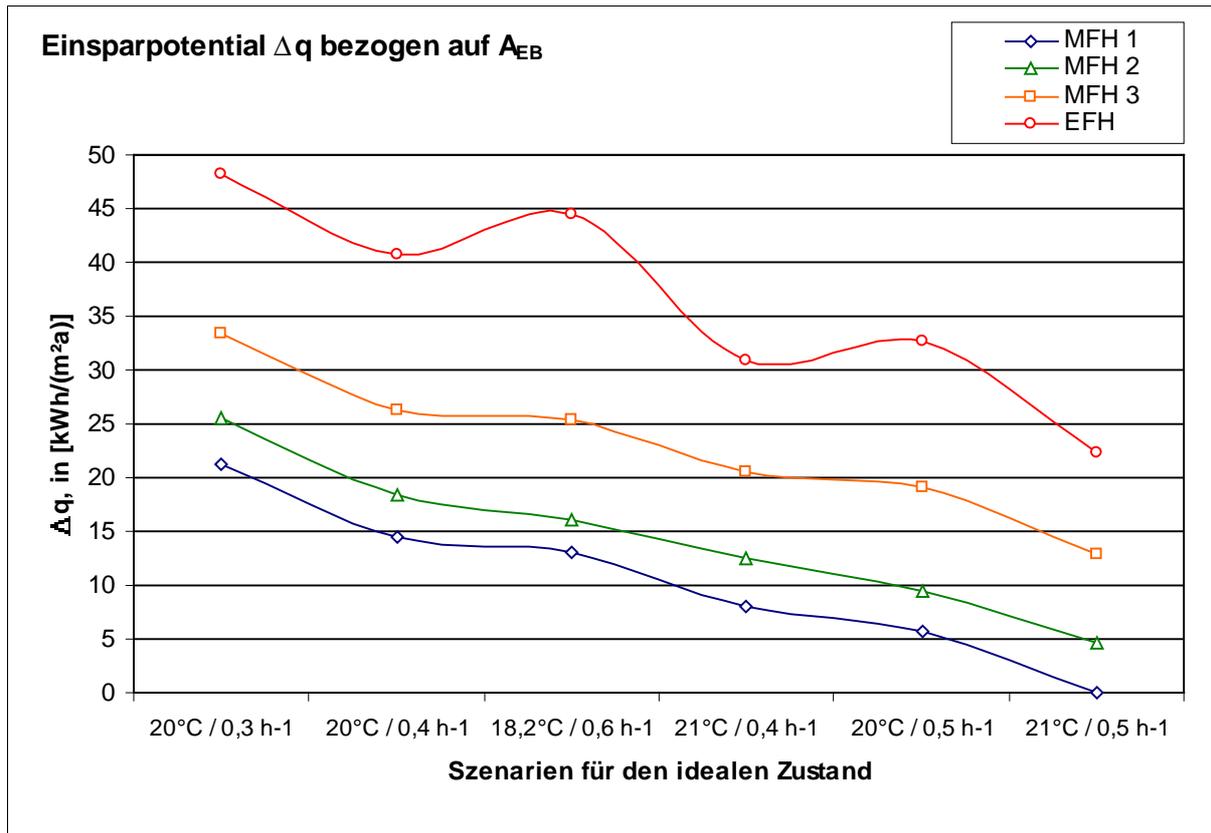


Bild 5.4 Jahresweises Einsparpotential Δq für die Gebäude

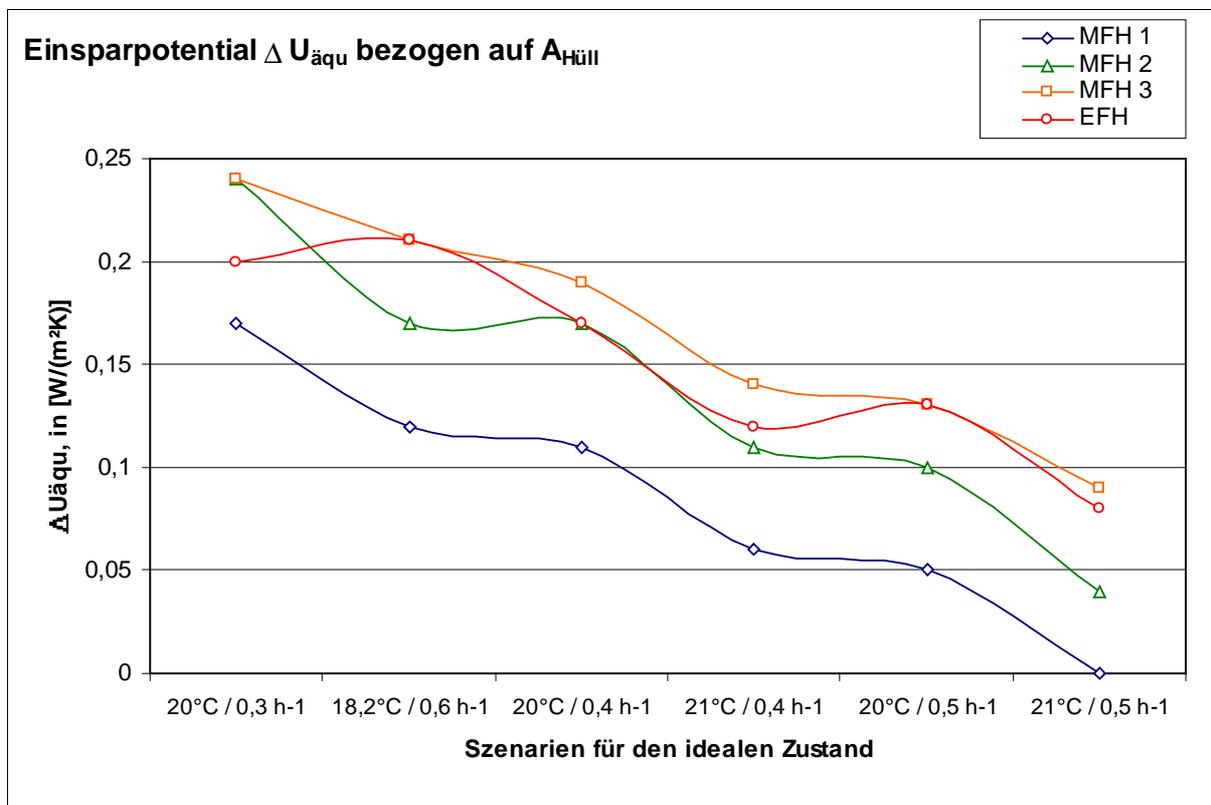


Bild 5.5 Einsparpotential $\Delta U_{\text{äqu}}$ für die Gebäude

Das monatsweise Einsparpotential kann aus Monatsdaten ermittelt werden. Die Ergebnisse für die Mehrfamilienhäuser 1 und 3, die mit dem monatsweisen ΔQ -Verfahren bestimmt sind, zeigt Tabelle 5.59 bzw. Tabelle 5.60. Die Werte beruhen auf den unbereinigten Messdaten.

"ideale Zustände"	Einsparpotential in der monatsweisen ΔQ -Bilanz	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan
20°C und 0,3 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	793,59	2785,76	2272,32	1124,53	3617,81	811,38
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,56	1,96	1,60	0,79	2,55	0,57
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	1,06	0,43	0,39	0,09	0,21	0,05
20°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	786,32	2225,59	1838,58	0,00	1902,51	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,55	1,57	1,29	0,00	1,34	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	1,05	0,34	0,31	0,00	0,11	0,00
20°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	779,06	1665,42	1404,83	0,00	187,22	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,55	1,17	0,99	0,00	0,13	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	1,04	0,26	0,24	0,00	0,01	0,00
21°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	682,80	1344,22	1058,91	0,00	851,65	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,48	0,95	0,75	0,00	0,60	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,41	0,18	0,16	0,00	0,05	0,00
21°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	666,84	708,69	558,50	0,00	0,00	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,47	0,50	0,39	0,00	0,00	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,40	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00
18,2°C und 0,6 h ⁻¹ (EnEV)	ΔQ , in [kWh/mon]	989,44	2963,00	2614,48	0,00	686,94	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,70	2,09	1,84	0,00	0,48	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	-1,14	0,60	0,62	0,00	0,04	0,00

"ideale Zustände"	Einsparpotential in der monatsweisen ΔQ -Bilanz	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
20°C und 0,3 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	976,84	1241,18	2047,25	2762,63	3065,13	281,14
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,69	0,87	1,44	1,94	2,16	0,20
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,09	0,10	0,20	0,52	0,60	0,33
20°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	1039,75	2489,91	2744,26	278,36
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	0,73	1,75	1,93	0,20
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,10	0,47	0,54	0,32
20°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	32,26	2217,20	2423,38	275,58
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	0,02	1,56	1,71	0,19
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,00	0,42	0,48	0,32
21°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	22,79	1921,09	2024,36	244,26
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	0,02	1,35	1,42	0,17
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,00	0,31	0,34	0,14
21°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	0,00	1602,00	1648,41	238,58
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	0,00	1,13	1,16	0,17
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,00	0,26	0,28	0,14
18,2°C und 0,6 h ⁻¹ (EnEV)	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	1168,32	3181,38	3596,58	344,62
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	0,82	2,24	2,53	0,24
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,14	0,87	1,03	-0,46

Tabelle 5.59 Monatliches Einsparpotential ΔQ für das Mehrfamilienhaus 1

"ideale Zustände"	Einsparpotential in der monatsweisen ΔQ -Bilanz	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan
20°C und 0,3 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	640,62	2297,00	2283,80	723,03	1110,74	1448,83
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,69	2,49	2,47	0,78	1,20	1,57
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,68	0,28	0,31	0,05	0,05	0,08
20°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	635,87	1931,29	2000,62	0,00	0,00	468,43
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,69	2,09	2,17	0,00	0,00	0,51
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,68	0,24	0,27	0,00	0,00	0,02
20°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	631	1566	1717	0	0	0
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,68	1,69	1,86	0,00	0,00	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,67	0,19	0,23	0,00	0,00	0,00
21°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	563,04	1300,04	1442,21	0,00	0,00	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,61	1,41	1,56	0,00	0,00	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,27	0,14	0,17	0,00	0,00	0,00
21°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	552,62	885,12	1115,51	0,00	0,00	0,00
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,60	0,96	1,21	0,00	0,00	0,00
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,27	0,10	0,13	0,00	0,00	0,00
18,2°C und 0,6 h ⁻¹ (EnEV)	ΔQ , in [kWh/mon]	779,58	2513,21	2596,08	0,00	0,00	73,55
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,84	2,72	2,81	0,00	0,00	0,08
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	-0,72	0,41	0,49	0,00	0,00	0,00

"ideale Zustände"	Einsparpotential in der monatsweisen ΔQ -Bilanz	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul
20°C und 0,3 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	1593,69	2075,91	3179,18	2472,55	3025,80	230,39
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	1,72	2,25	3,44	2,68	3,27	0,25
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,11	0,13	0,25	0,37	0,48	0,21
20°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	858,53	1247,27	2521,41	2294,51	2816,31	228,58
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,93	1,35	2,73	2,48	3,05	0,25
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,06	0,08	0,20	0,35	0,44	0,21
20°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	123	419	1864	2116	2607	227
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,13	0,45	2,02	2,29	2,82	0,25
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,01	0,03	0,15	0,32	0,41	0,21
21°C und 0,4 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	178,73	494,63	1793,05	1906,05	2355,01	204,18
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,19	0,54	1,94	2,06	2,55	0,22
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,01	0,03	0,13	0,25	0,32	0,09
21°C und 0,5 h ⁻¹	ΔQ , in [kWh/mon]	0,00	0,00	1078,52	1697,72	2109,57	200,47
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,00	0,00	1,17	1,84	2,28	0,22
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,00	0,00	0,08	0,22	0,28	0,09
18,2°C und 0,6 h ⁻¹ (EnEV)	ΔQ , in [kWh/mon]	802,60	1155,92	2721,30	2746,63	3357,09	275,69
	Δq , in [kWh/(m ² mon)]	0,87	1,25	2,95	2,97	3,63	0,30
	$\Delta U_{\text{äqu}}$, in [W/(m ² K)]	0,07	0,08	0,26	0,60	0,77	-0,29

 Tabelle 5.60 Monatliches Einsparpotential ΔQ für das Mehrfamilienhaus 3

In Monaten, in denen die idealen Daten bereits unterschritten werden, wird das Einsparpotential zu null gesetzt. Es wird nur die Heizzeit betrachtet, die in der ersten Septemberhälfte beginnt und in der ersten Junihälfte endet.

Bild 5.6 bzw. Bild 5.7 zeigen die Ergebnisse graphisch.

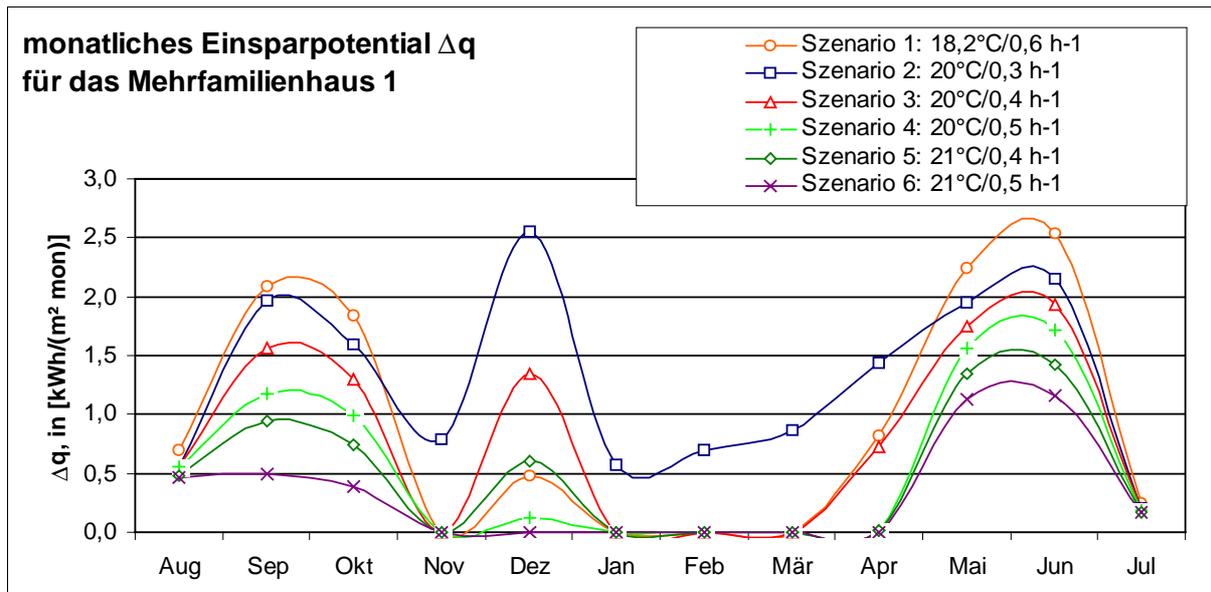


Bild 5.6 Monatliches Einsparpotential Δq für das MFH 1

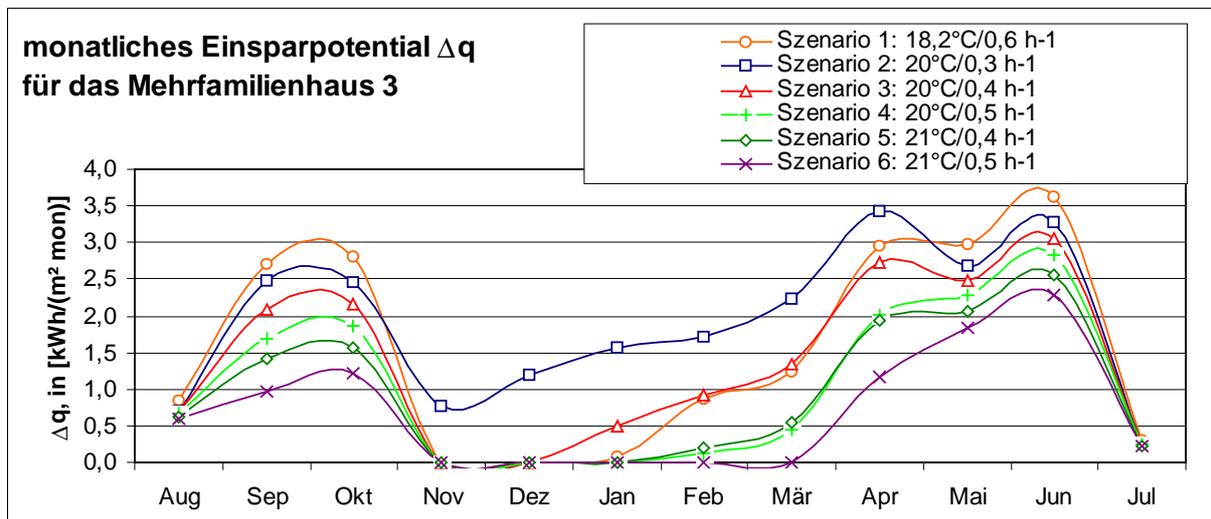


Bild 5.7 Monatliches Einsparpotential Δq für das MFH 3

Für das MFH 1 liegt ein großes Einsparpotential in den Monaten der Übergangsjahreszeit, d.h. im September / Oktober und im Mai / Juni. Die Heizung ist in diesen Monaten bereits in Betrieb und gleicht die durch den Nutzer verursachten Wärmeverluste aus. Das Wärmeabgabepotential der Heizflächen ist offensichtlich zu hoch. Das Einsparpotential im Dezember lässt sich durch den dort zu verzeichnenden erhöhten Verbrauch (während der Weihnachtsfeiertage) erklären. Das deutet ebenfalls darauf hin, dass die Nutzerstruktur in dieser Zeit sehr unterschiedlich ist, verglichen mit dem Rest des Jahres. Die Bewohner dieses Gebäudes sind vermutlich in der restlichen Zeit des Jahres häufiger außer Haus. Das würde auch die vergleichsweise niedrigen Luftwechsel verglichen mit anderen Gebäuden erklären.

Für das MFH 3 sind die Einsparpotentiale insgesamt höher. Besonders im Frühjahr (April, Mai, Juni) kann in diesem Gebäude Energie eingespart werden. Die Weihnachtszeit lässt sich in den Einsparpotentialen nicht erkennen. Offensichtlich sind die Gebäude über die Zeit eines Jahres gesehen etwa gleich belegt.

5.15. Weitere Aussagen aus der Energiebilanz

5.15.1. Flächenbezogene Energiekennwerte

Tabelle 5.61 gibt einen Überblick über die mit den verschiedenen Bilanzverfahren ermittelten Energiekennwerte für die Jahresendenergie, die Endenergie der Heizung und die Endenergie für Trinkwarmwasserbereitung. Die Energien sind auf die Energiebezugsfläche (Wohnfläche) bezogen.

Werte in kWh/ (m ² a)		Bedarf:			Verbrauch
		EnEV/DIN V 4701-10	Energiepass	Gesamtbilanz	
q	MFH 1	85,2	105,7	106,6	91,2
	MFH 2	86,6	118,5	116,2	116,0
	MFH 3	84,9	116,6	115,9	110,1
	EFH	120,9	149,2	162,3	160,6
q _{TW}	MFH 1	27,3	34,7	37,3	29,2
	MFH 2	25,5	28,0	28,6	31,3
	MFH 3	28,1	38,5	40,9	36,5
	EFH	34,0	28,8	31,3	22,4
q _H	MFH 1	57,9	70,9	69,3	62,0
	MFH 2	61,1	90,5	87,6	84,7
	MFH 3	56,8	78,8	75,0	73,5
	EFH	86,9	120,5	131,0	138,2

Tabelle 5.61 Ergebnisse der Energiebilanz - flächenbezogene Energiekennwerte

Es handelt sich bei den untersuchten Gebäuden um Niedrigenergiehäuser mit spezifischen auf die Wohnfläche bezogenen Energieverbräuchen von etwa 90...160 kWh/(m²a). Die Energiemenge für Trinkwarmwasserbereitung beträgt etwa 23...37 kWh/(m²a), die Energiemenge für Heizung 62...138 kWh/(m²a). Diese Verbrauchsdaten werden mit den Verfahren unterschiedlich gut vorhergesagt (siehe Kapitel 5.15.2).

Der hohe Energieverbrauch des Einfamilienhauses lässt sich teilweise durch den schlechten Kompaktheitsgrad, teilweise durch die ggf. noch wirkende Bauaustrocknung erklären. Der niedrige Energieverbrauch für Trinkwarmwasserbereitung durch die geringe Personenbelegung.

Die Mehrfamilienwohngebäude weisen einen recht einheitlichen Endenergieverbrauch von 90...120 kWh/(m²a) auf. Auf die Heizung entfällt dabei eine Energiemenge von ca. 63...85 kWh/(m²a).

5.15.2. Abweichungen der Jahresbilanzverfahren

Tabelle 5.62 zeigt die Ergebnisse der Bilanzverfahren für die einzelnen Gebäude und die Abweichung der Bedarfsrechnungen von der bereinigten Verbrauchsrechnung.

		Bedarf:			Verbrauch
		EnEV/DIN V 4701-10	Energiepass	Gesamtbilanz	
Q	MFH 1	93 %	116 %	117 %	100 %
	MFH 2	75 %	102 %	109 %	100 %
	MFH 3	77 %	106 %	105 %	100 %
	EFH	75 %	93 %	95 %	100 %
Q _{TW}	MFH 1	94 %	119 %	128 %	100 %
	MFH 2	81 %	89 %	104 %	100 %
	MFH 3	77 %	105 %	112 %	100 %
	EFH	152 %	129 %	140 %	100 %
Q _H	MFH 1	93 %	114 %	112 %	100 %
	MFH 2	72 %	107 %	111 %	100 %
	MFH 3	77 %	106 %	102 %	100 %
	EFH	63 %	87 %	88 %	100 %

Tabelle 5.62 Ergebnisse der Energiebilanz - Abweichung der Jahresbilanzverfahren

Die Bedarfsrechnungen mit der EnEV und der DIN V 4701-10 liegen tendenziell etwa 20...25 % unter den Verbrauchswerten, die Bedarfsrechnungen mit dem Energiepass und dem Gesamtbilanzverfahren dagegen etwa 5...10 % über dem Verbrauchswert.

Die Prognose für den Endenergieverbrauch der Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mit allen Bedarfsrechnungen recht genau, lediglich für das EFH liegt der Wert weit daneben. Dies ist auf die geringe Belegungszahl in diesem Gebäude zurückzuführen.

5.15.3. Anteile der Endenergien für Heizung und Trinkwarmwasser

Tabelle 5.63 gibt einen Überblick darüber, in welchen Anteilen die Endenergie der Gebäude zur Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung verwendet wird. Es werden die Ansätze der Bedarfsbilanzen und der Verbrauchsbilanzen für alle Gebäude verglichen.

		Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch
Q _{TW}	MFH 1	32 %	33 %	34 %	32 %
	MFH 2	29 %	24 %	25 %	27 %
	MFH 3	33 %	33 %	35 %	33 %
	EFH	28 %	19 %	20 %	14 %
Q _H	MFH 1	68 %	67 %	66 %	68 %
	MFH 2	71 %	76 %	75 %	73 %
	MFH 3	67 %	67 %	65 %	67 %
	EFH	72 %	81 %	80 %	86 %

Tabelle 5.63 Anteile Energie für Heizung und Trinkwarmwasser

Die Anteile der verbrauchten Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung im NEH-Mehrfamilienhaus liegen bei etwa 1/4 bis 1/3 für die Trinkwarmwasserbereitung und 2/3 bis 3/4 für die Heizung. Diese Aufteilung wird auch durch die Bedarfsrechnungen abgebildet.

Für das EFH verschiebt sich das Verhältnis aufgrund des sehr geringen Verbrauches der Trinkwarmwasserbereitung und des schlechten Kompaktheitsgrades.

5.15.4. Anteile Nutz- und Verlustenergien

Tabelle 5.64 gibt die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Ergebnisse für die Anteile für "Nutzenergie" und "Verlustenergien" an der Gesamtenergie wieder. Unter Nutzenergie ist der geregelt über die Heizflächen abgegebene Anteil der Wärme (bzw. ein durch das jeweilige Verfahren definierter Nutzen der Heizung) und der Nutzen der Trinkwarmwasserbereitung zu verstehen.

		Bedarf: EnEV/DIN V 4701-10	Bedarf: Energiepass	Bedarf: Gesamtbilanz	Verbrauch: Gesamtbilanz jährlich	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jährlich
Nutzen	MFH 1	77 %	80 %	69 %	62 %	63 %
	MFH 2	83 %	84 %	66 %	67 %	67 %
	MFH 3	76 %	77 %	66 %	66 %	66 %
	EFH	82 %	91 %	80 %	81 %	81 %
Verluste	MFH 1	23 %	20 %	31 %	38 %	37 %
	MFH 2	17 %	16 %	34 %	33 %	33 %
	MFH 3	24 %	23 %	34 %	34 %	34 %
	EFH	18 %	9 %	20 %	19 %	19 %

Tabelle 5.64 Anteile Energie für Nutzen und Verluste im Gebäude

Für die Mehrfamiliengebäude liegt der Anteil der Nutzenergien, d.h. der Energiemengen, die messtechnisch erfasst werden können bei etwa 2/3 der Gesamtenergiemenge. Das restliche 1/3 wird - nicht messbar - über das Verteilsystem und den Wärmeerzeuger abgegeben.

5.15.5. Anteile der geregelten und unregulierten Wärmeabgabe im beheizten Bereich

Tabelle 5.65 gibt die in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Ergebnisse für den Anteil der geregelten Wärmeabgabe an der Deckung der Verluste des beheizten Bereiches für die verschiedenen Gebäuden wieder. Geregelte Abgabe bedeutet Wärmeabgabe über Heizkörper, die gemessen werden kann.

		Bedarf:	Bedarf:	Bedarf:	Verbrauch:	Verbrauch:
		EnEV/DIN V 4701-10	Energiepass	Gesamtbilanz	Gesamtbilanz jährlich	ΔQ -Verfahren jährlich
Anteil geregelte Wärmeabgabe	MFH 1	60 %	72 %	64 %	55 %	48 %
	MFH 2	62 %	78 %	59 %	59 %	55 %
	MFH 3	54 %	72 %	60 %	56 %	50 %
	EFH	61 %	76 %	69 %	67 %	60 %
Anteil unregulerte Wärmeabgabe	MFH 1	40 %	28 %	36 %	45 %	52 %
	MFH 2	38 %	22 %	41 %	41 %	45 %
	MFH 3	46 %	28 %	40 %	44 %	50 %
	EFH	39 %	24 %	31 %	33 %	40 %

Tabelle 5.65 Anteile Energie für geregelte und unregulerte Wärmeabgabe im Raum

Der Anteil der geregelten Wärmeabgabe in der beheizten Zone des Gebäudes (über die Heizkörper) liegt bei etwa 60%. Die restlichen 40 % der Energie, die zur Deckung der Verluste beitragen, entstammen anderen Wärmequellen.

5.15.6. Abweichungen der Ergebnisse für Jahres- und Monatsbilanzverfahren

Für die sowohl monats-, als auch jahresweise untersuchten Gebäude ergeben sich die in Tabelle 5.66 gezeigten Kennwerte.

Werte in kWh/a		Verbrauch: Gesamtbilanz jahresweise	Verbrauch: Gesamtbilanz monatsweise	Verbrauch: ΔQ -Verfahren jahresweise	Verbrauch: ΔQ -Verfahren monatsweise
Q	MFH 1	129631	129565	125976	116264
	MFH 3	101717	101705	102027	119650
Q _{TW}	MFH 1	42115	41448	43011	43618
	MFH 3	33761	33761	33761	34606
Q _H	MFH 1	87517	88116	82965	75647
	MFH 3	67956	67944	68266	85045

Tabelle 5.66 Kennwerte für Jahres- und Monatsbilanzen

Die Vergleichbarkeit einer Jahres- mit einer Monatsbilanz ist nicht immer gegeben. Das liegt vor allem an der nötigen Abgrenzung der Heizzeit von der Nicht-Heizzeit in einem Monatsbilanzverfahren. Monatsbilanzen sind sinnvoll, wenn Einsparpotentiale aufgedeckt werden sollen, die nur monatlich sichtbar werden. Zu Vergleichbarkeit von realen Verbräuchen mit Bedarfsrechnungen sind die üblichen Jahresbilanzen hinreichend genau.

6. Übertragbarkeit auf andere Objekte und Projekte

Dieses Kapitel schafft einen Bezug der konkreten Messergebnisse zu anderen Objekten. Es soll nachgewiesen werden, dass die Erkenntnisse der Studie typisch bzw. allgemeingültig für den Gebäude-neubau und auch übertragbar auf den modernisierten Gebäudebestand sind. Die Untersuchungsergebnisse werden dazu mit denen anderer Projekte verglichen und es wird eine Typologisierung des heutigen Gebäude- und Anlagenbestandes vorgenommen.

6.1. Validierung der Ergebnisse

Das Forschungsvorhaben ist bewusst so angelegt, dass zunächst anhand weniger, aber detailliert untersuchter Gebäude Erkenntnisse über die mögliche Verminderung des Transmissions- und Lüftungswärmebedarfes gewonnen werden.

Diese Ergebnisse werden allgemein übertragbar gemacht, indem parallel gezeigt wird, dass es sich bei den Gebäuden nicht um Einzelobjekte, sondern um typische Vertreter des Gebäudebestandes (in Niedrigenergiebauweise) handelt. Die gewonnenen Erkenntnisse und Kennwerte dienen der rechnerischen Übertragung bzw. Überprüfung der Übertragbarkeit auf den gesamten Gebäude- und Anlagenbestand.

Für die Validierung werden parallel zwei Wege beschritten: zum einen wird versucht, die Ergebnisse anhand einer Typologisierung auf andere Gebäude- und Anlagentechniken zu übertragen. Die heute und früher üblichen Baukörper und Anlagen werden dazu untersucht.

Der andere Weg ist der Vergleich der in der Studie gewonnenen Erkenntnisse mit denen anderer Forschungs- und Messprojekte. Verglichen werden Aussagen zum Luftwechsel, zur Rauminnentemperatur und zum Energieverbrauch allgemein.

6.2. Vergleich mit anderen Messprojekten und Studien

6.2.1. Kennwerteinordnung

Die Messergebnisse entsprechen tendenziell den für die Temperatur und den Luftwechsel in der Literatur angegebenen typischen Werte oder liegen leicht darüber. Ein **mittlerer Luftwechsel für das Jahr** von etwa **0,6...0,8 h⁻¹ im Mehrfamilienhaus** (bei ca. 20°C mittlerer Raumtemperatur) kann für die untersuchten Gebäude festgestellt werden. Dabei ist der Luftwechsel in den Übergangsjahreszeiten sehr viel höher als im Winter.

Die Einordnung der in dieser Studie ermittelten Luftwechsel in der Bandbreite des typischen Luftwechsels benötigt noch einige Erklärungen: der Ansatz, die nicht nutzbare inneren und solare Fremdwärme durch erhöhte Luftwechsel und Raumtemperaturen darzustellen, ist nicht üblich.

Tabelliert werden im Rahmen üblicher Bilanzverfahren nur die Sollwerte. Daher ist eine Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben. Allein reale Messwerte für Temperatur und Luftwechsel (Fensteröffnungszeiten), die diese Effekte berücksichtigen, können als Vergleichsbasis herangezogen werden. Da reale Luftwechsel nicht aus Fensterkontaktmessungen ermittelt werden können [Heidenheim], stellen sie in einer Verbrauchsdatenbilanz immer "die letzte Unbekannte" dar, die nach Kenntnis aller anderen Größen abgeleitet wird. In einer solchen indirekten Bilanz spielt beispielsweise die Ermittlung innerer und solarer Fremdwärme eine große Rolle, die in der Praxis oft nur anhand der Personenbelegung und des Stromverbrauchs erfolgt - ohne die Verluste der Anlagentechnik. Unter diesen unterschiedlichen Randbedingungen, sind Mess- bzw. Rechenergebnisse für den Luftwechsel nicht immer miteinander vergleichbar.

Uneingeschränkt vergleichbar sind jedoch Kennwerte für den Endenergieverbrauch eines Gebäudes. Die untersuchten Gebäude weisen für Niedrigenergiegebäude leicht überhöhte Gesamtenergiekennwerte für Niedrigenergiegebäude auf (vergleiche auch Kapitel 3.2.3). Dies kann unter anderem mit der Qualitätssicherung der Gebäude begründet werden. Die untersuchten Gebäude sind nicht extra für ein Messprojekt gebaut oder modernisiert worden, d.h. sie haben keine durchgehende Qualitätssicherung erfahren. Sie entsprechen dem üblichen Baustandard in Deutschland.

6.2.2. Andere Messprojekte und Literaturquellen

Duderstadt [Duderstadt99]

Die in Duderstadt untersuchten Wohnungen in drei Gebäuden (MFH) mit und ohne Lüftungsanlagen weisen mittlere Innentemperaturen zwischen 18...22°C auf. Der über Wärmemengenzähler erfasste Wärmeverbrauch in den Wohnungen beträgt im Mittel etwa 75...85 kWh/(m²a), wobei die Wohnungen mit hohen Werten für Fensteröffnungszeiten auch einen hohen Wärmeverbrauch aufweisen. Die Anlagentechnik hat in einem der Gebäude eine Qualitätssicherung erfahren.

Das Projekt Duderstadt ist ein von der ersten Stunde an messtechnisch begleitetes Projekt. Die Kennwerte der in diesem Forschungsvorhaben untersuchten Gebäude sind mit denen in Duderstadt vergleichbar.

Projekt Heidenheim [Heidenheim]

Die Studie gibt monatliche Messwerte der Fensteröffnungszeiten und der resultierenden Luftwechsel für mehrere freistehende Zweifamiliengebäude mit und ohne Lüftungsanlage wieder. Hier ein Auszug:

Monat	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	
Ohne Lüftungsanlage										
Fensteröffnungszeit	3,0	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	1,0	3,0	h/d
Luftwechsel	0,40	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,65	0,80	h ⁻¹
Mit Lüftungsanlage										
Fensteröffnungszeit	4,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	1,0	1,2	3,0	h/d
Luftwechsel Anlage	0,20	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	h ⁻¹
Luftwechsel Nutzer	1,20	0,25	0,25	0,20	0,30	0,50	0,60	1,00	1,60	h ⁻¹
Luftwechsel	1,40	0,55	0,65	0,60	0,70	0,90	1,00	1,40	1,80	h ⁻¹

Tabelle 6.1 Luftwechsel [Energieeinsparung]

Aus den Untersuchungen wird für Anlagen mit Lüftungsanlage ein mittlerer Luftwechsel von 0,9 h⁻¹ (Bandbreite 0,6...1,1 h⁻¹) in der Heizperiode ermittelt, davon beträgt der Anteil der Lüftungsanlage etwa 0,3 h⁻¹. Bei Gebäuden ohne Lüftungsanlage liegt der Luftwechsel bei etwa 0,4 h⁻¹ (Bandbreite 0,3...0,7 h⁻¹). Über die Aussagen der Qualitätssicherung der Gebäude sind keine Aussagen getroffen. Die korrespondierenden inneren Gewinne liegen bei den untersuchten Gebäuden bei etwa 22 kWh/(m²a). Die Heizwärmebedarf liegt bei 41...106 kWh/(m²a) mit einem Mittelwert von ca. 65 kWh/(m²a).

Das Projekt Heidenheim ist ein messtechnisch und planerisch begleitetes Projekt.

Die erhöhten Luftwechsel in den Übergangsjahreszeiten können auch in dieser Studie festgestellt werden. Die Energieverbräuche sind dennoch – vor allem wegen des guten baulichen Standards – sehr niedrig.

Projekt Diestelweg [Diestelweg]

Die Messwerte des Projektes Diestelweg geben Aufschluss über die mittlere Innentemperatur für 41 Niedrigenergie- und Passivhäuser in Reihenhausbauweise. Der Mittelwert der Temperaturen beträgt 20°C mit einer Streubreite zwischen 18...22°C. Über das Jahr verändern sich die Temperaturwerte zwischen 19°C im Winter und knapp 26°C im Sommer.

Der Wärmeverbrauch für Raumheizung beträgt etwa 66...72 kWh/(m²a). Monatliche Abweichungen von der Kurve des Temperaturverlaufs gibt es kaum, die Verbrauchskurve orientiert sich an den Wetterdaten. Der berechnete Heizwärmebedarf nach LEG wird nahezu in allen Monaten erreicht. Dieser Wert ist mit einem mittleren Luftwechsel von 0,5 h⁻¹ berechnet, ohne Berücksichtigung des zusätzlichen Ablüftens von Fremdwärme.

Der mittlere Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung liegt bei etwa 100 kWh/(m²a).

Das Projekt Diestelweg ist ein von der ersten Stunde an messtechnisch begleitetes Projekt. Die Gebäude weisen kein übermäßiges Verschwendungspotential in den Übergangsmonaten auf, was auf eine qualitätsgesicherte Ausführung der Anlagentechnik und Einweisung der Nutzer schließen lässt.

Verbrauchswerte nach Heizspiegel [Heizspiegel]

Die Vergleich mit typischen Verbrauchsdaten zeigt, dass die Einordnung der untersuchten Gebäude als Niedrigenergiegebäude gerechtfertigt ist. Typische Verbrauchsdaten für unterschiedliche Wohngebäude können Gebäudetypologien oder Heizspiegeln entnommen werden. Der Berliner Heizspiegel [Heizspiegel] deklariert beispielsweise für einen Neubau, der nach 1995 erbaut wurde einen typischen Endenergieverbrauch für Heizung von 50...100 kWh/m²a bezogen auf den beheizten Quadratmeter Wohnfläche.

Der Vergleich von Verbrauchswerten mit Hilfe der jährlich herausgegebenen Kennwerte der Firma Techem [Techem] ist schwieriger, da in dieser Datenquelle nicht nach dem Baustandard des Gebäudes unterschieden wird.

Die Kennwerte der untersuchten Gebäude liegen über den in Heizspiegeln angegebenen Kennwerten für den Endenergieverbrauch typischer Niedrigenergiehäuser. Der Verbrauch von etwa 90...120kWh/(m²a) kann aber durch Qualitätssicherung um etwa 15...25 kWh/(m²a) vermindert werden.

Techem-Studie [MengazziDA]

In einer sehr breit angelegten Studie über Bestandsgebäude, die bautechnisch auf Niedrigenergiestandard saniert sind, zeigt sich die Übertragbarkeit der Aussagen dieser Studie sehr eindrucksvoll. An dieser Stelle soll nur ein Ausschnitt der Ergebnisse präsentiert werden. Es handelt sich um einen Vergleich des Gesamtenergieverbrauches für Heizung- und Warmwasser, des Endenergiebedarfes Heizung und des Anteiles, der über die Heizflächen in die beheizte Zone eingebracht wurde.

Verglichen werden zwei Gebäudetypen - baulich auf gleichen Standard sanierte Plattenbauten - mit unterschiedlicher Anlagentechnik. Der fünfgeschossige Gebäudetyp weist eine vollsanierte Zweirohrheizung auf, der elfgeschossige Gebäudetyp eine unsanierte Einrohrheizung. Beide Gebäudetypen sind mit Fernwärme versorgt und mit vergleichbaren zentralen Systemen der Warmwasserbereitung ausgestattet.

Die unsanierte Einrohrheizung hat bedingt durch ihr Funktions- und Konstruktionsprinzip Rohrleitungen mit großen Durchmessern (ungedämmt), die ständig auf Temperatur gehalten werden. Absperrbare Rohrstrecken, in denen bei Schließen der Thermostatventile kein Heizwasser mehr fließt, gibt es praktisch nicht.

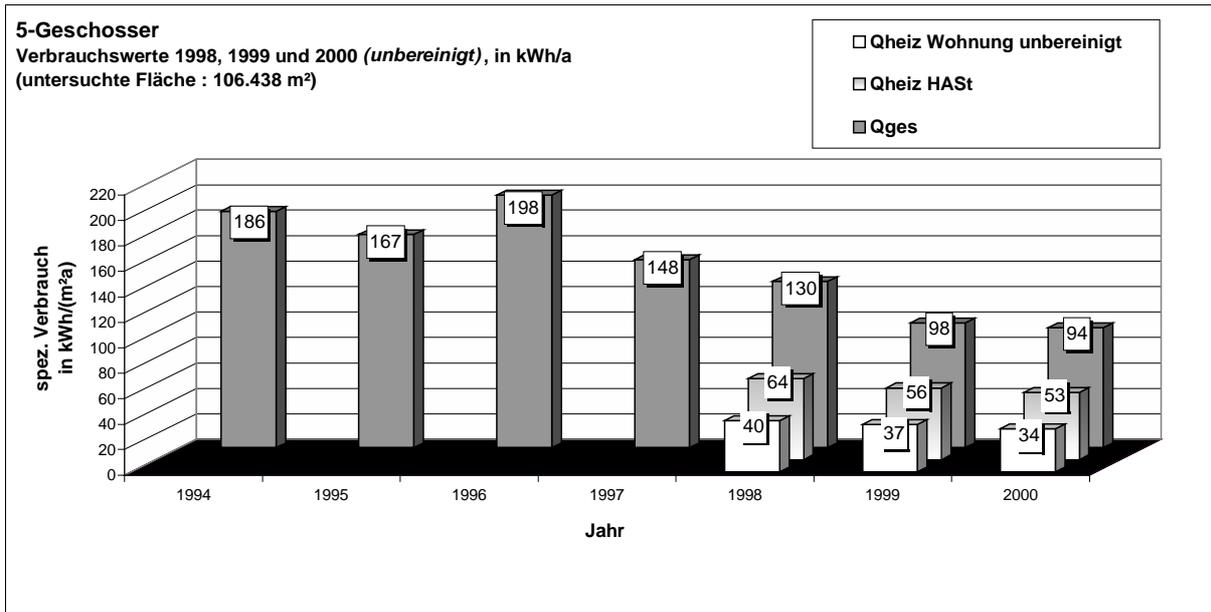


Bild 6.1 Verbrauchswerte in einem 5-geschossigen Gebäude mit Zweirohrheizung

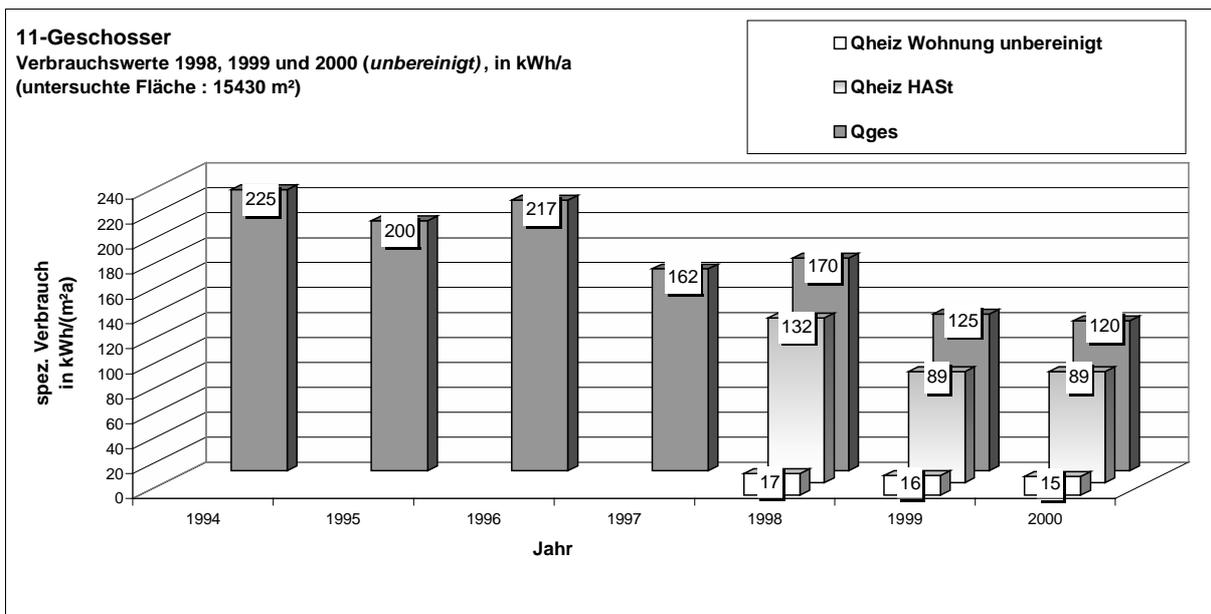


Bild 6.2 Verbrauchswerte in einem 11-geschossigen Gebäude mit Einrohrheizung

Der Vergleich der Verbrauchswerte (Bild 6.1 und Bild 6.2) zeigt, dass etwa 30...40 kWh/m²a für die Trinkwarmwasserbereitung und die Verluste der Wärmeübergabestation anfallen (Qges minus Qheiz HAST) - unabhängig vom Gebäudetyp. Der Endenergieverbrauch für Heizung ohne die Verluste der Wärmeübergabestation (Qheiz HAST) ist jedoch bedeutend höher für die Gebäude mit Einrohrheizungen, obwohl diese Gebäude insgesamt noch kompakter sind als die 5-geschossigen Gebäude mit Zweirohrheizung.

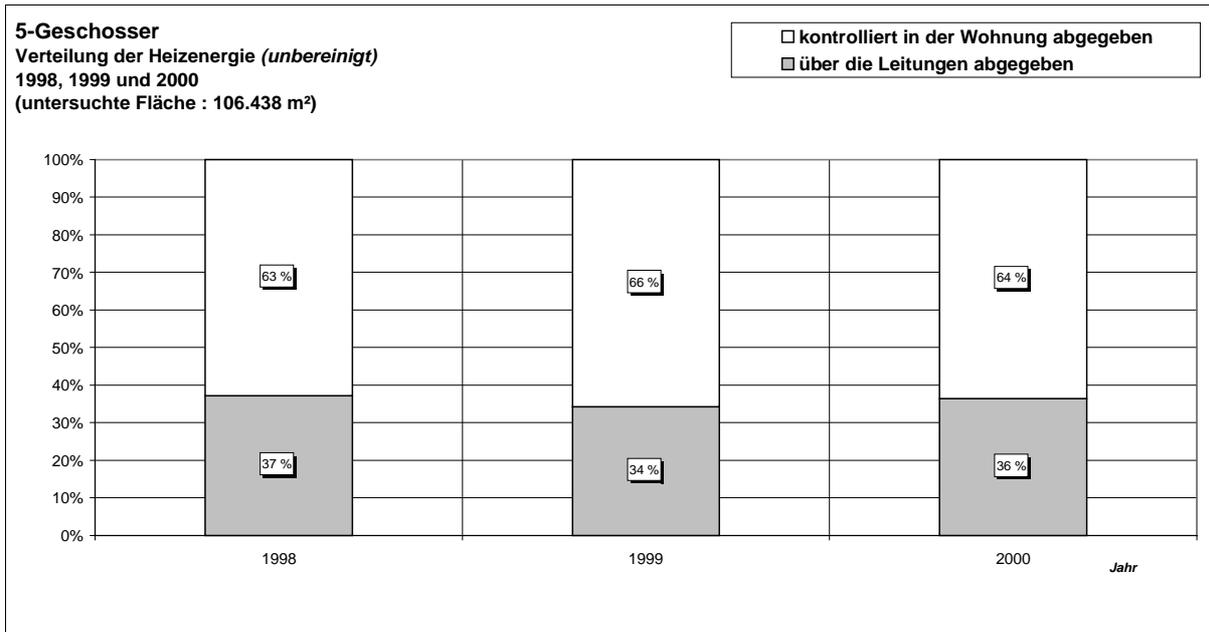


Bild 6.3 Verteilung der Heizenergie in einem 5-geschossigen Gebäude mit Zweirohrheizung

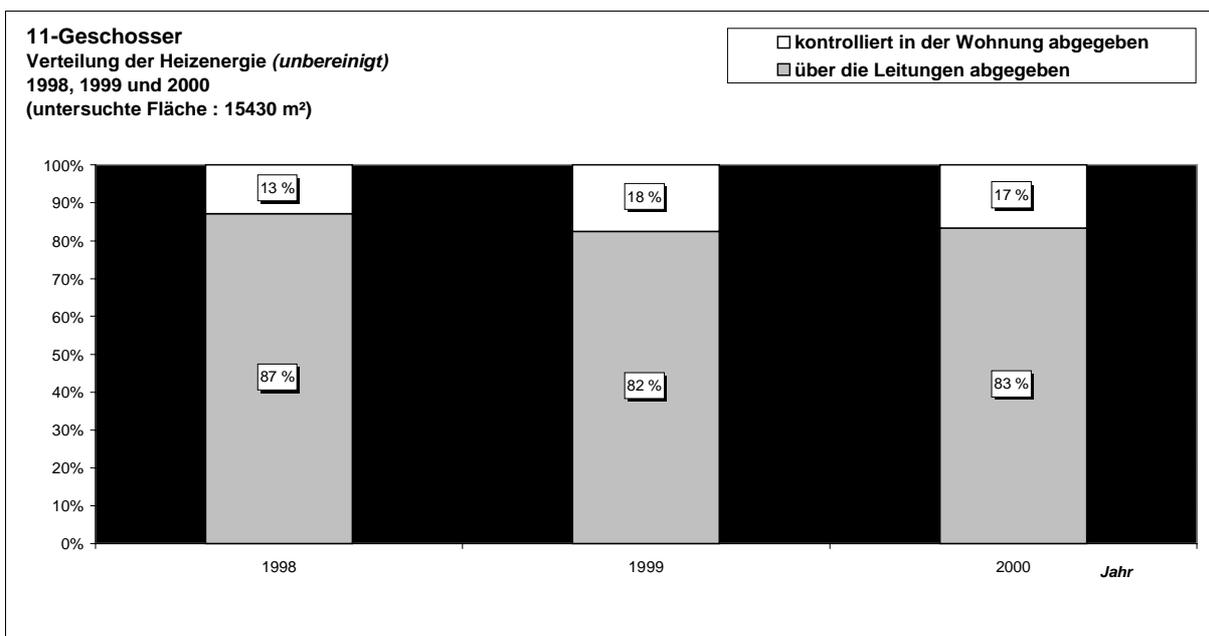


Bild 6.4 Verteilung der Heizenergie in einem 11-geschossigen Gebäude mit Einrohrheizung

Der Vergleich der über die Heizkörper in die Gebäude eingebrachten Energiemengen (Bild 6.3 und Bild 6.4) ist noch bedeutend aussagekräftiger. Während bei den 5-geschossigen Gebäuden mit Zweirohrheizung etwa 2/3 der Wärme über die Heizkörper abgegeben wird, ist es in den Gebäuden mit Einrohrheizung nur etwa 1/6.

Der Rückschluss dieser beiden Aufstellungen - in denen über 100000 m² Fläche untersucht wurden - bestätigt die Ergebnisse des Forschungsvorhabens: in Wohnungen und Gebäuden, in denen ein hoher Anteil Fremdwärme angeboten wird, ist der Verbrauch an Heizwärme höher. Das angebotene Nutzungspotential unregelmäßiger Wärmeabgabe wird durch die Bewohner (zwangsweise oder freiwillig) genutzt.

6.2.3. Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen der TU Dresden

Ergebnisse der in [Richter01] aufgezeigten Simulationsrechnungen für ein Reihenmittelhaus schwanken mit einer Reihe von Parametern (Dichtheit des Gebäudes, Art der Fensterlüftung und der Lüftungsanlagentechnik). Kernaussagen sind für bestimmte definierte Nutzerprofile:

- bei mittlerem Fensterlüftungsverhalten und vorhandener Abluftanlage liegt der Luftwechsel bei 0,70...0,78 h⁻¹ (bei niedrigem Fensterlüftungsverhalten 0,49...0,57 h⁻¹),
- bei mittlerem Fensterlüftungsverhalten und vorhandener Zu/Abluftanlage liegt der Luftwechsel bei 0,85...0,95 h⁻¹ (bei niedrigem Fensterlüftungsverhalten 0,60...0,70 h⁻¹),
- ohne Lüftungsanlage schwanken die Werte für Fensterlüftung, Querlüftung oder Schachtlüftung um Werte von 0,4...0,6 h⁻¹.

Die im Parallelprojekt an der TU Dresden nach einer umfassenden Untersuchung zu den Themen:

- Feuchtequellen und deren Einfluss auf die Lüftung,
- Schadstoffe und deren Einfluss auf die Lüftung,
- Nutzerverhalten,
- Physikalische Grundlagen der Gebäudedurchströmung,
- Möglichkeiten der bedarfsgerechten Lüftung

gefundene Aussage zur Vorhersage des Lüftungsverhaltens oder Luftwechsels lautet:

"Wegen der schmalen Datenbasis und der großen Schwankungsbreite möglicher Verhaltensweisen erweisen sich gezielte Prognosen zum Lüftungsverhalten als geradezu spekulativ und praktisch unmöglich" [Richter 01]. Dieser Aussage stimmen die Autoren dieses Berichts uneingeschränkt zu. Es gilt im Rahmen des Projektes "Bedarfslüftung im Wohnungsbau" Möglichkeiten aufzuzeigen, wie der Lüftungs- und Transmissionswärmeverlust trotzdem vermindert werden kann.

6.2.4. Fazit des Vergleichs

Der Vergleich der gefundenen Messwerte mit der Literatur erweist sich als schwierig. Folgende Gründe können dafür genannt werden.

- Gesamt- und Einzelverbrauchskennwerte für Niedrigenergiegebäude gibt es in der Regel nur von planerisch und messtechnisch begleiteten Projekten. Diese weisen nach Ansicht der Autoren allerdings - gerade im Bereich der Anlagentechnik - verglichen mit dem Durchschnitt aller Gebäude eine überdurchschnittlich hohe Qualitätssicherung und einen hohen Grad der Nutzerinformation auf. Feldprojekte sind in der Regel Demonstrationsvorhaben. Die Vergleichbarkeit mit dem Wohngebäudebestand oder sanierten Neubau ist nur bedingt gegeben.
- Untersucht werden vielfach kleine Gebäude, um den Messtechnikaufwand gering zu halten. Das typische Mehrfamilienwohnhaus nimmt - bis auf wenige Ausnahmen - nicht an Demonstrationsvorhaben teil.
- Die Angaben von Luftwechseln konkreter Objekte in der Literatur ist spärlich, weil diese Größe keine Messgröße ist. Die Werte, die angegeben sind, schwanken recht stark. Die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der in der Literatur zu findenden Luftwechsel hängt von der Art der Bilanz ab, mit der sie aus Verbrauchsdaten ermittelt wurden.

Fazit für die untersuchten Objekte und den Wohnbaubestand allgemein: die in der Praxis zu erwartenden Ergebnisse für Endenergieverbrauch sowie Raumtemperatur und Luftwechsel dürften über denen früherer und heutiger Demonstrationsvorhaben liegen.

6.3. Übertragbarkeit durch Typologisierung

Die Typologisierung der Gebäude- und Anlagentechnik gibt Aufschluss darüber, welche Art von Baukörper und Anlagentechnik in welcher Stückzahl in Deutschland anzutreffen ist. Aus dieser Untersuchung können vor allem Konsequenzen für die Modernisierung von Gebäuden hin zu einem Niedrigenergiestandard gezogen werden. Es können aber auch Aussagen darüber getroffen werden, welchen Standards die heute errichteten Gebäude und Anlagen folgen.

Im Rahmen der Felduntersuchungen dieses Projektes werden nur wenige Kombinationen von Anlagentechniken und Gebäudetypen - i.A. Typologien genannt - untersucht. Die Ergebnisse und Untersuchungen beschränken sich auf:

- ausgewählte Anlagentechniken der Heizungstechnik
- ausgewählte Anlagentechniken der Lüftungstechnik: Gebäude mit zentraler Ablufttechnik und Gebäude ohne mechanische Lüftung,
- ausgewählte Gebäudetypen: Einfamilienhaus, kleines Mehrfamilienhaus, großes Mehrfamilienhaus
- ausgewählte Altersklassen: Neubauten im Niedrigenergiehausstandard, auf Niedrigenergiehausstandard sanierte Bestandsbauten.

Eine Verallgemeinerung der Aussagen, die für ein spezielles Gebäude (Kombination einer konkreten Anlagentechnik der Heizung, einer konkreten Anlagentechnik der Lüftung, eines definierten Gebäude und Nutzungstyps und einer bestimmten Altersklasse) gelten, kann nur aufgrund von statistisch gemittelten Energiekennwerten getroffen werden.

Ein Beispiel: Wenn bereits für ein MFH von 1995 mit gedämmt verlegten Leitungen ein Wärmeüberschuss an Fremdwärme in einer Verbrauchsbilanz ermittelt wird, dem der Nutzer nur durch Ablüften entgegenwirken kann, dann verstärkt sich dieser Effekt in einem Gebäude von 1977, dann nachträglich auf das Niveau von 1995 gedämmt wurde, aber in dem die Verteilleitungen ungedämmt verlaufen. Dieser Rückschluss kann auch gezogen werden, ohne dass ein definiertes Versuchsobjekt vorliegt.

Insgesamt wird die Untersuchungsvielfalt also eine exemplarische sein, aus der mit geeigneten Statistiken verallgemeinernde Aussagen für die gesamte Palette abdeckenden Gebäude und Anlagentechniken abgeleitet werden kann.

Die Untersuchung des Phänomens der hohen unregelmäßigen Wärmeabgabe durch Komponenten der Heizungsanlage durch die Art des Verteilsystems war Thema einer im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben erstellten Studien- und Diplomarbeit [SchüßlerSA] [SchüßlerDA]. Nachfolgend sind Untersuchungsergebnisse verschiedener Literaturrecherchen und Auswertungen von Felduntersuchungen zum Thema Energiekennwerte im Neubau und Bestand tabellarisch zusammengefasst.

Die Quellen sind der Hessische Energiepass [Energiepass], verschiedene Ikarus Projekte [Ikarus], das LEG-Verfahren [LEG], die SIA 380/1 [SIA 380/1], Veröffentlichungen von Hirschberg und Untersuchungen zur DIN V 4701-10 [DIN V 4701-10], Gespräche mit FV SHK Hessen, diverse Gebäudetypologien, Grundrisse und Anlagenbeschreibungen des IWU Hessen, Veröffentlichungen von Prof. Hauser und Prof. Hausladen [Hauser/Hausladen], die Richtlinien VDI 2067 [VDI 2067], VDI 3807 [VDI 3807] und VDI 3808 [VDI 3808] sowie weitere eigene Projekte.

6.3.1. Bautätigkeit und Gebäudeklassen in Deutschland

Bautätigkeit

Die Bautätigkeit in Deutschland ist in den letzten Jahren, v.a. auch während der Bearbeitungszeit dieses Projektes dramatisch zurückgegangen.

Der Gebäudebestand - und der Energieverbrauch in bestehenden Gebäuden - macht den wesentlichen Energieverbrauch aller Bauten aus. Die Modernisierung aller bestehenden Gebäude auf Niedrigenergieniveau bedeutete eine Verminderung des jetzigen Energieverbrauches für Raumheizung etwa auf etwa $\frac{1}{4}$. Jeder Neubau - egal in welcher energetischen Güte - bedeutet dagegen immer einen Zuwachs an Energieverbrauch.

Schematisch dargestellt sind diese Zusammenhänge in Bild 6.5. Die Flächenanteile für die einzelnen Gebäudealtersklassen entsprechen dem Energieverbrauch für Heizung aller Gebäude dieser Art in Deutschland. Die grauen Flächen markieren den Zuwachs an jährlichem Energieverbrauch durch Neubauten etwa bis zum Jahre 2010.

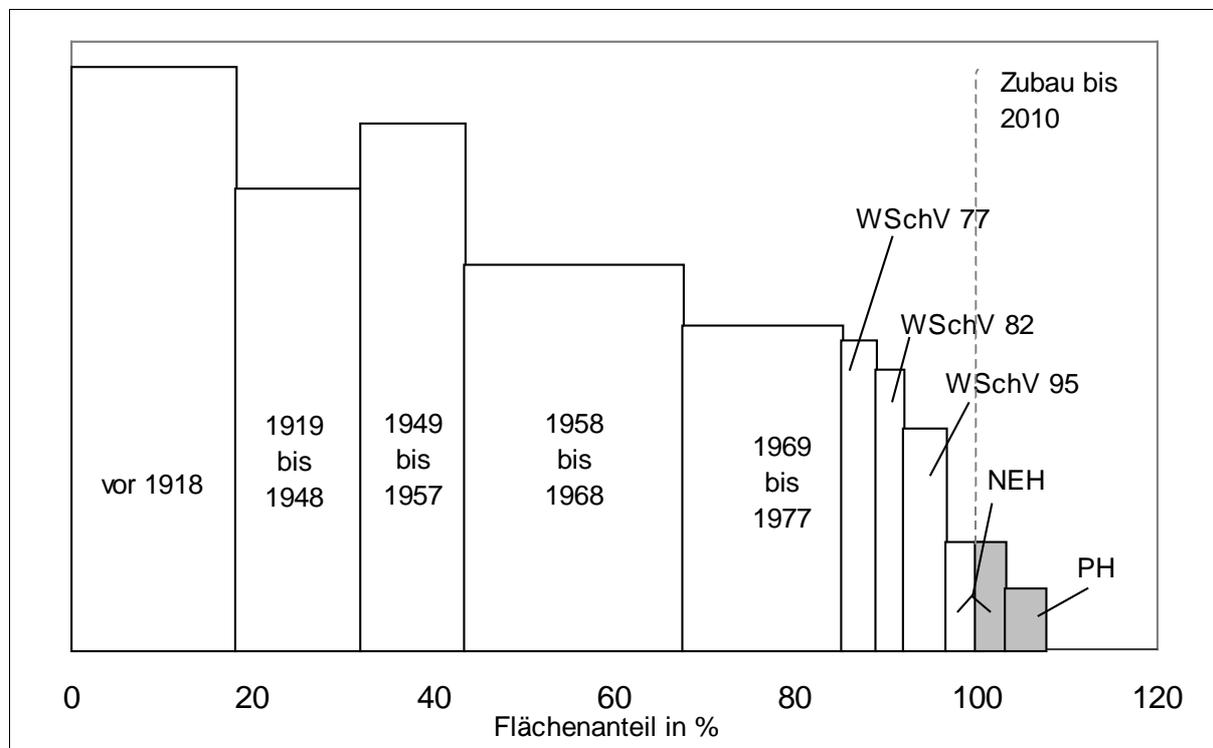


Bild 6.5 Schematischer Energieverbrauch für Heizung im Gebäudebestand und Neubau (nach GRE)

Die künftige Bautätigkeit, auch in Hinblick auf die Qualitätssicherung von Anlagen wird von den Autoren im Bestand gesehen.

Gebäudeklassen

Im Rahmen der Untersuchungen dieses Forschungsvorhabens und der Normungsarbeit zum Thema "Energiebilanz für den Gebäudebestand" (DIN 18599) hat es sich als sinnvoll und notwendig erwiesen, den Gebäude- und Anlagenbestand zu klassifizieren und typologisieren, um allgemeingültige Aussagen aus einzelnen Feldobjekten ableiten zu können.

Die Zuordnung eines Gebäudes zum Bestand oder zum Neubau allein über das Baujahr ist nicht genau definiert. Daher wird alternativ und verfeinernd seit einiger Zeit die energetische Zuordnung von Gebäuden zu bestimmten Klassen vorgenommen.

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, bestehende Gebäude, die unter dem Einfluss einer bestimmten Wärmeschutzverordnung (zum Beispiel der Wärmeschutzverordnung von 1977) entstanden sind, sprachlich und energetisch zusammenzufassen. Wird von einem Gebäude, das dieser Gruppe angehört, in Fachkreisen gesprochen, so können sich alle Beteiligten in etwa vorstellen, wie die Ausführung aussieht, welche Heizlasten sich am kältesten Tag einstellen und welcher Jahresenergieverbrauch zu erwarten ist. Wenn das betreffende Gebäude allerdings seit seiner Erstellung voll oder teilweise saniert wurde, dann ist die Zuordnung im Grunde nicht mehr zulässig.

Ab Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung von 1995 - und sicher auch schon früher - gibt es verstärkt Bestrebungen, die gesetzlich festgelegten energetischen Standards von Gebäuden zu unterbieten. Die Gruppe der sogenannten "Niedrigenergiehäuser" trat in Erscheinung, obwohl eine eindeutige Definition in der Literatur fehlt. Sie sollten den geforderten Höchstwert (Jahresheizwärmebedarf) der Wärmeschutzverordnung von 1995 um rund 25 Prozent unterschreiten. Später kamen "Passivhäuser", "Nullenergiehäuser", "Drei-Liter-Häuser", "Ultra-Niedrig-Energie-Häuser" und andere hinzu.

Für viele dieser energetischen Klassen gibt es entweder keine eindeutige oder aber gleich mehrere Definitionen. In Tabelle 6.2 gibt einen Überblick über gängige Definitionen. Diese sind, sofern sie präzise vorhanden waren, aus der Praxis übernommen. Teilweise sind sie auch eindeutiger definiert als in anderer Literatur oder im Sprachgebrauch. Trotzdem sind die Grenzen zwischen den energetischen Klassen immer noch fließend.

Energetische Klassen von Gebäuden	Beschreibung, Kennwerte und Hinweise
Gebäudeklasse Bestand vor 1977	<p>Für diese Gebäudeklasse lassen sich nur sehr schwer Angaben zum Energieverbrauch und -bedarf machen, denn allein die Varianz des Baualters ist sehr hoch. Üblicherweise sind viele dieser Gebäude seit ihrer Erbauung bereits saniert oder zumindest teilsaniert.</p> <p>wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m \geq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 130 \text{ bis } > 200 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h \geq 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Gebäudeklasse Wärmeschutzverordnung 1977 (November 1977)	<p>Die Energiekennwerte für die Klasse der nach Wärmeschutzverordnung von 1977 errichteten Gebäude leiten sich in der Regel allein aus den damals geltenden Anforderungen an den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ab.</p> <p>wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m = 1,1 \text{ bis } 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 70 \text{ bis } 130 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h \approx 180 \text{ bis } 250 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Gebäudeklasse Wärmeschutzverordnung 1982 (Februar 1982)	<p>Gegenüber der Wärmeschutzverordnung von 1977 wurden die Anforderungen an den Dämmstandard erhöht. Auch hier gilt: die Energiekennwerte leiten sich in der Regel allein aus den damals geltenden Anforderungen an den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten ab.</p> <p>wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m = 0,8 \text{ bis } 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 60 \text{ bis } 100 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h \approx 85 \text{ bis } 150 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Heizenergiebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N: $q_H \approx 110 \text{ bis } 190 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

<p>Gebäudeklasse Wärmeschutzverordnung von 1995 (Januar 1995)</p>	<p>Mit der Wärmeschutzverordnung von 1995 sollte der energetische Standard von Gebäuden um etwa 30 % bezogen auf 1982 verbessert werden. Das Bilanzverfahren für den Jahresheizwärmebedarf wurde eingeführt und rückwirkend auch auf die Wärmeschutzverordnungen von 1977 und 1982 angewendet.</p> <p>wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m = 0,5 \text{ bis } 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 40 \text{ bis } 60 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h = 54 \text{ bis } 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Heizenergiebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N: $q_H \approx 70 \text{ bis } 125 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
<p>Gebäudeklasse EnEV (Februar 2002)</p>	<p>Gebäude nach EnEV-Standard sollten nach Intention der Initiatoren etwa 25 bis 35 Prozent energetisch besser sein als die Gebäude nach Wärmeschutzverordnung von 1995. Diese Absicht wurde nicht in die Praxis umgesetzt. Mittlerweile gibt es einen realen Niedrigenergiestandard und den Energiestandard nach EnEV 2002 parallel nebeneinander.</p> <p>Da das Niedrigenergiegebäude selbst nicht definiert ist, verwenden die Autoren nebeneinander die Begriffe Gebäude nach EnEV und reale Niedrigenergiegebäude, um beide Energiestandards voneinander zu unterscheiden.</p> <p>Kennwerte für den EnEV-Standard:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m = 0,45 \text{ bis } 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; erstmals wird hierbei der energetische Einfluss von Wärmebrücken numerisch bei der Ermittlung von H_T' berücksichtigt ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 30 \text{ bis } 50 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h \approx 40 \text{ bis } 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach EnEV 2002: $q_h \approx 30 \text{ bis } 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresprimärenergiebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach EnEV 2002: $q_P = 70 \text{ bis } 140 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
<p>Niedrigenergiehaus</p>	<p>Das echte Niedrigenergie-Niveau wird in den Kreisen, die diesen Standard ursprünglich anregten noch immer mit "25 bis 35 % unter Wärmeschutzverordnung von 1995" vertreten.</p> <p>Wichtige Kennwerte für das echte NEH-Niveau:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m \approx 0,2 \text{ bis } 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ hoher Gebäudedichtheitsstandard ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 25 \text{ bis } 40 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach Wärmeschutzverordnung von 1995: $q_h \approx 30 \text{ bis } 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche A_{EB}) bilanziert nach LEG-Verfahren: $q_h = 55 \text{ bis } 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresendenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche A_{EB}) und bilanziert nach LEG-Verfahren: $q \approx 85 \text{ bis } 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

<p>Ultra-Niedrig-Energie-Haus und Drei-Liter-Haus</p>	<p>Ultra-Niedrig-Energie-Häuser und Drei-Liter-Häuser weisen eine extrem dichte Gebäudehülle und einen extrem hohen Dämmstandard auf. Architektur und Anlagentechnik sind für eine hohe Nutzung von solarer Energie durch die Fenster und durch Solaranlagen für die Warmwasserbereitung konzipiert. Die Gebäude werden üblicherweise nicht mit einer maschinellen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung geplant. Sie haben konventionelle Warmwasserheizungen, aber eine sehr effiziente Anlagentechnik (Solaranlagen, Blockheizkraftwerke, Wärmepumpen, Nahwärme aus regenerativen Energien), um niedrige Jahresprimärenergien zu erreichen.</p> <p>wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m \approx 0,1$ bis $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 15$ bis $30 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach EnEV 2002: $q_h = 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresprimärenergiebedarf für die Heizung ohne Trinkwarmwasserbereitung bezogen auf die Nutzfläche A_N bilanziert nach EnEV 2002: $q_{p,H} \leq 34 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
<p>Passivhaus</p>	<p>Passivhäuser sind üblicherweise mit sehr dichter Gebäudehülle und in sehr hohem Dämmstandard ausgeführt. Die Gebäude haben üblicherweise eine maschinelle Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und ggf. auch elektrischem Luftnachheizregister. Sie werden oft ohne statische Warmwasserheizung geplant und gebaut. Architektur und Anlagentechnik sind für eine hohe Nutzung von solarer Energie durch die Fenster und durch Solaranlagen für die Warmwasserbereitung konzipiert.</p> <p>Wichtige Kennwerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen: $U_m \approx 0,1$ bis $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ▪ Heizlast am kältesten Tag: $\dot{q} \approx 10 \text{ W}/\text{m}^2$ ▪ Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche) bilanziert nach LEG/PHI-Verfahren [PHI]: $q_h = 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ▪ Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Trinkwarmwasserbereitung und den Haushaltsstrom bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche (Energiebezugsfläche) bilanziert nach PHI-Verfahren: $q_p \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Tabelle 6.2 Energetische Klassen von Gebäuden

Die Bestrebung, den Energiestandard von Gebäuden zu verbessern, gibt es verstärkt seit den beiden Ölkrisen Mitte und Ende der 1970er Jahre. Mit den Wärmeschutzverordnungen von 1977 und 1982 wurden zunächst nur Anforderungen an den maximal zulässigen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen in Gebäuden gestellt. Die Wärmeschutzverordnung von 1995 führte darauf aufbauend die Bilanz des Jahresheizwärmebedarfes q_h ein. Mit der Idee der Niedrigenergiehäuser und anderer Energiesparhäuser folgten schließlich die Bilanzen des Heizenergiebedarfes q_H und schließlich des Jahresprimärenergiebedarfes q_p .

Energiekennwerte, die das energetische Niveau einer Baualtersklasse wiedergeben, leiten sich unmittelbar aus den entsprechenden damals geltenden Verordnungen ab: bis 1995 wurde die Güte eines Gebäudes zum Beispiel an seinem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten gemessen - es gibt daher verlässliche Zahlen für diesen Kennwert. Andere Energiekennwerte (Jahresheizwärmebedarf etc.) für die vor 1995 liegenden Baualtersklassen sind nachträglich aus diesem Wert abgeleitet.

Auch die Bilanzverfahren für den Jahresheizwärmebedarf, später den Heizenergiebedarf und Jahresprimärenergiebedarf sind nicht einheitlich. Daher wurde explizit vermerkt, nach welchem Bilanzverfahren die Kennwerte bestimmt wurden und auf welche Fläche sie bezogen sind.

Da anhand der gesetzlich vorgeschriebenen oder anderweitig festgelegten Standards keine eindeutige Vergleichbarkeit der energetischen Gebäudeklassen gegeben ist, wurden die Diagramme von Bild 6.6 bis Bild 6.8 entwickelt. Sie sind als überschlägige Orientierungshilfen zur Einordnung eines durchschnittlichen Gebäudes zu sehen.

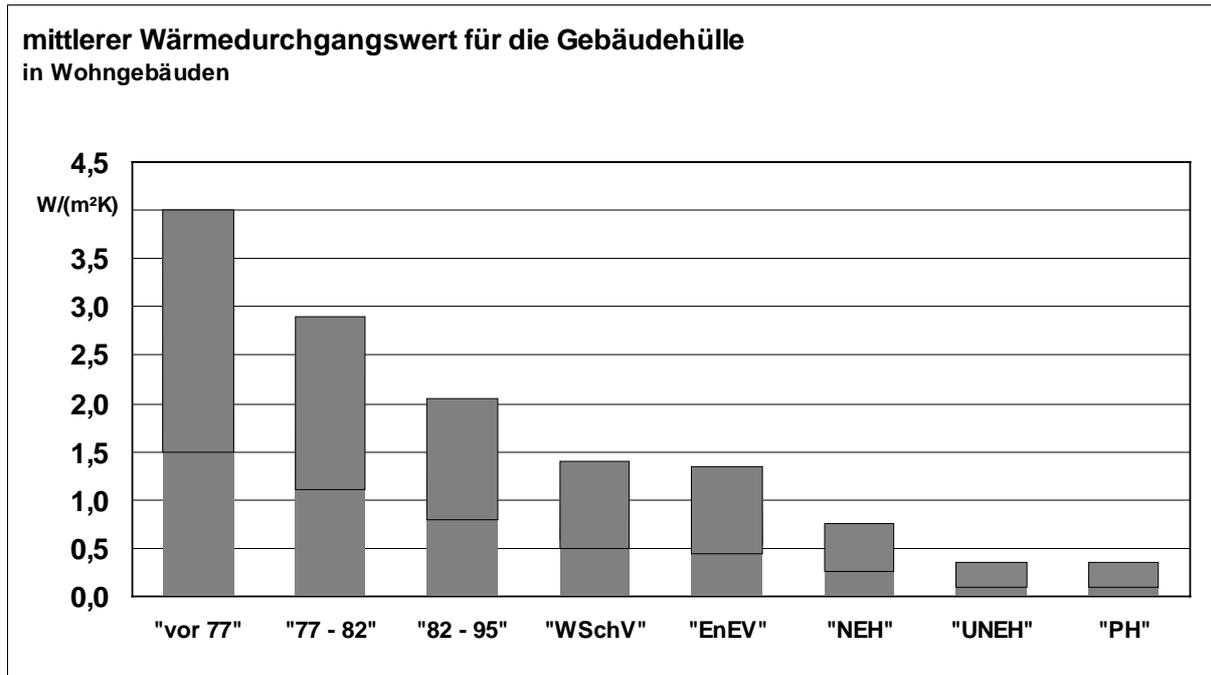


Bild 6.6 Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für die wärmeübertragenden Umfassungsflächen

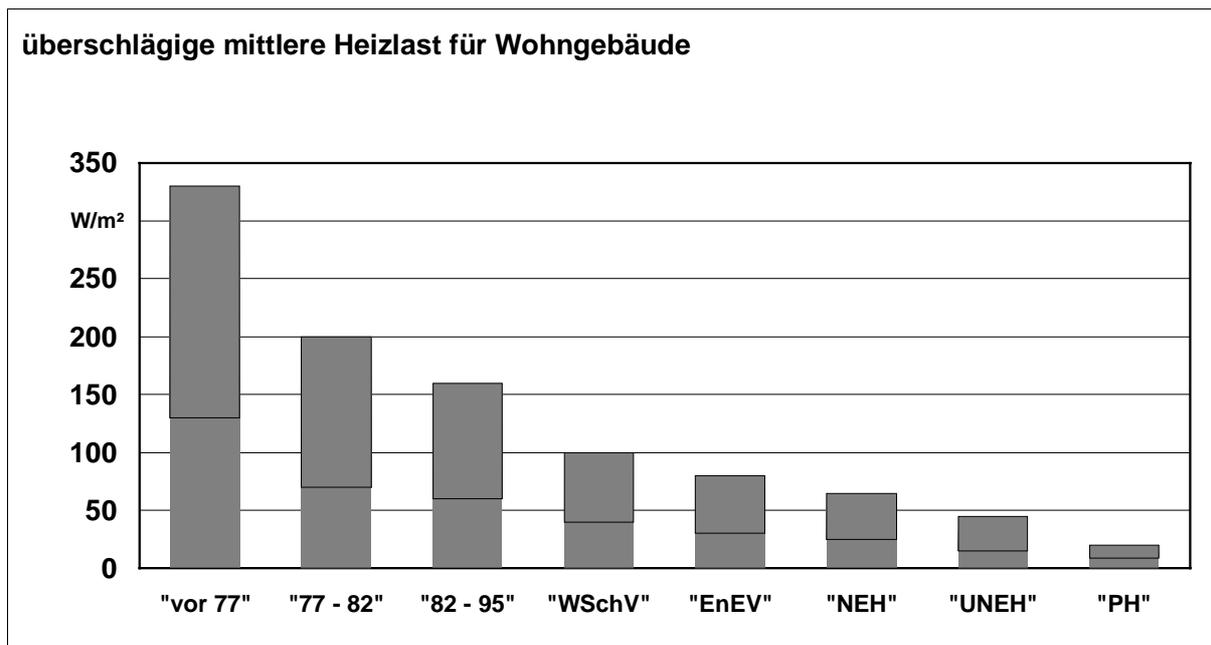


Bild 6.7 Überschlägige Heizlast für Wohngebäude

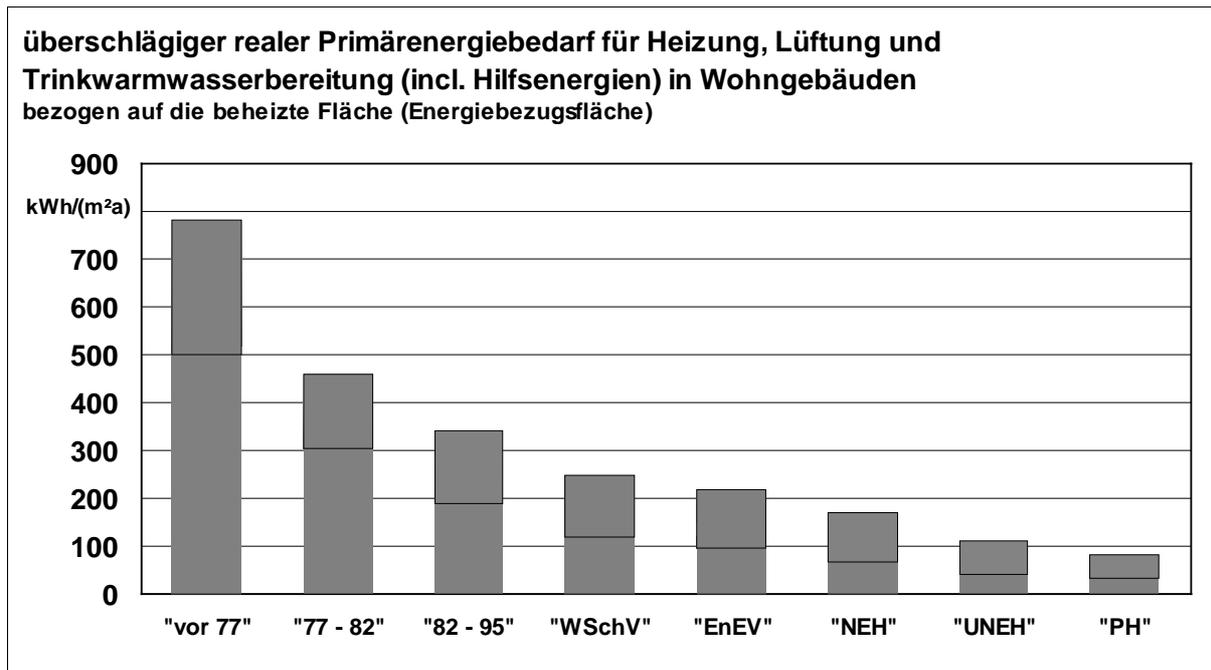


Bild 6.8 überschlägiger realer Jahresprimärenergie

6.3.2. Gebäudetypologisierung

Eine Gebäudetypologisierung für Bestand der Gebäude wird in vielen Studien erhoben. Die nachfolgenden Daten und Erhebungen sind vielfach dem Datenbestand des Instituts für Wohnen und Umwelt entnommen.

Typologie des Gebäudebestandes in den alten Bundesländern

Merkmale der Bauform und -konstruktion, die unmittelbare Rückschlüsse auf den Raumwärmebedarf der Wohngebäude zulassen, wurden in der allgemeinen Statistik der alten Bundesländer nicht oder nur sporadisch erhoben. Die statistischen Angaben zur Baustruktur beschränken sich im wesentlichen auf das Verhältnis Wohnungen zu Gebäude, auf die Baualtersklassen und auf die Ausstattungsstandards (Art der Beheizung, Sanitärausstattungen).

Daraus folgt zunächst die Einteilung des Wohnungsbestandes in Ein- und Mehrfamilienhäuser. Die Verwendung der gebräuchlichen Begriffe EFH / MFH schafft somit eine nützliche schematische Vereinheitlichung in der Vorstellung von Bautypen, die für die angestrebten Schätzungen ausreicht, jedoch mit den realen Gegebenheiten nicht immer übereinstimmt.

Das Baualter bildet ein wichtiges Merkmal zur Charakterisierung der energetischen Verhältnisse eines Gebäudes, da sich zu jeder Zeit oder Bauepoche bestimmte, allgemein übliche Konstruktionsweisen finden lassen. Die Einteilung der Baualtersklassen orientiert sich an historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und den Veränderungen der Bauvorschriften.

Anhand der Größe bzw. Bauform und den Altersklassen wurden für die alten Bundesländer 30 Gebäudetypen identifiziert, mit deren Hilfe die baulich-konstruktiven Merkmale des gesamten Wohnungsbestandes repräsentativ dargestellt werden können. In den alten Bundesländern lässt sich die prozentuale Aufteilung wie folgt darstellen:

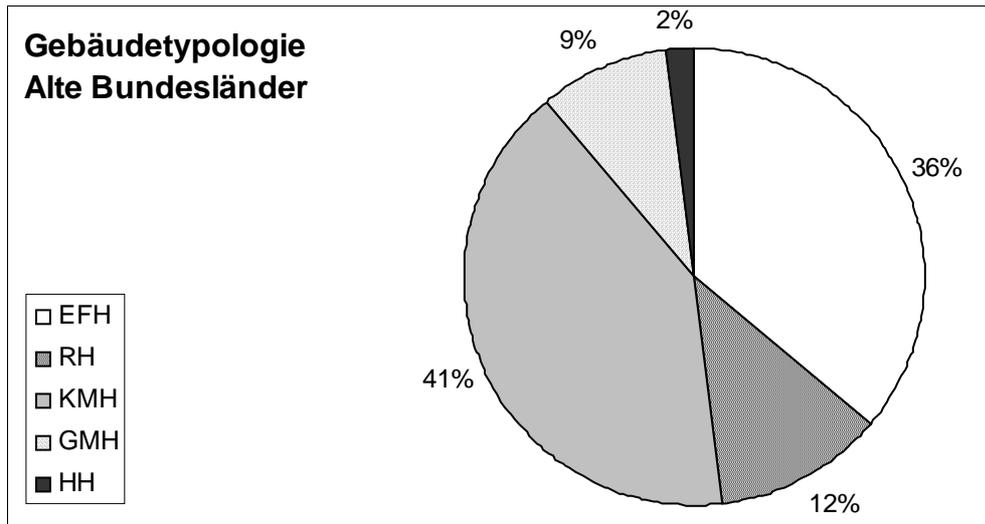


Bild 6.9: Statistik zur Gebäudetypologie der alten Bundesländer (Stand 1990)

Darin bedeuten: EFH ... Einfamilienhaus
 RH ... Reihenhaus
 KMH ... Kleines Mehrfamilienhaus
 GMH ... Großes Mehrfamilienhaus
 HH ... Hochhaus

Typologie des Gebäudebestandes in den neuen Bundesländern

Die DDR verfügte über ein aussagefähiges, mit großem Aufwand aufgebautes Informationssystem zum Zustand und zur Entwicklung der Wohnsubstanz, das auch heute noch ein gutes Bild der Wohnungssituation vermittelt. Wesentliche Inhalte sind Angaben zu Wohngebäude, Baujahr, Bauweise und Standortverteilung sowie zur Bewertung der Ein- und Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäuser in den neuen Bundesländern. Nach dieser offiziellen Statistik gab es in der DDR 1989 etwa 7 Mio. Wohnungen.

Die Gebäudedaten erlauben eine genaue Einteilung der Wohngebäudesubstanz für das Jahr 1990 nach Ein- und Mehrfamilienhäusern, Bauarten und Baualterklassen. Rund 2,13 Mio. Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern sind in industrieller Bauweise errichtet, Rund 56 % der Mehrfamilienhäuser wurden nach 1945 errichtet, das Durchschnittsalter beträgt 46 Jahre. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern sind nur 22 % nach 1945 erbaut worden, was zu einem Durchschnittsalter von 79 Jahren führt.

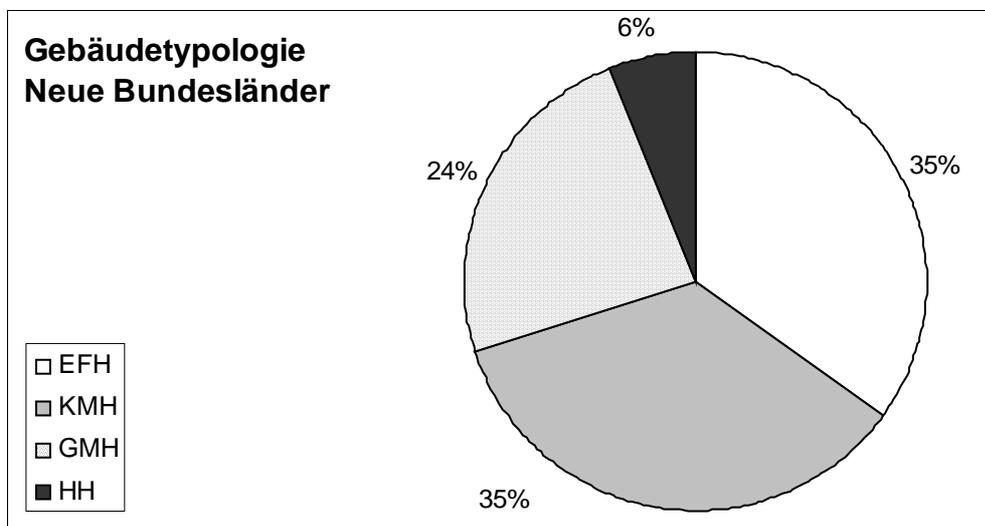


Bild 6.10: Statistik zur Gebäudetypologie der neuen Bundesländer (Stand 1990)

Typologie des Gebäudebestandes in Deutschland

Für den Wohngebäudebestand ergibt sich zusammen für die neuen und alten Bundesländer folgende Zusammensetzung.

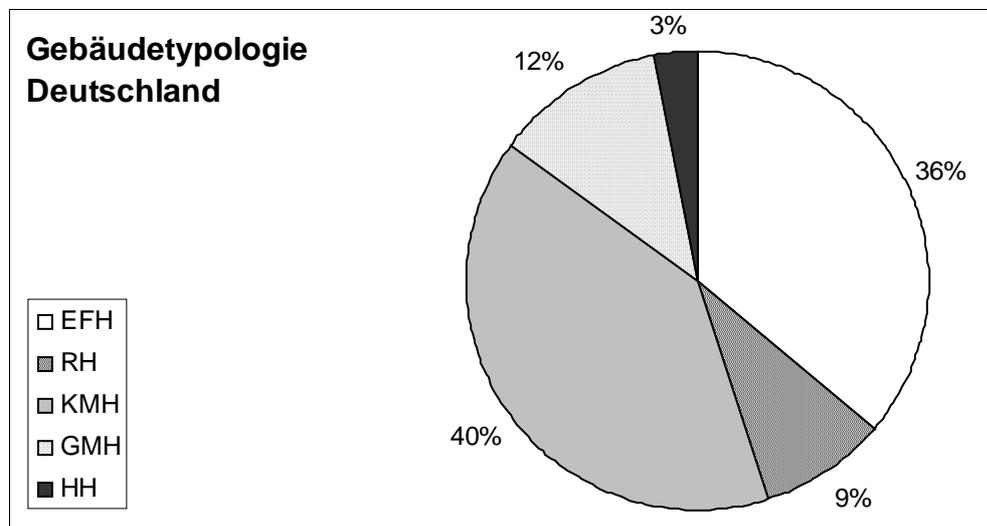


Bild 6.11: Zusammenführung der Gebäudetypologie der Bestandsgebäude aller Bundesländer (Stand 1990)

Altersklassen und Flächenanzahl

Die prozentuale Verteilung der Wohngebäude in Deutschland auf einzelne Baualtersklassen kann Bild 6.5 entnommen werden. So macht der Anteil der Niedrigenergiegebäude in Deutschland nur etwa 5 % aller Gebäude aus. Die größte Gruppe der Gebäude in Deutschland bilden die zwischen 1958 und 1968 erbauten Häuser.

6.3.3. Typologisierung der Anlagentechnik

Während einer 6-monatigen Studien- und Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel wurden im Hinblick auf die Typologisierung von Wärmeerzeugungs- sowie Wärmeübergabesysteme und im besonderen von Verteilsystemen im Anlagenneubau und Bestand nähere Untersuchungen durchgeführt. Ziel ist es, für verschiedene Gebäudetypen die Wärmeverluste der Anlagentechnik sowie deren Beitrag zu den inneren Fremdwärmegewinnen im beheizten Bereich des Gebäudes zu untersuchen.

Dazu wurden Anlagendaten mit einem Fragebogen erfasst bzw. Literaturrecherchen durchgeführt. Insbesondere wurden aufgenommen:

- Gebäudealter und Gebäudetyp,
- Alter der Anlage,
- Wärmedämmqualitäten von Leitungen,
- Verteilarten,
- Anordnung der Leitungen,
- Lage der verlegten Leitungen,
- Systemtemperaturen,
- Art der Wärmeerzeugung,
- Art der Wärmeübergabe.

6.3.3.1. Energieträger - Versorgungsart

Ein Merkmal der Typologisierung ist die Versorgungsart eines Gebäudes.

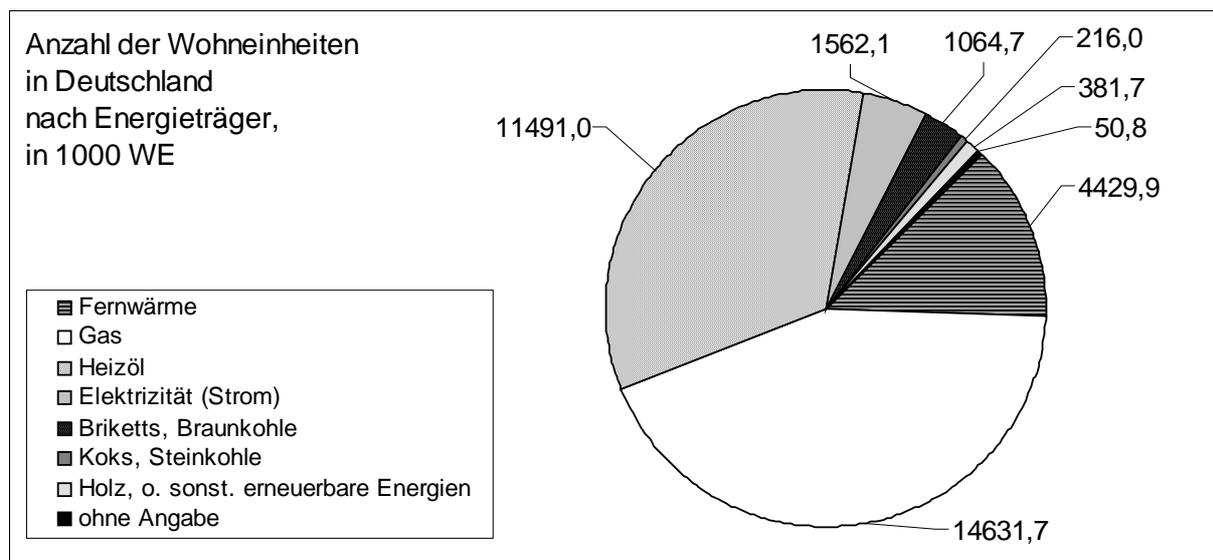


Bild 6.12: Energieart, Bundesrepublik gesamt (Quelle : Statistisches Bundesamt 1998, Deutschland)

Aus der Graphik in Bild 6.12 ist erkennbar, dass der Anteil der Gebäude mit zentralen Versorgungssystemen in Deutschland überwiegt. Nur etwa 13 % der Gebäude verfügen über einen Fernwärmeanschluss.

Für die Qualitätssicherung der Anlagentechnik können folgende Rückschlüsse gezogen werden: bei der heutigen Planungs- und Ausführungspraxis ist eine Qualitätssicherung (rechnerische Planung der Heizkörper und des Rohrnetzes, überprüfter hydraulischer Abgleich und korrekte Reglereinstellungen) nur in einem sehr geringen Anteil aller Anlagen zu erwarten. Dies bestätigen auch Umfragen in Fachkreisen.

Von allen Versorgungsarten ist die Wahrscheinlichkeit einer Qualitätssicherung vor allem bei den fernwärmeversorgten Gebäuden - und hier bei denen mit direktem Anschluss ohne Übergabestation - am höchsten. In diesem Fall legt der Versorger üblicherweise Wert auf eine Qualitätssicherung, weil sein Netz unmittelbar von den negativen Konsequenzen fehlender Sicherungsmaßnahmen betroffen ist. Der Versorger übernimmt eine Kontroll- und Qualitätssicherungsfunktion für das Sekundärnetz. Geringer ist die Kontrolle bei Netzen mit indirekter Wärmeübergabe in Übergabestationen. Hier sind das Netz des Versorgers und das nachgeschaltete sekundäre Netz des Kunden getrennt. Die Motivation, eine Qualitätssicherung durchzuführen ist deutlich geringer.

Bei Versorgung mit Kesseln (Gas, Öl) oder mit zentralen Stromsystemen (Wärmepumpen, zentrale Speicherheizungen oder Elektrokessel) ist für den Versorger eine Veranlassung zur Qualitätskontrolle nicht gegeben. Die Anlagentechnik gehört dem Kunden, den Energieverbrauch zahlt ebenfalls dieser.

6.3.3.2. Wärmeerzeugung

Unmittelbar mit der Art des Energieträgers ist die Art der Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung im Wohnungsbau verbunden.

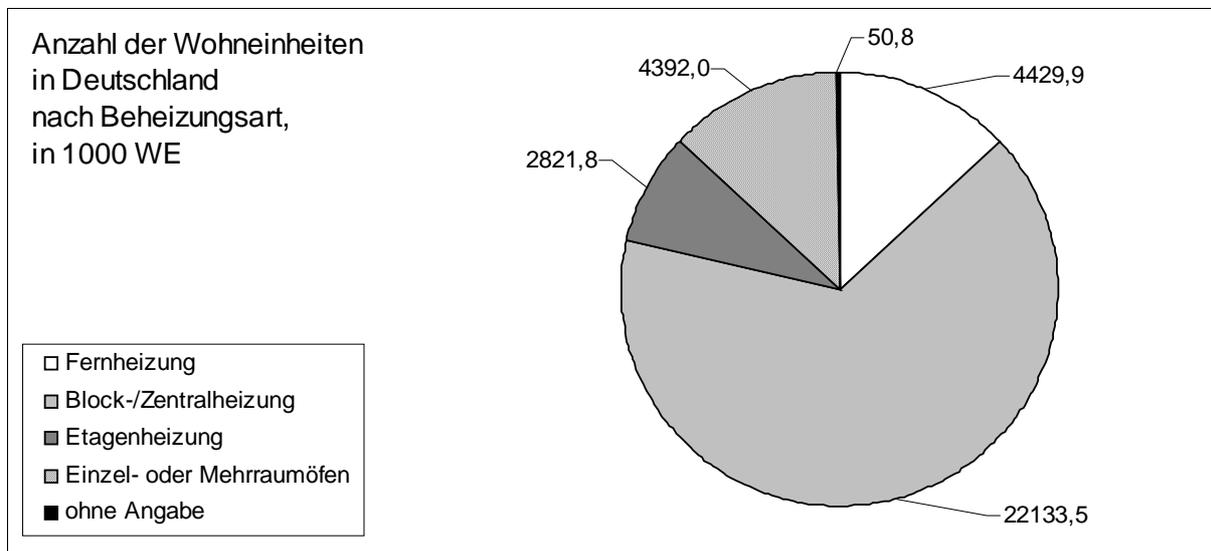


Bild 6.13 : Beheizungsart, Bundesrepublik gesamt (Quelle : Statistisches Bundesamt 1998, Deutschland)

Aus dem Bild deutlich ersichtlich ist der hohe Anteil an zentralen Versorgungssystemen, die mit Verteilungen innerhalb des Gebäudes ausgestattet werden. Dem Bild liegen folgende absolute Zahlen zugrunde: es gab in Deutschland 29.385.200 zentral beheizte (Fernheizung, Blockheizung, Zentralheizung, Etagenheizung) Wohneinheiten.

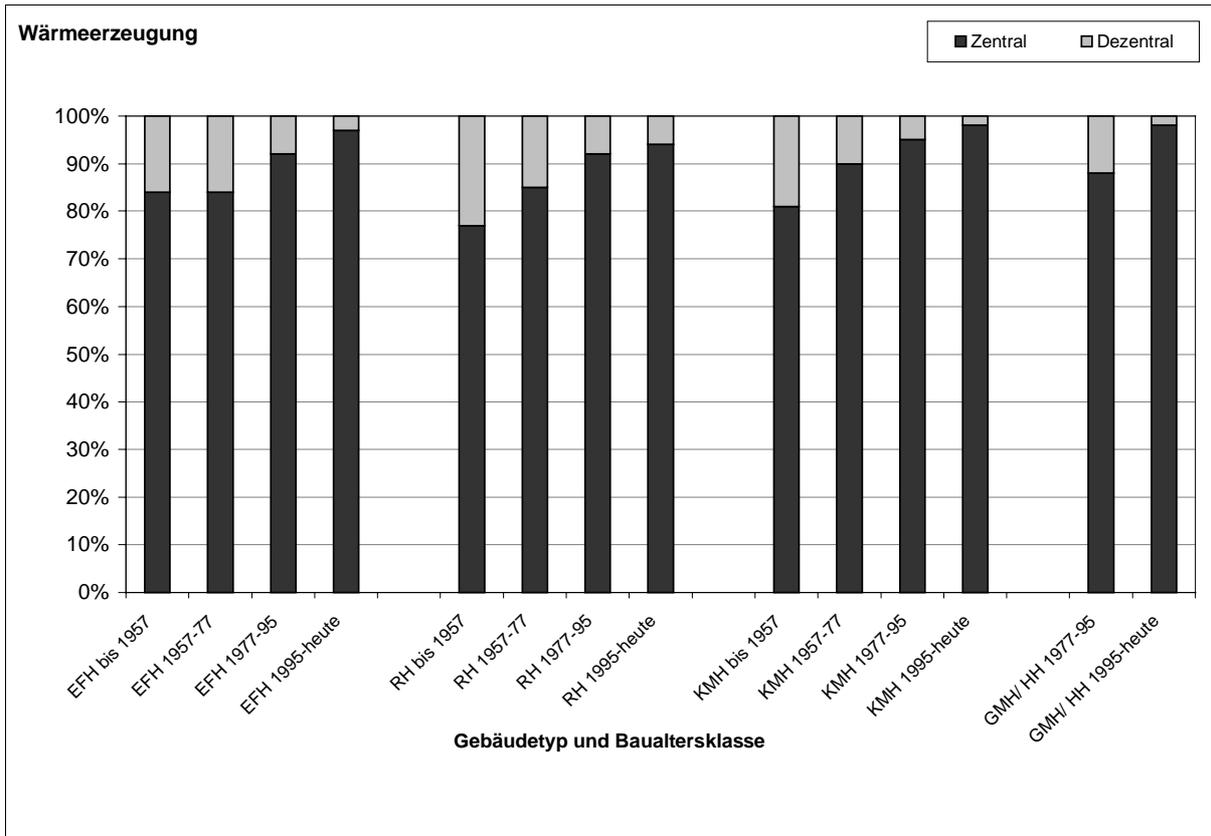


Bild 6.14: Art der Wärmeerzeugung

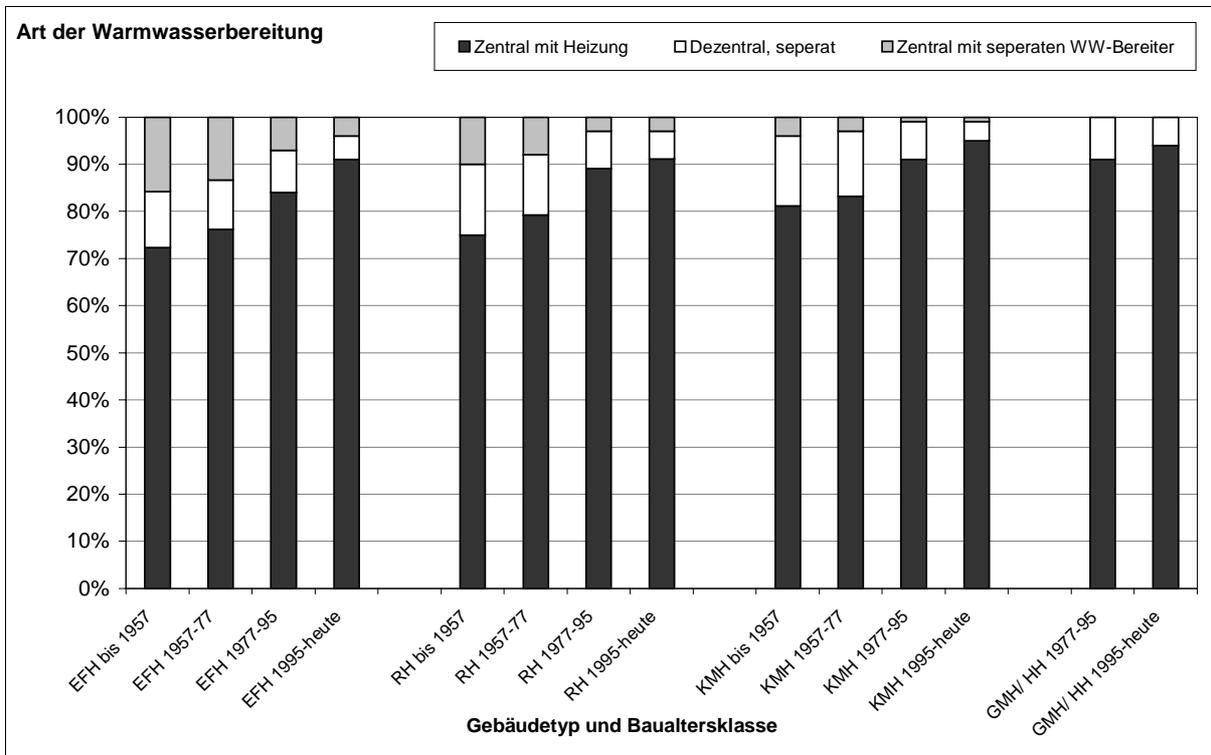


Bild 6.15: Art der Warmwasserbereitung

Ein Befragung in Hessen, die keinen Anspruch auf Übertragbarkeit für Gesamtdeutschland erhebt, ist in Bild 6.14 und Bild 6.15 wiedergegeben. Die Untersuchung der Erzeugertypologie bezieht sich auf das Baujahr und den Typ der Gebäude. Dargestellt ist der Zustand der Anlagentechnik bei Erhebung der Daten 2001 - nicht der ursprüngliche Bauzustand.

Art der Rohrleitung

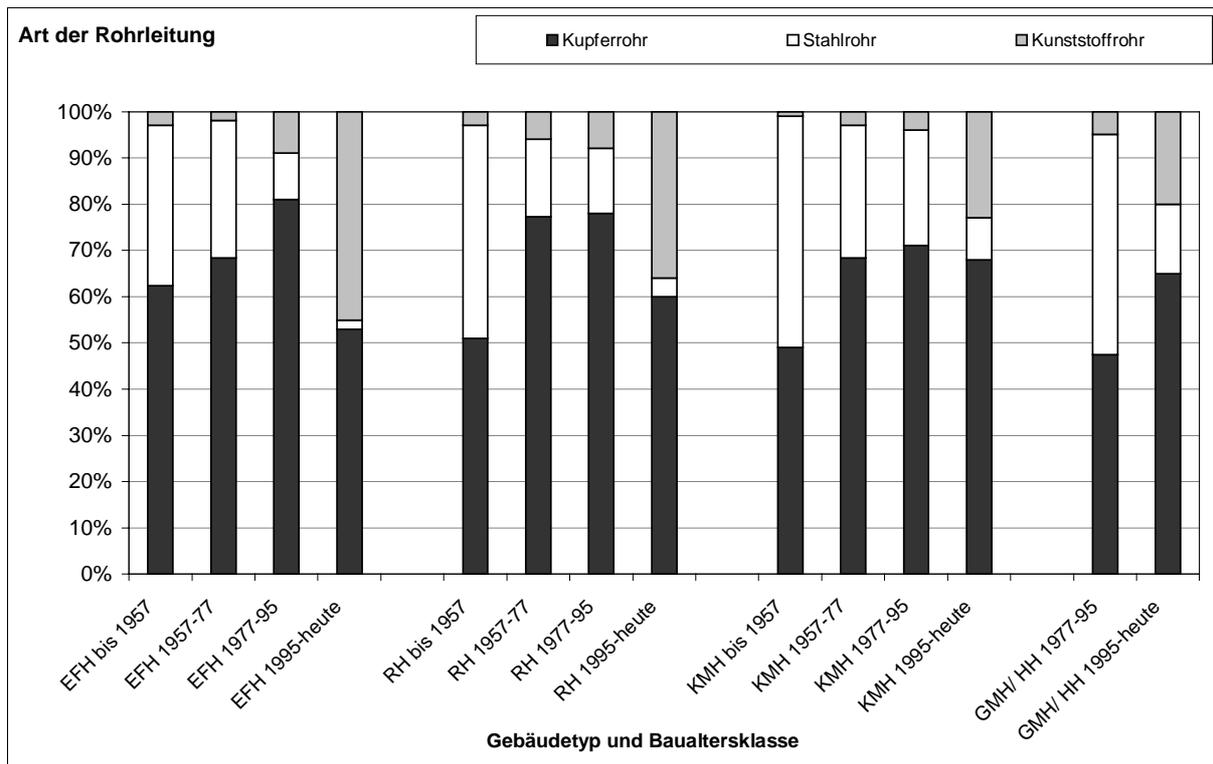


Bild 6.17: Werkstoff der Rohrleitung - Heizung

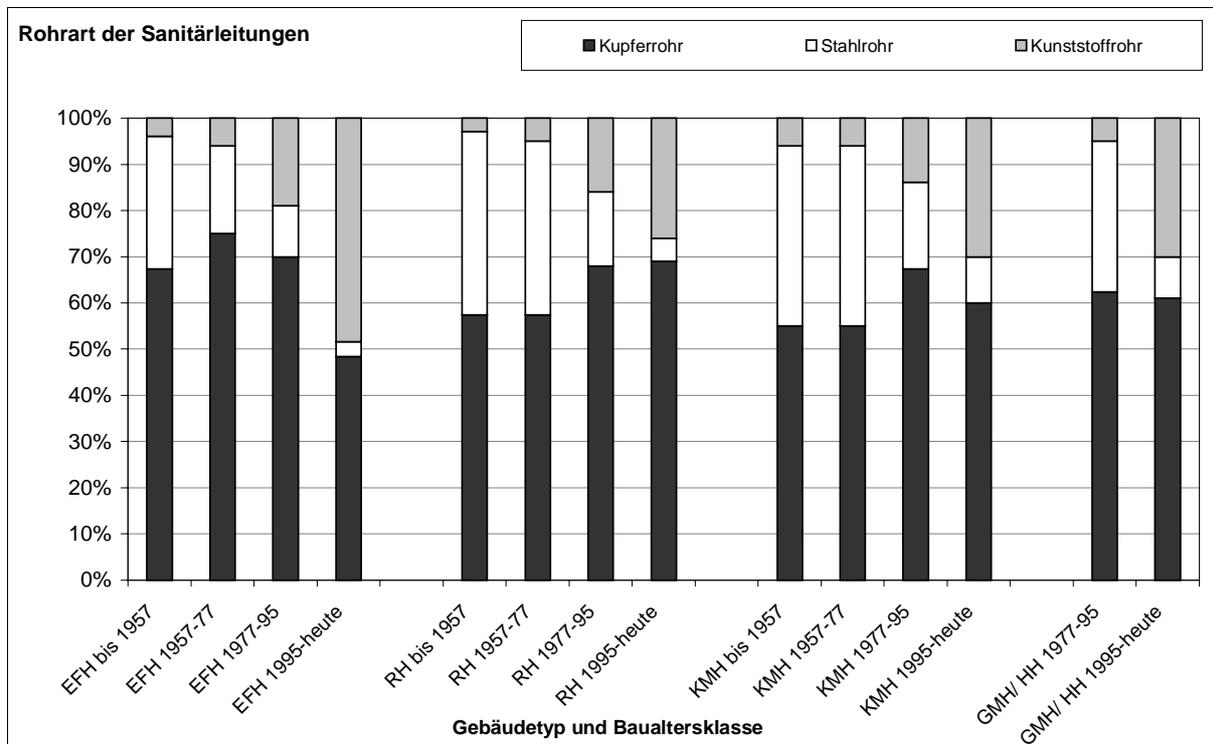


Bild 6.18: Werkstoff der Rohrleitung - Trinkwarmwasserbereitung

Die Ausführung von Rohrsystemen verschiebt sich für neuere Gebäude immer weiter in Richtung Kunststoffrohrsysteme. Diese können flexibel, schnell und kostengünstig verlegt werden - dies führt im Neubau zu den heute üblichen Verlegearten: Anschluss sehr vieler Abnehmer jeweils einzeln an einen zentralen Verteiler, wobei insgesamt eine lange Leitungslänge verlegt wird.

Lage der Rohrleitungen

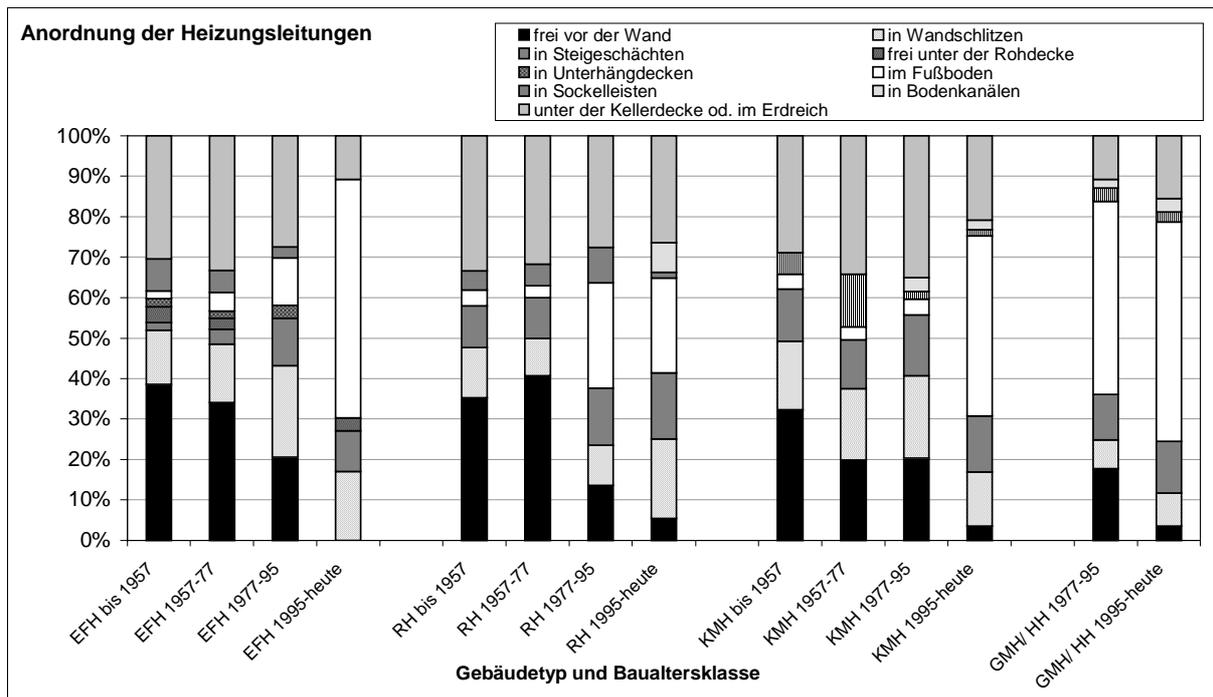


Bild 6.19: Anordnung der Heizungsleitungen

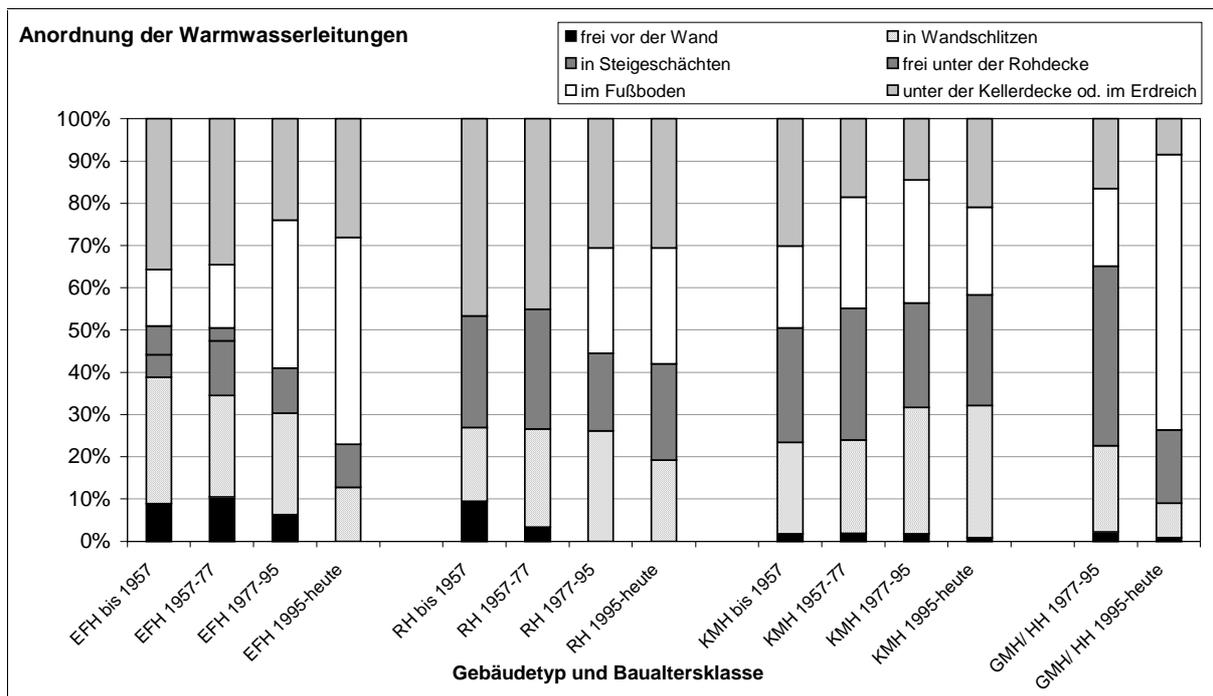


Bild 6.20: Anordnung der Trinkwarmwasserleitungen

Die freie Verlegung von Leitungen nimmt tendenziell mit neueren Baujahren ab, dafür die Verlegung im Fußboden zu. Bei der nachträglichen Sanierung ergibt sich damit die Chance, die alten frei liegenden Leitungen nachträglich zu dämmen. Im Neubau besteht bei heutigen Verlegearten keine Chance, eine Dämmung später zu erhöhen.

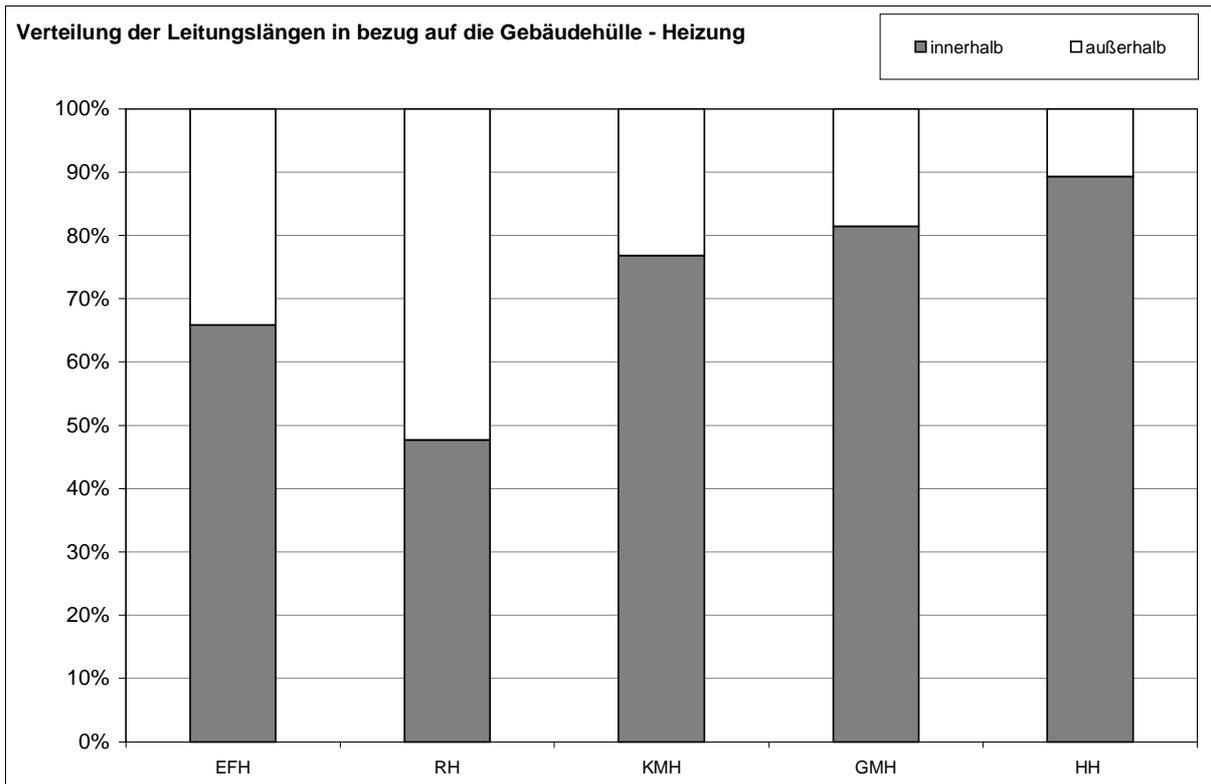


Bild 6.21: Prozentuale Verteilung der Leitungslängen im Gebäude - Heizung

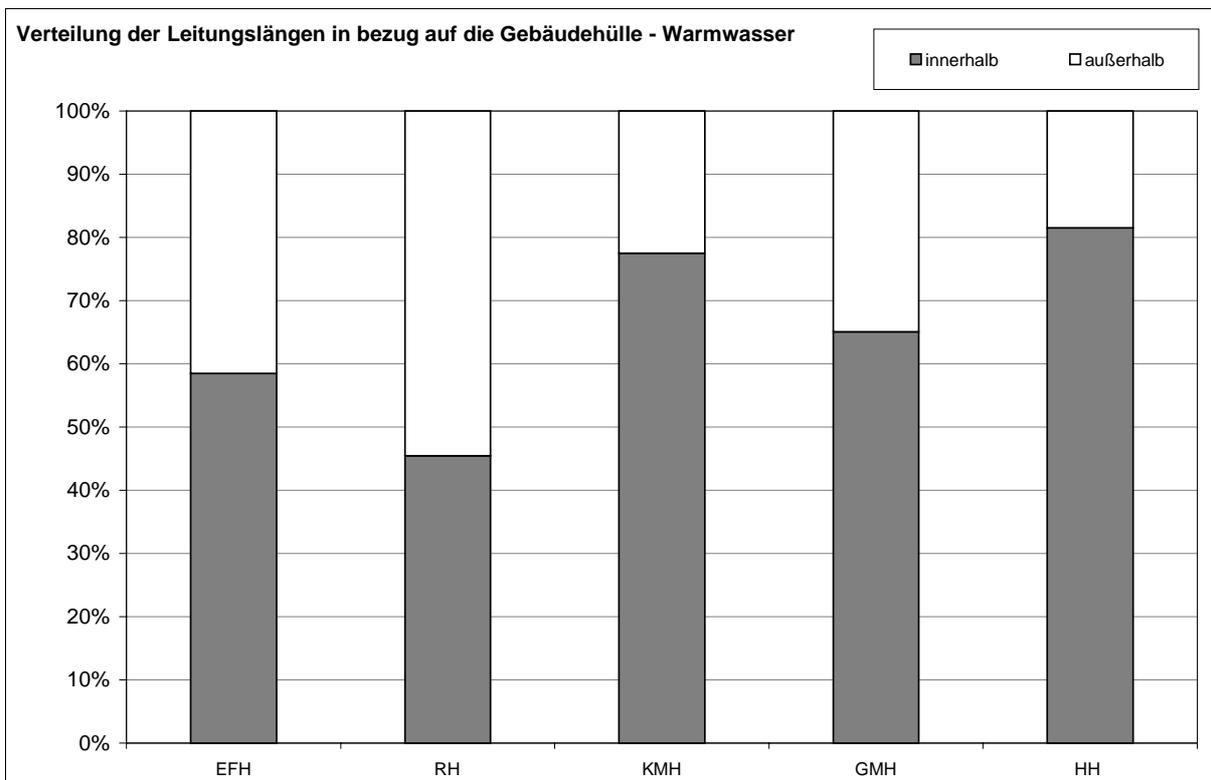


Bild 6.22: Prozentuale Verteilung der Leitungslängen im Gebäude - Trinkwarmwasser

In kleineren Gebäuden liegen etwa 35...55 % der verlegten Leitungen in nicht beheizten Bereich. Dieser Anteil nimmt mit der Größe des Gebäudes ab auf etwa 10...30%.

Verteilssysteme

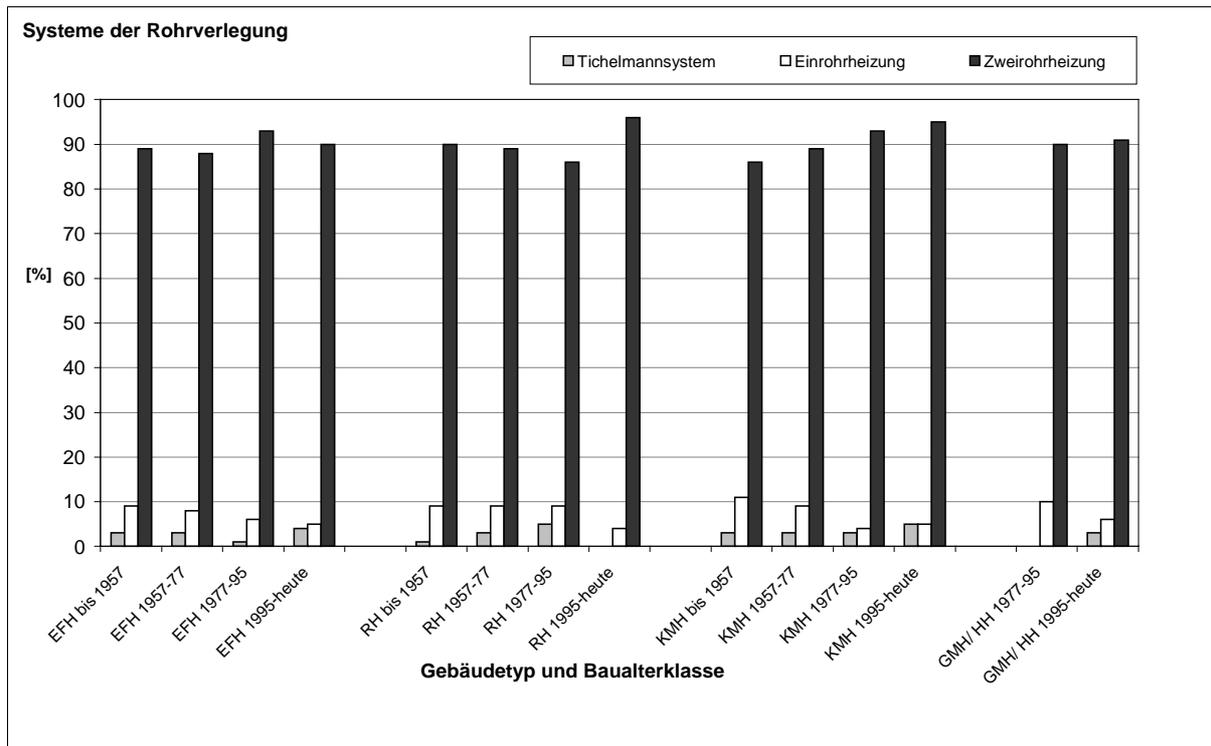


Bild 6.23: Verteilssysteme der Heizwasserleitungen

Die Übersicht über heute übliche Verlegesysteme für Heizwassernetze ist regional sehr unterschiedlich. Bild 6.23 erhebt keinen Anspruch auf Übertragbarkeit auf die gesamte Bundesrepublik. Es zeigt die Verhältnisse einer Befragung in Hessen. Es wird jedoch deutlich, dass für die überwiegende Zahl aller Verteilssysteme eine Qualitätssicherung in Form einer korrekten Dimensionierung der Heizflächen, der Rohrleitungen und eines hydraulischen Abgleichs notwendig ist. Nur für die Systeme, die nach dem Tichelmannprinzip erstellt sind, muss kein hydraulischer Abgleich der Stränge, jedoch eine Voreinstellung der Thermostatventile erfolgen.

Verlegte Rohrleitungslängen

Für verschiedene Gebäudetypen werden unabhängig vom Baujahr des Gebäudes und Installationszeitpunkt der Anlage die installierte Rohrleitungslänge bestimmt. Dazu werden sowohl reale Objekte als auch diverse Veröffentlichungen zum Thema herangezogen. Die Werte für die verlegte Leitungslänge schwankt sehr stark je nach Datenquelle.

Gebäudetyp	Einheit	Mittelwert				
		EFH	RH	KMH	GMH	HH
Länge Verteilleitung pro m ² Wohnfläche						
gemessene Daten	m/m ²	0,229	0,436	0,173	0,137	0,027
Hirschberg	m/m ²	0,193	0,260	0,146	0,079	0,036
Esdorn	m/m ²	0,456	0,655	0,230	0,117	0,050
VdZ	m/m ²	0,359	0,413	0,287	0,158	0,074
DIN V 4701 Teil 10	m/m ²	0,217	0,317	0,120	0,092	0,075
Länge Strangleitung pro m ² Wohnfläche						
gemessene Daten	m/m ²	0,119	0,300	0,214	0,412	0,057
Hirschberg	m/m ²	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
Esdorn	m/m ²	0,747	0,935	0,596	0,556	0,480
VdZ	m/m ²	0,299	0,373	0,238	0,221	0,191
DIN V 4701 Teil 10	m/m ²	0,078	0,086	0,109	0,112	0,099
Länge Anschlussleitung pro m ² Wohnfläche						
gemessene Daten	m/m ²	0,389	0,112	0,356	0,179	0,164
VdZ	m/m ²	0,075	0,093	0,060	0,056	0,048
DIN V 4701 Teil 10	m/m ²	0,573	0,632	0,800	0,823	0,725

Tabelle 6.3 Leitungslängen der Heizung

Für die verschiedenen Gebäudetypen sind die Kennwerte installierter Leitungslängen der Heizung und der Trinkwarmwasserbereitung (bezogen auf die Wohnfläche) in Bild 6.24 bzw. Bild 6.25 dargestellt.

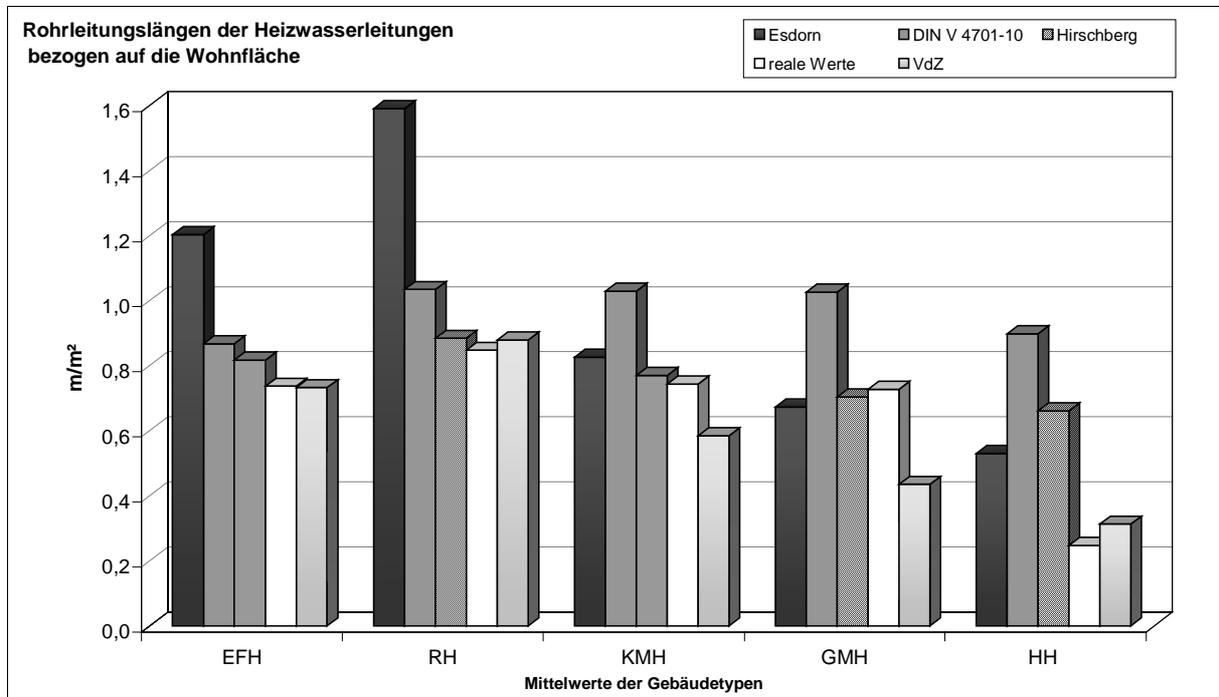


Bild 6.24: Gegenüberstellung der theoretischen und tatsächlichen Rohrleitungslängen (Heizung)

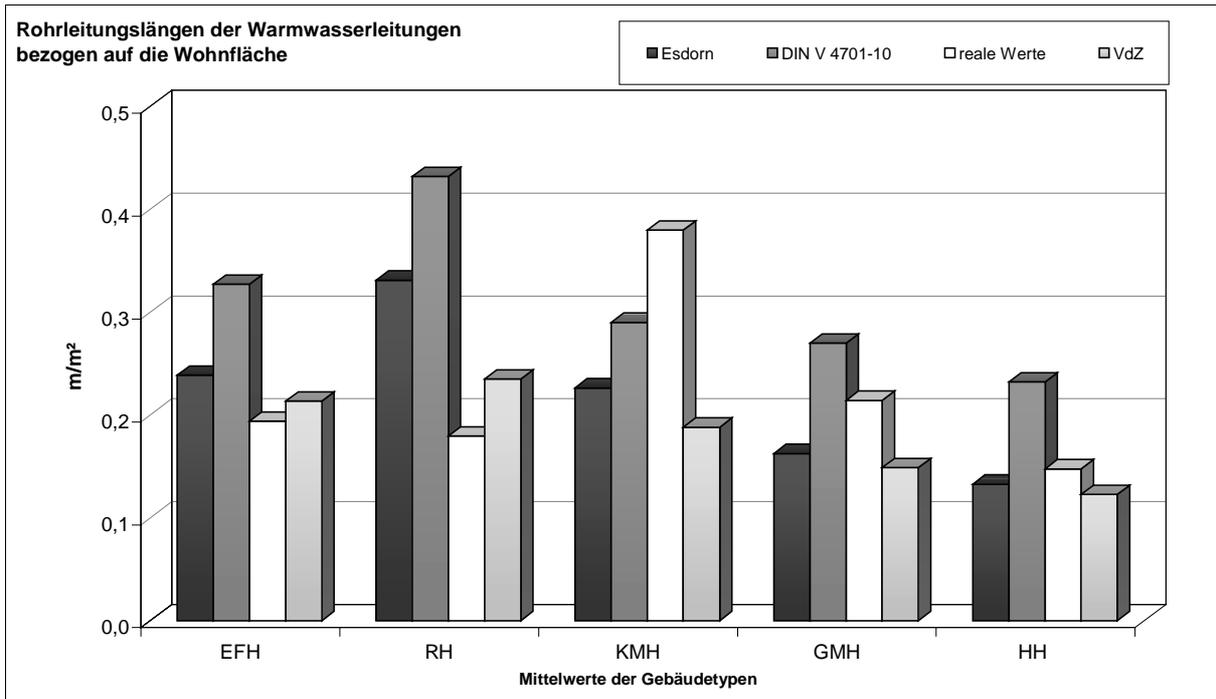


Bild 6.25: Gegenüberstellung der theoretischen und tatsächlichen Rohrleitungslängen (Warmwasser)

Weitere detaillierte Auswertungen sowie die genaue Bezeichnung der in den Bildern und Tabellen verwendeten Abkürzungen befinden sich im Anhang in Kapitel 9.3.

6.3.3.4. Wärmeübergabe

Die Systeme der Wärmeübergabe entstammen ebenfalls der Befragung aus Hessen. Die Tendenz des Aufkommens von Fußbodenheizungen ist steigend, je jünger das Gebäude ist. Der Anteil in kleinen Gebäuden ist deutlich höher.

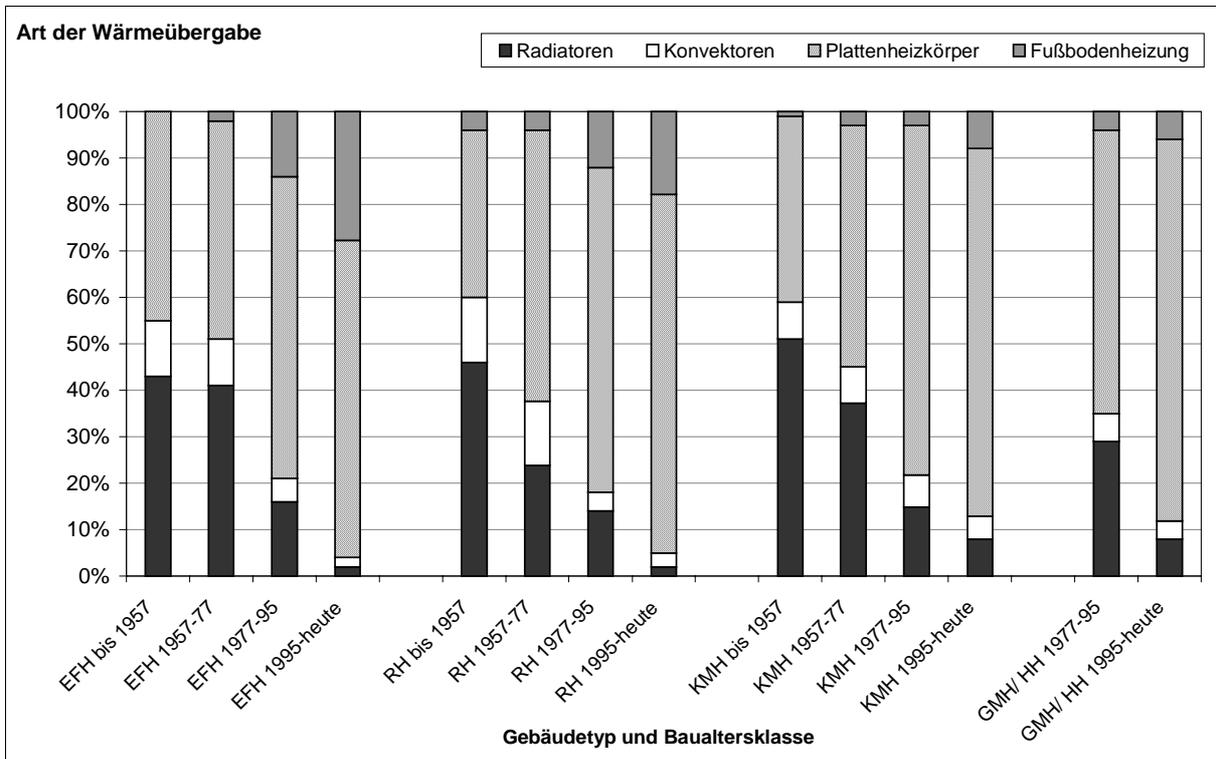


Bild 6.26: Wärmeübergabe

6.3.3.5. Regler, Thermostatventile und Pumpen

Befragungen von Heizungsbauunternehmungen - auch im Zusammenhang mit diesem Projekt - lassen folgende Tendenz erkennen: die Mehrzahl der Regler und Thermostatventile sind in der Praxis nicht eingestellt, sondern im Auslieferungszustand eingebaut. Der Anteil beläuft sich, je nach Quelle auf etwa 80...95%. Die Anzahl der Pumpen, die auf oberster Drehzahlstufe läuft, ist etwa genauso groß.

Diese Zahlen betreffen alle Arten von Anlagen, sowohl alte als auch neue. Die zu Beginn des Aufkommens der Pumpenwarmwasserheizung noch übliche Praxis der Rohrnetzauslegung und des Abgleichs ist heute - aus diversen Gründen - kaum noch vorzufinden. Selbst die einstmals ausgelegten Netze laufen mittlerweile nicht mehr im qualitätsgesicherten Zustand, denn mit der Fassadenmodernisierung vieler Baukörper sind die Heizflächen überdimensioniert.

6.3.4. Rückschlüsse

Auf Basis der Typologisierung von Gebäuden und Anlagen sowie der Bautätigkeit in Deutschland können in Hinblick auf die Problemstellung dieses Forschungsvorhabens folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Mehrzahl der Gebäude gehören dem Bestand an und müssen künftig noch auf einen besseren Standard saniert werden.
- Die Mehrzahl der Gebäude sind Mehrfamiliengebäude mit ausgedehnten Netzen und einer Vielzahl unterschiedlicher Nutzer, in denen eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik und Nutzung den größten Einspareffekt bringen kann.
- Die zentrale Versorgung mit Heizwärme und Trinkwarmwasser hat den größten Stellenwert in Deutschland und nimmt weiter zu. Damit steigt der Anteil von Netzen, für die eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik erforderlich ist, an.
- Der Anteil alter Gebäude, die mit teilweise ungedämmten Leitungen mit oft sehr großen Durchmessern ausgestattet sind, bildet den überragenden Anteil aller Gebäude.
- Die Verlegung von Kunststoffleitungen im Fußboden nimmt im Neubau zu. Diese Verlegeart mit zentralen Verteilern und Sammlern bewirkt aufgrund hoher verlegter Rohrleitungslängen (zumeist wenig gedämmt wegen der Fußbodenaufbauhöhen) hohe Verteilverluste und sollte künftig überdacht werden.
- Bei der Sanierung von Gebäuden älteren Baujahrs bietet sich die Chance, die größeren Mengen ungedämmter zugänglicher Leitungen nachträglich zu dämmen.
- Die hauptsächliche Verlegeart für Heizleitungen ist das Zweirohrsystem mit unterer Verteilung. Es bedingt aufgrund seiner Konstruktion den hydraulischen Abgleich u.a. Qualitätssicherungsmaßnahmen.
- Im Quervergleich aller Wohngebäude sind etwa 0,6...0,7 m/m² Heizwasserleitungen und 0,2...0,3 m/m² Trinkwarmwasserleitungen verlegt (Bezug ist die Wohnfläche). Davon der größte Anteil innerhalb des beheizten Bereiches. Das bedeutet eine mittlere Wärmeabgabe der Verteilungen von etwa: 25...35 kWh/(m²a) nur innerhalb der Heizzeit, bei gedämmten Leitungen und mittleren Systemtemperaturen. Im größeren Geschosswohnungsbau ist dieser Wert fast ausschließlich im beheizten Bereich zu finden. Der Wert der Wärmeabgabe der Verteilungen ist bei nicht abgeglichenen Netzen, bei ungedämmten Leitungen und bei Einrohrsystemen noch sehr viel höher.

6.3.5. Fazit

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Studie auf andere Gebäude - abgeleitet durch die Typologisierung - ist gegeben.

Die Typologisierung von Gebäuden und Anlagentechniken zeigt, dass die Problematik des Zwangswärmekonsums und der Reaktion der Nutzer auf angebotenes Verschwendungspotential im modernisierten Bestand zumindest in gleicher Höhe - wenn nicht höher - wie im Neubau erwartet werden kann. Dies liegt vor allem an der in sanierten Gebäuden (Fenster, Dämmung der Aussenwände) vorhandenen alten Anlagentechnik, im speziellen der Verteilsysteme

Für Neubau und Bestand zwingen die Untersuchungsergebnisse zur Ableitung von neuen Regeln für die Planung, Ausführung und Nutzung von Anlagen.

7. Konsequenzen

Aus den Messergebnissen der untersuchten Objekte (Kapitel 5) und den weitergehenden Untersuchungen zur Gebäude- und Anlagentypologie (Kapitel 6) sollen Rückschlüsse auf die Qualitätssicherung der Anlagentechnik gezogen werden. Ziel ist es, Regeln für die Planung, Ausführung und Nutzung zu erstellen, die eine Begrenzung des Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauchs im Wohnungsbau zulassen.

Das Augenmerk liegt dabei besonders auf der Darstellung der Auswirkungen der Wärmeverluste der Wärmeverteilung auf die Energiebilanz. Folgende Punkte werden näher besprochen: Konsequenzen und Regeln für den Neubau und den sanierten bzw. modernisierten Bestand sowie die Problematik der Heizkostenerfassung- und -verteilung. Die mögliche, künftig geänderte Handhabung der Heizkostenabrechnung kann damit begründet werden.

Eine Abschätzung möglicher Einsparpotentiale des Energiebedarfs wird am Ende des Kapitels vorgestellt.

7.1. Konsequenzen für die Anlagentechnik

Grundlage der Überlegungen ist das Ergebnis der Studie: Verluste der Transmission und Lüftung und damit der Gesamtenergieverbrauch können durch die Verminderung des Fremdwärmeanfalls verringert werden.

7.1.1. Verteilsysteme der Heizungstechnik

Für die Planung und Umsetzung eines zentralen Wärmeverteilnetzes im Niedrigenergiehaus sollten folgende Größen unbedingt einer Qualitätssicherung unterliegen: die Länge und Lage der Leitungen, die Ausführung der Wärmedämmung. Auf andere Größen wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

Je kürzer wärmeführende Leitungen, desto geringer sind die zu erwartenden Wärmeverluste. Damit sinken Betriebskosten. Aber auch die Investitionskosten in das Wärmeverteilnetz sind geringer. Die Anordnung der zentralen Verteilleitungen im Gebäude muss zwischen Architekt und Anlagenplaner abgestimmt werden. Ziel muss es sein, die Länge der Leitungen außerhalb und innerhalb des beheizten Bereiches so gering wie möglich zu halten.

Das heute übliche Verteilsystem ist die wohnungsweise oder nutzeinheitenweise Anbindung aller Heizkörper an einen zentralen Verteiler. Dies führt zu einer großen Menge von Anbindeleitungen. Dieses System lässt die Heizkostenerfassung einer Wohn- oder Nutzeinheit mit einem Wärmemengenzähler zu, die jedoch oft gar nicht genutzt wird. Mit dieser Art der Verteilung ergeben sich jedoch große Mengen an estrichverlegten Rohrleitungen, die Wärme ungeregt als Fremdwärme abgeben können. Bei Wahl dieser Verteilart ist darauf zu achten, die Leitungen - auch die im Estrich verlegten - mit halber aber besser einfacher Dämmdicke nach EnEV 2002 zu dämmen. Die Leitungen sollten die Wärme, die sie trotz Dämmung abgeben, in dem Raum abgeben, in dem die dezentrale Regelung (Thermostatventil) angeordnet ist. Das heißt, die Rohrleitungen dürfen nicht unter der Dämmebene des Fußbodens angeordnet sein und sie sollten so wenig wie möglich durch andere Räume verlaufen.

Sind für die Heizkostenerfassung dezentrale Messgeräte an jedem Heizkörper oder die flächenbezogene Abrechnung geplant, dann kann abweichend von dieser Art der Verteilung über einen zentralen Verteiler auch eine strangweise Zusammenfassung von übereinander liegenden Heizkörpern in Erwägung gezogen werden. Auch für dieses System gilt: die Stränge, in denen ständig Heizwasser zirkulieren kann, sind entsprechend zu dämmen. Die einfache Dämmdicke nach EnEV 2002 sollte dabei das Minimum sein, vor allem weil die Strangleitungen durch Wohneinheiten anderer Nutzer geführt werden.

Für das Niedrigenergiegebäude empfiehlt es sich, zentrale Verteilleitungen außerhalb des beheizten Bereiches und im Heizraum (soweit vorhanden) mit doppelter Dämmstärke zu dämmen. Auch alle Armaturen und Einbauten unterliegen erhöhtem Wärmeschutz. Da sie durch ihre filigrane Bauweise eine sehr große Oberfläche haben, bieten sie ein Vielfaches des Wärmeabgabepotentials einer unge-dämmten Rohrleitung gleicher Baulänge.

Die Konsequenz für Verteilsysteme ist die Optimierung der Leitungslänge und des Dämmstandards. Die heute üblichen Verteilsysteme sollten in folgender Hinsicht überdacht werden:

- Die Verteilnetze sind kurz zu planen
- Alle Leitungen sind zu dämmen, auch Anbindeleitungen.
- Die Verlegung soll so weit wie möglich im beheizten Bereich eines Gebäudes erfolgen.
- Die Planung und Ausführung von Dämmmaßnahmen sollte im Rahmen der Qualitätssicherung dokumentiert werden.

Für die zentrale Warmwasserbereitung ist der Einsatz von Zirkulationsleitungen im Wohngebäudebereich nicht mehr wegzudenken. Begründet ist diese Handhabung in der Praxis vor allem durch den Komfortanspruch der Nutzer und die Legionellenprophylaxe. Lediglich kleinere Ein- und Zweifamilienhäuser werden teilweise mit zentraler Versorgung ohne Zirkulation ausgestattet.

Der Einsatz einer Zirkulation bewirkt einen sprunghaften Anstieg der mittleren Wassertemperatur im Verteilnetz - verglichen mit Netzen ohne Zirkulation. Ein Großteil der Rohrabschnitte wird ständig (nicht nur bei Zapfung) auf Temperatur gehalten. Es gelten die selben Aussagen zur Dämmung und Leitungslänge wie für die Heizung.

Ein weiterer Ansatz liegt in der dezentralen wohnungsweisen Warmwasserbereitung mit kleinen Speichern und/oder direkter Warmwasserbereitung in Plattenwärmeübertragern, versorgt durch ein zentrales Heizungsnetz auf höherem Temperaturniveau. Die entstehenden Wärmeverteilverluste aufgrund ganzjährig hoher Vorlauftemperaturen können durch eine verbesserte und erhöhte Dämmung reduziert werden.

Für die Sanierung von vorhandenen Gebäuden hin zu einem Niedrigenergiestandard wird üblicherweise das vorhandene Rohrnetz beibehalten. In diesem Fall sind alle vorhandenen, zugänglichen Leitungen und Armaturen im unbeheizten Bereiches wenn möglich mit doppeltem Dämmniveau gegen Wärmeverluste zu schützen. Dies ist vor allem wegen der oft großen Durchmesser der Leitungen notwendig. Die im beheizten Bereich verlaufenden Leitungen können - sofern es die Optik und eine zugängliche Lage zulässt - ebenfalls wenigstens einfach nach EnEV 2002 gedämmt werden.

Nur so lässt sich der Fremdwärmeanfall im modernisierten Gebäude begrenzen und damit der Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauch effektiv vermindern.

7.1.2. Maschinelle Lüftungstechnik

In Niedrigenergiegebäuden kann der Lüftungswärmebedarf größer als der Transmissionswärmebedarf sein. Obwohl die Gebäudehülle immer besser wärmege-dämmt und dichter ausgeführt wird, muss in einem Gebäude ein Mindestluftwechsel aufrecht erhalten werden. Die natürliche oder kontrollierte Gebäudelüftung ist in verstärktem Maße im dichten Niedrigenergiehaus aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen zwingend erforderlich.

Damit verbunden ist ein Energieverlust. Sollen weitere Energieeinsparpotentiale durch Verminderung des Luftwechsels erschlossen werden, kommen verschiedene Lösungen in Betracht:

- Fensterlüftung mit gezielter Nutzeraufklärung,
- Installation von Abluftanlagen,
- Installation von Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Jede der Lösung führt zu einem bestimmten Luftwechsel und damit Lüftungswärmeverbrauch des Gebäudes, der sowohl von der baulichen und anlagentechnischen Ausführung als auch von der Nutzung und Lüftungsergänzung durch Lüftungsanlagen abhängt.

Das Ziel aller mechanischen Lüftungseinrichtungen ist, zwei gegensätzliche Grundforderungen an die Gebäudelüftung in Einklang zu bringen: zum einem die bauphysikalische und hygienische Forderung nach Maximierung des Luftwechsels, um eine gute Luftqualität und eine ausreichende Feuchteabfuhr sicherzustellen, auf der anderen Seite die einspartechnische und umweltpolitische Forderung einer Minimierung des Luftwechsels und damit des Lüftungswärmebedarfs, um den Energiebedarf und CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Soll eine mechanische Lüftungsanlage in einem Gebäude installiert werden, dann kann prinzipiell zwischen einfachen Abluftanlagen und Zuluft- / Abluftanlagen unterschieden werden. Den zuletzt genannten Typ gibt es mit Wärmerückgewinnung und / oder Wärmepumpe und / oder Heizregister.

Zusätzliche Energieeinsparungen lassen sich durch den Einsatz von Wärmerückgewinnungseinrichtungen mit Wärmeübertragern und zusätzlich mit Wärmepumpen erzielen. Demgegenüber steht der erhöhte Aufwand für die Förderung der entsprechenden Luftvolumenströme mit Ventilatoren. Der Einsatz dieser Anlagentechnik ist nur bei hoher Gebäudedichtheit, sehr guten Wärmerückgewinnungseffekten, günstiger Ventilatorauswahl und optimalem Nutzerverhalten empfehlenswert.

Der heutige Standard von Lüftungsanlagen ermöglicht in den meisten Fällen noch keinen wirtschaftlichen Betrieb komplexer Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung und / oder mit Wärmepumpen - zusätzlich zu einem zentralen Heizsystem. Standard im Niedrigenergiehaus (vor allem in größeren Wohnbauten) ist sicherlich der Einsatz einfacher Abluftsysteme mit Abluftventilatoren in den Nassräumen bzw. in der Küche, wobei definierte Zuluftmengen über die Wohn- bzw. Schlafräume, möglichst bedarfsabhängig, zugeführt werden müssen.

Reine Luftheizanlagen (mit Wärmerückgewinnung und / oder Wärmepumpe mit Nachheizregister) werden sich mit größter Wahrscheinlichkeit im Niedrigenergiehaus nur in Einzelfällen durchsetzen, da der Energieaufwand für den Lufttransport noch zu hohe Werte aufweist. Dies gilt nicht für das Passivhaus.

Bereits in früheren Veröffentlichungen wurden für Mehrfamiliengebäude im NEH-Standard Abluftanlagen empfohlen, weil geringe, nahezu luftdichte Außenflächen und fugendichte Fenster zu erhöhtem Schimmelpilzrisiko führen [Reichel99] [Richter01]. Der Einsatz der feuchtegeregelten Abluftanlage muss als eine - vor allem in Hinblick auf die Raumlufthygiene - sinnvolle Maßnahme erachtet werden. Einem Mehrverbrauch durch Nichtakzeptanz der Technik seitens des Nutzers kann durch entsprechende Mieterinformation zur Handhabung der Lüftungsanlage entgegengewirkt werden.

Zuluft/Abluftanlagen werden jedoch wegen der bis zu 3 mal höheren Investitionskosten [Aick99] vorwiegend für Gebäude im Passivhausstandard empfohlen.

Im Zusammenhang mit den Ergebnissen dieser Studie soll an dieser Stelle auf zwei Tatsachen hingewiesen werden:

- Eine Abluftanlage kann bei heutigen Verteilsystemen einen Mehrverbrauch an Energie bewirken, wenn angebotene Fremdwärme einfach abgelüftet wird. Dies ist zum Beispiel bei belüfteten Bädern der Fall, die ihre Luft aus dem Flur ansaugen, in dem mit sehr hoher Dichte Verteilleitungen verlegt sind. Die Wärmeabgabe dieser Leitungen bleibt für die Wohnung ungenutzt.
- Eine Lüftungsanlage, die auf den für Wohnungen üblichen Luftwechsel von $0,4 \text{ h}^{-1}$ eingestellt ist, kann die angebotene Fremdwärmemenge in nicht qualitätsgesicherten Gebäuden nicht abführen. Es wird dazu kommen, dass die Nutzer zwangsweise einen zusätzlichen Luftwechsel provozieren, um behagliche Verhältnisse herzustellen.

Die Installation einer Lüftungsanlage ist sinnvoll, wenn damit durch ausreichende Qualitätssicherung der Heizungsanlage kein sinnloses Ablüften von Fremdwärme zu erwarten ist. Empfohlen werden dann folgende Techniken:

- Zuluft/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung evtl. im Niedrigenergie-Ein- und Zweifamilienwohnhaus, v.a. im zukünftigen Passivhaus
- Abluftanlagen im NEH-Mehrfamilienwohnbau

Nachrüstungen von zentralen Lüftungsanlagen in bestehende, sanierte Gebäude sind oft mit sehr hohen Kosten verbunden. Hier ist es meist wirtschaftlich am sinnvollsten, dezentrale Anlagen einzusetzen und / oder die Nutzer mit den neuen Gegebenheiten der dichten Gebäudehülle und mit einem wirkungsvollen und dosiertem Fensterlüftungsverhalten vertraut zu machen.

Bei einer nicht qualitätsgesicherten Anlagentechnik sollte auf die Nachrüstung einer Lüftungsanlage verzichtet werden, bzw. zunächst der Nutzer geschult werden. Solange ein Zwangswärmekonsum für einzelne Wohneinheiten besteht, ist der Einbau einer Lüftungsanlage nicht sinnvoll, weil der Nutzer zusätzlich lüften wird.

7.1.3. Konsequenzen für Qualitätssicherung

Unter dieser Überschrift sollen die Konsequenzen der im Rahmen dieses Berichtes untersuchten Möglichkeiten der Qualitätssicherung der Anlagentechnik zur Verminderung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zusammengestellt werden. Die Auswirkung fehlender Qualitätssicherung ist in Kapitel 3.4.4 umfassend beschrieben.

Hydraulischer Abgleich

Für die hydraulische Auslegung und Gestaltung der Wärmeverteilung existiert derzeit für den Fachplaner und Fachhandwerker keine technische Regel oder Norm. Ein entsprechendes Normenwerk ist zur Erfüllung der Forderungen nach VOB/C DIN 18380 (hydraulischer Abgleich) und einer energieoptimierten Dimensionierung der Wärmeverteilung in Gebäuden mit niedriger Heizlast dringend erforderlich.

Der hydraulische Abgleich ist eine Grundvoraussetzung für eine funktionierende Heizungsanlage und sollte auf folgender Grundlage basieren: nach Festlegung der einzelnen Rohrleitungsnennweiten und der Ventildimensionierung ist die noch "nicht verbrauchte" Druckdifferenz für jeden Verbraucher zu berechnen. Aus dieser wird die Voreinstellung des Thermostatventils oder der Rücklaufverschraubung ermittelt und in den Planungsunterlagen dokumentiert. Die tatsächliche Umsetzung ist dann vom Installationsbetrieb durchzuführen und vom Fachplaner zumindest stichprobenartig vor Ort zu kontrollieren. Eine Erklärung darüber sollte bereits im Leistungsverzeichnis als pflichtgemäße Forderung aufgenommen werden.

Ein nicht durchgeführter hydraulischer Abgleich der Heizungs- und Lüftungstechnik führt insbesondere in größeren Bauten zur Unterversorgung ungünstig gelegener Wohn- bzw. Nutzeinheiten (weit von der Pumpe bzw. vom zentralen Ventilator entfernt) mit Frischluft und Wärme. Gleichzeitig werden Räume in Nähe der Pumpe und des Ventilators übertversorgt. Nicht durchdachte Gegenmaßnahmen, wie Erhöhung der Pump- und Ventilatorleistung bzw. Anhebung der Heizkurve am zentralen Regler bewirken, dass auch die ungünstig gelegenen Räume ausreichend mit Frischluft und Wärme versorgt werden. Alle anderen werden im Gegenzug noch mehr gelüftet und das Überangebot an Wärme erhöht sich. Das führt zu den in dieser Studie beobachteten Mehrverbräuchen an Energie.

Im echten Niedrigenergiegebäude kann auf eine Rohrnetzberechnung und einen hydraulischen Abgleich nicht verzichtet werden. Besonderes Augenmerk sollte auf eine saubere nachvollziehbare Dokumentation der notwendigen Planungsdaten gelegt werden. Im Fall der Sanierung ist ein hydraulischer Abgleich des bestehenden Netzes ebenso notwendig. Da die Leitungsdimensionen und Längen oft nur geschätzt werden können, ist der Abgleich überschlägig. Aber auch eine nur überschlägige Einregulierung vermindert das Verschwendungspotential erheblich.

Dimensionierung von Heizflächen

Die Auslegung von Heizflächen erfordert im Niedrigenergiehaus eine feinere Vorgehensweise als es bisher üblich war. Wie bei der Qualitätskontrolle des Gebäudes mit Überprüfung einer dichten Bauweise und einer Vermeidung von Wärmebrücken ist es in der Anlagentechnik erforderlich, die planmäßigen Daten für die Auslegungsspreizung und die zugehörigen Volumenströme zu überprüfen. Bei der Auslegung der Heizflächen sollte die Leistung der Heizkörper möglichst genau den Vorgaben der Heizlastberechnung entsprechen.

Vielfach wird das Aufheizverhalten des Raumes als Argument für eine größere Heizflächenauslegung angeführt, wobei gewährleistet werden soll, dass nach einer längeren Absenkphase eine Schnellaufheizung möglich ist. Die Schnellaufheizung nach einer Heizunterbrechung (z.B. Nachtabenkung) gilt im NEH durch die geringen Heizlasten als problematisch.

Beim NEH wird die Raumauskühlung von der Dauer der Heizunterbrechung, der Güte der Wärmedämmung der Außenhülle und dem vorliegenden Luftwechsel bestimmt. Ein erhöhter Luftwechsel durch Fensteröffnung führt zu einer deutlichen Verringerung der Temperatur. Diese kann nach einer üblichen Heizunterbrechung 0,5 bis 2 K ohne Fensterlüftung, bei geöffnetem Fenster bis zu 5 K betragen. Eine nach stationärer Heizlast dimensionierte Pumpenwarmwasserheizung kann den Anforderungen einer Schnellaufheizung im Niedrigenergiehaus nicht folgen.

Dem Problem der Schnellaufheizung kann folgendermaßen begegnet werden: um den erforderlichen Flächenzuschlag für den Aufheizfall vermeiden zu können, sollte die zentral gesteuerte Nachtabenkung so eingestellt sein, dass unterhalb einer bestimmten Außentemperatur kein Absenkbetrieb mehr gefahren wird. Somit werden morgendlichen Aufheizspitzen vermieden. Diese Strategie bietet sich vor allem im Mehrfamilienwohnbau an.

Sollen die Heizflächen dennoch mit Aufheizzuschlägen versehen werden, dann nach Möglichkeit nur in Räumen, in denen durch die Nutzung (z.B. kombinierter Wohn- und Schlafrum) regelmäßiges Aufheizen zu erwarten ist. Ein Mehrverbrauch aufgrund unsachgemäßer Nutzung kann dann die Folge sein.

Eine weitere Möglichkeit wäre ein separater Heizkörper als Reserve, der nur für den betreffenden Raum im Aufheizfall, z.B. zeitlich gesteuert über ein elektronisches Heizkörperventil, in Betrieb genommen wird. In der Regel stellt sich nach einer entsprechenden Nutzereinweisung eine hohe Akzeptanz ein.

Durch die dichte Bauweise der Gebäudehülle kommen im Niedrigenergiegebäude vermehrt mechanische Lüftungsanlagen, in der Regel Abluftanlagen, zur Anwendung. Diese gewährleisten einen hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel während der Heizperiode. In Zukunft werden auch für Lüftungsanlagen zusätzliche Kriterien für die Regelung zur temporären Heizlastverringering sinnvoll sein. Eine verringerte Lüftungsstufe (Schwachlüftung) mit automatischer Rückstellung in den Nennbetrieb bietet sich z.B. als Lösung an, um während der Aufheizzeit die Lüftungsheizlast zu reduzieren.

Bei der Heizlastberechnung zur Heizflächenauslegung ist zu beachten, dass bei Abluftanlagen mit Außenluftdurchlässen in den Zulufräumen (i.a. Schlafzimmer, Wohnzimmer) die vollen projektierten Außenluftvolumenströme angesetzt werden müssen. In Ablufträumen (Funktionsräume, wie Bad, WC, Küche) tritt lediglich bei unterschiedlicher Raumtemperatur ein Lüftungswärmebedarf auf. Luftwechsellastzahlen aus der EnEV 2002 und den zugehörigen Normen beziehen sich auf eine ganze Wohnung oder ein Gebäude und stellen einen Mittelwert für die Heizperiode dar. Sie dürfen zur Auslegung von Wärmeabgabeeinrichtungen nicht herangezogen werden.

Der Effekt des Einsatzes eines zwangsdurchströmten Wärmeerzeugers auf die Art der Heizkörperbemessung wird während des Abschlusses des vorliegenden Forschungsvorhabens noch untersucht. Durch den zwangsweise hohen Volumenstrom in solchen Anlagen sind nur kleine Temperaturspreizungen für den Kessel möglich. Das Temperaturniveau in solchen Anlagen sollte sehr niedrig liegen.

Dies erfordert die Anpassung der Reglerheizkurve an die Heizflächentemporauslegung. Bei niedrigen Heizmitteltemperaturen kleiner 35...37 °C, die bei witterungsgeführter Vorlauftemperaturregelung ab Außentemperaturen oberhalb 5...10 °C auftreten, kommt es dann v.a. im Bereich von Mehrfamilienhäusern zu Beschwerden, wenn diese nach einer Heizpause die Thermostatventile öffnen und die Heizkörperoberflächentemperaturen unterhalb der Hauttemperatur liegen. In vielen Fällen wird dann die Heizkurvensteilheit wieder angehoben.

Für die Modernisierung liegt die Größe der Heizfläche bereits fest. Hier kann die Überdimensionierung von Heizflächen nur vermieden werden, indem das Temperaturniveau entsprechend angepasst (meist abgesenkt) wird. Wenn einzelne Heizkörper eines Gebäudes sehr knapp bemessen sind und die Absenkung des Temperaturniveaus für das ganze Gebäude damit verhindern, sollte über einen Austausch dieser Heizflächen nachgedacht werden.

Einstellung der Regelung: Heizkurve

Die Temperaturregelung für die Raumheizung sollte auch im Niedrigenergiegebäude überwiegend zweistufig sein: neben der zentralen Vorlauftemperaturregelung gibt es eine dezentrale Nachregelung im Raum. In den meisten Fällen ist diese Forderung mit dem Einsatz einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung im Zusammenspiel mit Thermostatventilen oder elektronischen Einzelraumregelsystemen erfüllt.

Wegen des wachsenden Anteils von Wärmegewinnen, die unabhängig von der Außentemperatur auftreten, und wegen der zunehmend dynamischen Betriebsweise von Heizanlagen wird die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung nach der Außentemperatur mittel- und langfristig den Rückzug antreten. Es werden sich Regelsysteme durchsetzen, welche den Vorlauftemperatursollwert nach der Heizlast bzw. nach dem aktuellen Wärmebedarf führen. Derzeit ist der Einsatz von witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelungen jedoch noch Standard im Niedrigenergiegebäude.

Die überwiegende Anzahl aller Vorlauftemperaturregler werden derzeit mit der Werkseinstellung (also 70 bis 75 °C Vorlauftemperatur im Auslegungsfall, d.h. am kältesten Tag) in Betrieb genommen, auch wenn die Heizflächen auf einen Niedertemperaturbereich (55 °C Vorlauftemperatur und 45 °C Rücklauftemperaturen) ausgelegt sind. Wird dieses Vorgehen durch eine künftige Qualitätssicherung nicht geändert, kann einem unnötigen Mehrverbrauch nicht entgegengewirkt werden.

Zu einer Anlagenplanung und -ausführung sollte künftig eine dokumentierte Planung und Einstellung der Vorlauftemperatur gehören.

Einstellung der Regelung: Absenkphasen

Der Einsatz zeitgesteuerter Funktionen der zentralen Regelung (Nachtabsenkung, Heizungsoptimierung) führt im Mittel zu niedrigeren Rauminnentemperaturen. Aus energetischer Sicht ist eine zentral geregelte Absenkung der Temperatur daher zu begrüßen. Mit einer Raumtemperaturabsenkung ist allerdings das Problem der Wiederaufheizung verbunden.

Bereits im guten Niedrigenergiegebäude kann der Fall eintreten, dass die nach der Absenkzeit zur Verfügung stehende Heizleistung nicht ausreicht, das Gebäude in entsprechend akzeptablen Zeiträumen wieder auf die Solltemperatur zu beheizen. In Ultraniedrigenergiegebäuden und Passivhäusern verstärkt sich dieses Problem entsprechend. Dem geschilderten Problem wirkt die langsame Auskühlung eines Gebäudes mit hoher energetischer Güte positiv entgegen: je höher der Dämmstandard und je geringer die Lüftungswärmeverluste, desto langsamer kühlt ein Gebäude aus. Allerdings nimmt auch der Einspareffekt durch eine Nachtabsenkung der Raumtemperatur mit steigender energetischer Güte des Gebäudes ab.

Im Mehrfamilienwohngebäuden sind zentrale Temperaturabsenkungen in der Praxis oft nicht mit den Wünschen der Nutzer vereinbar. Die real eingestellten Absenkphasen sind dort oft sehr kurz - und im Sinne der Energieeinsparung nahezu vernachlässigbar.

Für die Planung und Einstellung von zentralen Absenkphasen gilt daher: für die praktische Umsetzung muss sichergestellt sein, dass der zur Verfügung stehende Wärmeerzeuger und die in den Räumen installierten Heizflächen in der Lage sind, das Gebäude nach der Temperaturabsenkung entsprechend schnell aufzuheizen. Für gemischt genutzte Räume, wie Wohn-/Schlafräume kann es sinnvoll sein, einen zweiten zusätzlichen kleinen Heizkörper mit einem zeitlich gesteuerten elektronischen Thermostatventil vorzusehen, der nur die morgendliche Schnellaufheizung mit übernimmt, wenn durch nächtliche Fensterlüftung der Raum stärker ausgekühlt wurde. Der energetische Einspareffekt von Absenkungen in Gebäuden mit hohen Nutzansprüchen darf nicht überbewertet werden.

Einstellung der Regelung: Heizzeit

Die theoretische Heizgrenze für ein Gebäude ist bestimmt von der Höhe der Wärmegewinne im Verhältnis zu den Wärmeverlusten. Je größer die Menge der Wärmegewinne und je geringer die Wärmeverluste, desto niedriger ist die Außentemperatur, ab der geheizt wird. Diese Zusammenhänge wurden mehrfach erklärt. Es gilt jedoch: die theoretische Heizgrenztemperatur und die reale Länge der Heizzeit müssen in der Praxis nicht korrespondieren.

Wenn ein Gebäude mit echtem Niedrigenergiestandard unabhängig von der Nutzung so ausgeführt wird, dass sich rein rechnerisch eine Heizgrenztemperatur von 10 bis 12 °C ergibt, so müssten sich korrespondierend etwa 190 bis 220 Heiztage pro Jahr einstellen. Dieser Wert wird oft nur im Einfamilienhaus erreicht. Denn nur dort liegt es im Ermessen eines einzelnen Nutzers, die Heizung im Herbst ein- bzw. im Frühjahr abzuschalten, wenn die Heizgrenztemperatur erreicht ist. Im Mehrfamilienwohnbau sind Heizungsanlagen in der Praxis durchaus länger in Betrieb als nötig. Dazu werden an den Reglern der Anlage eingestellte Heizgrenztemperaturen häufig zu höheren Einstellwerten hin verändert.

Die Höhereinstellung bedeutet einen Mehrverbrauch an Energie. Auch wenn nahe der Heizgrenze kaum geheizt wird, sind doch Wärmeerzeuger und die Verteilungen auf Betriebstemperatur und weisen Wärmeverluste auf.

Der Komfortwunsch des Gebäudenutzers nach Heizwärme ist berechtigt. Er sollte aber in Nutzerschulungen soweit aufgeklärt sein, dass er über die Konsequenz (Kosten und Umwelt) einer langen oder wie in vielen nah- und fernwärmeversorgten Anlagen durchgehenden Wärmebereitstellung informiert ist.

Die heute in Reglern realisierten Funktionen, wie eine einstellbare Heizgrenztemperatur (gedämpfte Außentemperatur in Abhängigkeit von der Gebäudeschwere und dem Dämmstandard) sollten tatsächlich genutzt werden. Auf jeden Fall sind geplante und später umgesetzte Reglereinstellungen der Heizgrenztemperatur zu dokumentieren.

Dezentrale Regelung: Thermostatventile

Im Niedrigenergiegebäude werden - nach Ansicht der Autoren - auch künftig Heizflächen mit Thermostatventilen bzw. auch mit elektronischen Regeleinrichtungen eingesetzt werden. Ein vernünftiges Regelverhalten von Thermostatventilen setzt eine Rohrnetzberechnung mit anschließender Thermostatventilwahl und eine Voreinstellung (Hydraulischer Abgleich) voraus. Von den Herstellern ist ein erweitertes Produktangebot hin zu Ventilen mit kleineren Durchlasswerten (k_v -Wert) zu fordern.

Regelung der Lüftung

Bei Gebäuden mit Lüftungstechnik ist darauf zu achten, dass die Regelung der Heizungs- und Lüftungsanlage aufeinander abgestimmt sind. Dies gilt beispielsweise für Gebäude mit einer ganzjährig betriebenen Abluftwärmepumpe zur Trinkwarmwasserbereitung. Es muss sichergestellt werden, dass die statische Heizung im Frühjahr und Herbst nicht nur deshalb in Betrieb ist, weil sie die von der Lüftungsanlage erzeugten Lüftungswärmeverluste ersetzen muss.

Regelung der Zirkulationspumpe der Trinkwarmwasserbereitung

Für Netze mit Zirkulationspumpen gilt: die Länge der täglichen Zirkulationsdauer ist durch eine entsprechende Regelung zu begrenzen. Dazu dienen zeit-, druck- und temperaturgesteuerte Regeleinrichtungen. Der Einbau und die korrekte Einstellung dieser Regler sollte im Rahmen der Qualitätssicherung im Niedrigenergiehaus dokumentiert werden.

7.1.4. Fazit

Die Konsequenzen der Untersuchungsergebnisse sollen an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden. Die Begrenzung oder Minderung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste im Niedrigenergiegebäude kann nur erreicht werden, wenn:

- die gewählten Verteilsysteme der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung möglich kurz sind, gegen Wärmeverluste möglichst gut gedämmt sind und sie möglichst im beheizten Bereich eines Gebäudes angeordnet sind,
- die Maßnahmen der Qualitätssicherung der Anlagentechnik (Heizflächendimensionierung, hydraulischer Abgleich, Reglereinstellung u.a.) möglichst vollständig geplant und in die Praxis umgesetzt sind.

7.2. Konsequenzen für die Heizkostenabrechnung

Die Auswirkungen der Fremdwärme auf die Heizkostenabrechnung ist nur am Rand ein Thema dieser Untersuchung. Dennoch soll dieses Thema hier behandelt werden, weil es für den Geschosswohnungsbau eine wichtige Rolle spielt. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der nicht über die Erfassungsgeräte abgerechnete Anteil der Wärmeenergie eines Gebäudes im NEH-Neubau und im sanierten Altbau zu einem großen Teil aus den Wärmeverlusten der Verteilung besteht.

Von diesen Wärmeverlusten fällt wiederum ein Großteil als innerer Fremdwärmeanfall innerhalb der beheizten Gebäudehülle an, aber er kommt im allgemeinen nur den mit Steigesträngen ausgestatteten Wohnungen zugute. Dies kann in erheblichem Maße Ungerechtigkeiten in der Heizkostenverteilung vor allem für die Wohnungen im obersten Geschoss hervorrufen - wobei das Problem um so ausgeprägter ist, je besser gedämmt und dichter ein Gebäude ist.

Eine Verschiebung kann auch hervorgerufen werden durch die heute üblich Art, Anschlussleitungen innerhalb oder weitgehend unterhalb der Dämmebene eines Geschosses zu verlegen. Die Wärmeabgabe der Rohre kommt damit den jeweils untenliegenden Wohnungen (als "Deckenheizung") zugute.

Der Anteil der über die Rohrleitungen abgegeben Wärme ist bei Einrohrheizungen weit höher als bei Zweirohrheizungen - vergleiche auch Kapitel 6.2.2.

Der verbrauchsabhängige Anteil an den Gesamtheizkosten nimmt - nach Untersuchungen der Autoren - im Niedrigenergiehaus stetig bis auf Werte von 10 bis 25 % ab. Das heißt 75 bis 90 % der Kosten sind Kapital- und Wartungskosten.

Die Dienstleistung "Heizkostenerfassung" bei Niedertemperaturlauslegung von Heizflächen verteuert sich wegen des notwendigen Einsatzes elektrischer Heizkostenverteiler und kann in Einzelfällen den verbrauchs- bzw. brennstoffabhängigen Heizkostenanteil sogar übersteigen. Die alternative wohnungsweise Wärmemengenerfassung, z.B. mit einem Wärmemengenzähler, führt ebenfalls zu erhöhten Kosten, sowohl in der Investition als auch im Betrieb, da Wärmemengenzähler einen nicht vernachlässigbaren Druckverlust erzeugen, der von der Pumpe als elektrische Hilfsenergie zusätzlich aufgebracht werden muss. Für kleine Volumenströme, wie sie in heutigen Niedrigenergiehauswohnungen auftreten, sind die kleinsten, heute am Markt angebotenen Wärmemengenzähler noch zu groß.

Aufgrund der vagabundierenden Wärmeströme zwischen den nicht gedämmten Wänden verschiedener Wohnungen (die Wärmeströme sind hier schon bei sehr kleinen Temperaturunterschieden sehr groß ggf. größer als nach außen) und aufgrund des unterschiedlichen Fremdwärmeanfalles durch Sonnenstrahlung und innere Wärmequellen entstehen weitere Verbrauchsunterschiede zwischen den Wohneinheiten bzw. Nutzereinheiten - vergleiche auch Bild 7.1.

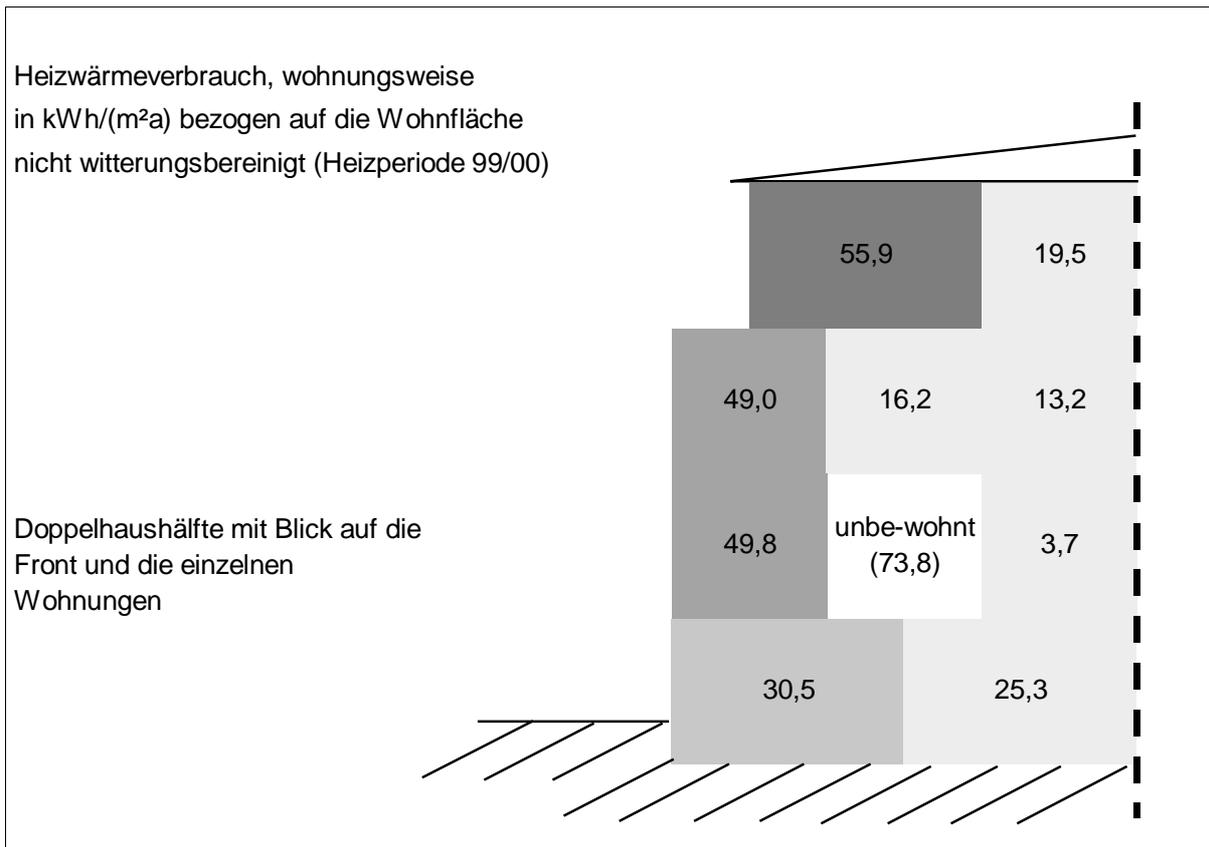


Bild 7.1 Verteilung des wohnungsweisen Heizwärmeverbrauches

Aufgetragen sind von den Heizflächen abgegebene Wärmemengen in einem Seitenschnitt des Gebäudes; das Gebäude ist der linke Teil eines Doppelhauses. Die Wohnung in der Mitte war im Untersuchungszeitraum nicht bewohnt, aber dennoch beheizt und mit der Begründung einer Austrocknung dauernd belüftet; verbrauchsmindernde Fremdwärme fiel durch das Leerstehen nicht an. Umliegende Wohnungen, gerade im Gebäudeinneren (rechts im Bild) profitieren offenbar durch Wärmeströme durch die Wände. Wohnungen mit einem großen Anteil an der Außenfassade weisen einen höheren Wärmeverbrauch - abgegeben über die Heizkörper - auf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Mehrfamilienwohnbereich die Gerechtigkeit der Heizkostenerfassung über Heizkostenverteiler an den Heizkörpern in Frage zu stellen ist. Für das echte Niedrigenergiehaus sollte die flächenbezogene Heizkostenverteilung in Erwägung gezogen werden. Sie kann einen wesentlichen Beitrag zur Kostendämpfung im Wohnungsbau beitragen. Mit dem Übergang auf das Passivhausniveau in den nächsten 10 bis 15 Jahren gewinnt der Einsatz von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung an Bedeutung. Herkömmliche Verbrauchserfassungssysteme verlieren spätestens dann an Bedeutung.

Einem Gegenargument gegen die flächenweise Abrechnung kann an dieser Stelle gleich widersprochen werden: dem Missbrauch von Wärmeangebot durch den Nutzer und damit auftretende Ungerechtigkeiten. Die Heizkostenabrechnung über die Fläche lässt sich hervorragend vor allem dann realisieren, wenn eine Qualitätssicherung der Anlagentechnik stattgefunden hat. Dann können sich nutzungsbedingte Verbrauchsunterschiede durch übermäßiges Verschwenden von Wärme gar nicht erst einstellen. Die Komfortbedingungen in den Wohneinheiten sind gewahrt, aber einer Ausnutzung der Tatsache, dass die Energie nicht erfasst wird, kann es technisch bedingt nicht geben.

7.3. Konsequenzen für die Nutzerinformation

Mit der Problematik der Qualitätssicherung der Anlagentechnik geht die Qualitätssicherung der Nutzung einher. Grundsätzlich muss - unabhängig von der Qualität der Anlagentechnik eine Nutzerinformation über das Verhalten im Niedrigenergiegebäude einhergehen. Die beiden Fälle - eine Qualitätssicherung der Anlage ist durchgeführt oder noch nicht erfolgt - setzen unterschiedliche Informationen voraus. Sie werden im folgenden besprochen.

Nutzerinformation bei noch nicht erfolgter Qualitätssicherung

Wenn die Qualität einer Anlage noch nicht den maximal erreichbaren Standard aufweist, dann können folgende Mängel vorhanden sein:

- der hydraulische Abgleich fehlt,
- die/einige Heizflächen sind überdimensioniert,
- die Vorlauftemperatur ist zu hoch,
- die Heizzeit ist zu lang.

Alle Punkte bewirken ein verfügbares Verschwendungspotential für den Nutzer (siehe Kapitel 3.4.4), welches er nutzen kann und wird. Teilweise ist mit Zwangswärmeconsum zu rechnen.

Wenn eine Qualitätssicherung der Anlage nicht möglich ist, weil finanzielle Mittel fehlen, um einstellbare Thermostatventile nachzurüsten, eine Temperaturanpassung im System erst nach Austausch einiger Heizkörper möglich ist, die Heizzeit nicht verkürzt werden kann, solange das System nicht abgeglichen ist, dann können folgende Nutzerinformationen zu einem geringeren Verbrauch führen:

- Aufklärung über richtiges Lüftungsverhalten (Stoßlüften), um zu vermeiden, dass das angebotene Verschwendungspotential genutzt wird.
- Hinweise, die Thermostatventile manuell herunterzuregeln, weil die zentrale Temperaturabsenkung ohne hydraulischen Abgleich und eingestellte Vorlauftemperatur energetisch unwirksam ist.
- Manuelles Abstellen aller Heizkörper auf Frostschutzbetrieb, sobald die Temperatur draußen die 15°C-Marke übersteigt, um ein Durchströmen des gesamten Netzes wegen nur eines Heizkörpers zu vermeiden.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen hängt allein vom Willen der Nutzer ab. Sie bieten im Geschosswohnungsbau vielfach nur dann eine Erfolgsgarantie, wenn sie von möglichst allen Nutzern befolgt werden.

Nutzerinformation bei bereits erfolgter Qualitätssicherung

Wenn die Qualitätssicherung der Anlagentechnik gewährleistet ist, dann bedeutet das, dass das Verschwendungspotential der Anlage drastisch gesenkt wurde. Dazu gehört auf jeden Fall der hydraulische Abgleich und die Einstellung der Vorlauftemperatur auf einen Wert, der wenig Heizflächenüberdimensionierung bedeutet. Im sanierten Bestand werden immer Heizkörper vorhanden sein, die nach einer Fassadensanierung zu groß sind, aber für einen großen Teil der Heizkörper sollte die gewählte Vorlauftemperatur passen.

Die Nutzerinformation sieht in diesem Fall wie folgt aus:

- Aufklärung über richtiges Lüftungsverhalten (Stoßlüften). Gleichzeitige Information, dass eine Dauerlüftung zum Absinken der Raumtemperatur führt und ein Fehlverhalten des Nutzers, nicht der Anlage ist.
- Hinweis darüber, dass keine 24°C Raumtemperatur mehr erreicht werden können.
- Hinweise, dass die Thermostatventile nachts nicht per Hand heruntergestellt werden müssen, weil es eine zentrale Temperaturabsenkung gibt, die auch dafür sorgt, dass beim Aufstehen ohne Nutzereingriff alles allein wieder warm wird
- Erläuterung der Tatsache, dass das Netz ab einer Außentemperatur von ca. 15°C selbsttätig abgestellt wird.

Die Umsetzung und Akzeptanz der Qualitätssicherung der Anlagentechnik geht einher mit dem Willen der Nutzer, die neuen Bedingungen zu akzeptieren. Ohne Nutzerinformation - vor allem im Mehrfamilienhaus - wird in vielen Gebäuden durch Mieterbeschwerden die durchgeführte Qualitätssicherung durch den Hausmeister wieder rückgängig gemacht.

7.4. Abschätzung des Verschwendungspotentials

An dieser Stelle folgen Kurzchecks, mit deren Hilfe geklärt werden kann, ob ein zu untersuchendes Gebäude übermäßig viel Energie verbraucht.

Check 1 - Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch (nach Abrechnung) des Gebäudes für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung wird mit den Werten, die beispielsweise jährlich von Fa. Techem herausgegeben werden, verglichen [Techem]. Es können auch konkrete Heizspiegel herangezogen werden. Eine Witterungskorrektur sollte erfolgen, kann aber auch in der ersten Grobdiagnose entfallen.

Die Vielverbraucher können so lokalisiert werden (vergleiche auch Tabelle 9.47 im Anhang).

Check 2 - Kennwerte

Mit Hilfe einer Grobdiagnose werden Gebäude und Anlage begutachtet. Es müssen folgende Werte abgeschätzt werden:

- der mittlere U-Wert der gesamten Hülle als gewichteter Mittelwert aller Einzelbauteile,
- die Wärmeverluste der Anlage im unbeheizten Keller,
- der Nutzungsgrad des Erzeugers.

Zunächst wird der Nutzungsgrad des Erzeugers bestimmt bzw. die Verluste des Erzeugers. Dabei helfen Kennwertsammlungen für diverse Wärmeerzeuger [Hessischer Energiepass] oder einfache rechnerische Abschätzungen (Abgasverlust nach Schornsteinfeger-Messung, Strahlungs- und Bereitschaftsverlust nach Kesselalter, z.B. mit Anhaltswerten nach VDI 3808). Aus dem vorliegenden Energieverbrauch (zwingende Voraussetzung) wird die Energiemenge, die an das Netz abgegeben wurde, bestimmt.

Dann wird grob abgeschätzt, welche Verteilverluste für Heizung und Warmwasser im Keller auftreten. Dazu werden die verlegten Meter Rohr gezählt, deren Dämmstandard aufgenommen und die Speicher werden registriert. Anhand einfacher Tabellen - zum Beispiel im Anhang Kapitel 9.4 - werden die Verluste im unbeheizten Bereich überschlägig bestimmt.

Die Verluste im Keller können mit üblichen Kennwerten (siehe auch Tabelle 9.47 im Anhang) verglichen werden. Es kann eine Aussage getroffen werden, ob der Verbrauch hoch oder niedrig ist.

Der Rest an Energie (gemessener Verbrauch weniger Erzeugerverluste weniger Verluste im Keller) ist zwangsweise in den beheizten Bereich geflossen. Er wird aus den bekannten Daten bestimmt. Aus dem mittleren U-Wert und der Gradtagszahl $G_{t_{20,15}}$ wird der Transmissionswärmeverlust bestimmt. Die Gradtagszahl ist ebenfalls in allen gängigen Bilanzverfahren tabelliert.

Wenn der berechnete Transmissionswärmeverlust und die Energiemenge, die in den beheizten Bereich geflossen sind, etwa übereinstimmen (nach Ansicht der Autoren sollte die in den beheizten Bereich fließende Energiemenge nicht mehr als 10...20 kWh/(m²a) über dem Transmissionswärmeverlust liegen), dann ist innerhalb des beheizten Bereiches kein nennenswertes Verschwendungspotential aufgetreten.

Grundlage für diese Theorie ist, dass die Wärmeabgabe der Heizungsanlage im beheizten Bereich etwa so groß sein sollte, wie der Transmissionswärmeverlust, die üblichen inneren Gewinne aus Personen und Geräten (ohne Anlagentechnik) sowie die solare Einstrahlung reichen aus, um die normalen Lüftungsverluste (personenbezogener Verbrauch) zu decken. Alle sonstigen Energiemengen werden abgelüftet.

Check 3 - Monatswerte

Der Gesamtenergieverbrauch wird monatsweise erfasst - zum Beispiel durch Ablesen einer Gasuhr oder eines Wärmemengenzählers.

Die Anteile für Heizung und Trinkwarmwasser werden mengenmäßig getrennt. Entweder durch getrennte Messung oder durch Abschätzung. Der Endenergieverbrauch für Warmwasser lässt sich anhand des jährlichen Warmwasserverbrauches bestimmen, sonst auch über Kennwerte. Für die Verluste des Warmwassersystems kann bei zentralen Systemen etwa dieselbe Energiemenge angesetzt werden wie für die Nutzmenge.

Der monatliche Heizenergieverbrauch in kWh/mon wird geteilt durch die monatlichen Heizgradtage in kWh/mon, die bei einem Wetterdatenanbieter zu erfragen sind. Es ergibt sich zum Beispiel eine Kurve, wie sie in Bild 7.2 dargestellt ist. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Energieverbrauch der Heizung offensichtlich nicht allein vom Wetter abhängt. In den Übergangsmonaten zu Beginn und Ende der Heizzeit liegt ein deutliches Verschwendungspotential vor.

Der Knick in den Übergangsmonaten ist auch zu erkennen, wenn der Einfluss der Trinkwarmwasserbereitung vorher nicht herausgerechnet wurde.

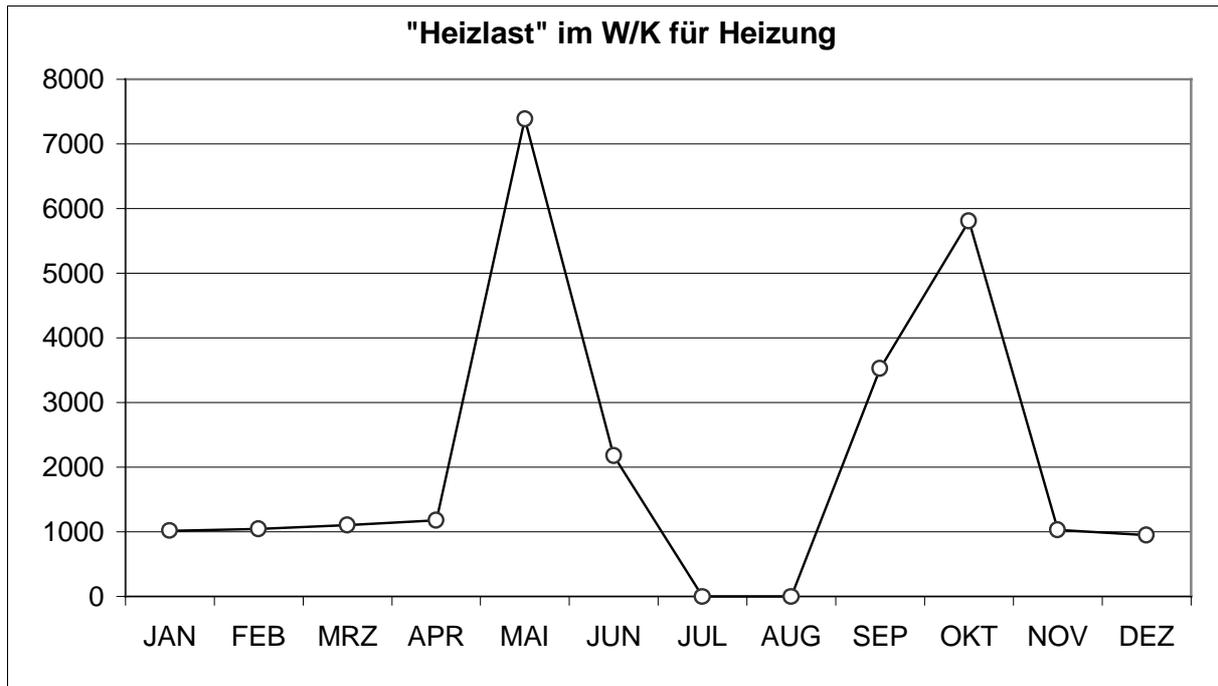


Bild 7.2 Monatlicher Heizenergieverbrauch bezogen auf die Heizgradtage

7.5. Wirtschaftlichkeit von Qualitätssicherungsmaßnahmen

Über die Wirtschaftlichkeit von Qualitätssicherungsmaßnahmen soll an dieser Stelle nur eine allgemeine Aussage getroffen werden.

Die Wirtschaftlichkeit einer nachträglichen Qualitätssicherung im Bestand kann beispielsweise mit dem ΔQ -Verfahren bewertet werden. Aus dem realen Verbrauch wird dazu mit Hilfe einer Energiebilanz der reale Transmissions- und Lüftungswärmeverlust bestimmt. Eine Aufteilung in einzelne Kennwerte ist dabei nicht notwendig. Es wird anschließend die Energiemenge ΔQ bestimmt, die bezogen auf den realen Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauch mit realistischen Luftwechseln und Raumtemperaturen möglich wäre (siehe Kapitel 4.4). Weiterhin kann eine Verbesserung der Wärmeverluste im unbeheizten Bereich eines Gebäudes mit Hilfe von Kennwerttabellen abgeschätzt werden (vergleiche Check 2 - Kennwerte in Kapitel 7.4).

Aus den möglichen einzusparenden Energiemengen eines Jahres $Q_{\text{Einsparung}}$ werden mit Hilfe des Energiepreises und eines Verteuerungsfaktors für die Energie die gesamten Energiekosten für beispielsweise einen Zeitraum von 15 Jahren ermittelt. Hilfen für dieses Verfahren sind im Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung zu finden [LEG].

Diese Gesamtsumme kann (bereinigt um die Zinsanteile für die nächsten 15 Jahre bei einer heutigen einmaligen Investition) in eine wirtschaftliche Qualitätssicherungsmaßnahme investiert werden.

8. Zusammenfassung und Ausblick

8.1. Zusammenfassung der Studie

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden anhand von Felduntersuchungen und Literaturrecherchen Einflüsse auf den Lüftungswärmebedarf im Wohnungsbau untersucht. Anhand von jahresweisen und monatlichen Messdatenauswertungen mit herkömmlichen und weiterentwickelten Bilanzverfahren sind Bandbreiten für heute übliche Luftwechsel ermittelt worden.

Ein mittlerer realer Luftwechsel für ein nach heutigen baulichen Standards errichtetes oder auf heutigen baulichen Standard modernisiertes Wohngebäude **ohne besondere Qualitätssicherung** der Anlagentechnik und Nutzung liegt bei **ca. 0,6...0,8 h⁻¹**. Dieser Wert kann **mit Qualitätssicherungsmaßnahmen** auf **etwa 0,4...0,5 h⁻¹** reduziert werden.

Der Luftwechsel wird dabei vor allem durch das Fremdwärmeangebot der Anlagentechnik bestimmt. Der Nutzer kann auf ein **Zwangswärmekonsum** nur mit erhöhtem Lüften reagieren bzw. nutzt das Angebot an **Verschwendungspotential** aus. Dabei drückt sich dieses genutzte Mehrenergieangebot real nicht nur in höheren Luftwechseln, sondern auch in erhöhten Raumtemperaturen aus.

Eine wichtige Erkenntnis der Studie ist, dass in Neubauten die **praktisch auftretenden Luftwechsel weit höher liegen, als in den üblichen Bilanzverfahren** angenommen. Dies liegt auch an der heute üblichen Vorgehensweise, den Energiebedarf eines Gebäudes mit Hilfe eines Fremdwärmenutzungsgrades zu bestimmen. In der Bilanz wird dabei nicht berücksichtigt, dass der rechnerisch nicht nutzbare Anteil der Fremdwärme in der Praxis zu erhöhten Raumtemperaturen und Luftwechseln (ggf. längeren Heizzeiten) führt. Werden andere Bilanzansätze gewählt, wie die des neu entwickelten ΔQ -Verfahrens, können auch diese Luftwechsel bestimmt werden. Es zeigt sich, dass die in der Praxis auch von anderer Stelle unabhängig von der Art bzw. des Vorhandenseins einer Lüftungsanlage gemessenen Werte für Luftwechsel bestätigt werden können [Erhorn98].

Die Studie befasst sich weiterhin mit der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den modernisierten Bestand und mit der Ableitung von Planungsregeln zur Minimierung des Luftwechsels.

Der **Effekt** des erhöhten Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauches zeigt sich **im modernisierten Bestand noch sehr viel deutlicher**, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dies liegt vor allem an den früher üblichen ungedämmten Verteilsystemen, die teilweise allein (ohne Wärmeabgabe über die Heizflächen) mehr Fremdwärme emittieren, als zur Aufrechterhaltung der Raumkonditionen notwendig ist.

Eine **Begrenzung des Lüftungs- und Transmissionswärmeverbrauches** im Neubau und auch in der Bestandssanierung kann **nur durch gleichzeitige Nutzerschulungen und (nachträgliche) Qualitätssicherung der Anlagentechnik** erfolgen. Dazu sind Regeln für die Planung, Ausführung und Nutzung von Gebäuden im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeitet worden.

Die Ergebnisse der untersuchten Objekte bestätigen die Notwendigkeit einer **integrierten**, also gemeinschaftlichen **Planung** von baulicher und anlagentechnischer Seite. Vor allem im Bereich der Planung der Anlagentechnik ist eine tiefere Zusammenarbeit zwischen Anlagentechniker und Architekt notwendig. Die bereits auf der baulichen Seite vorhandene **Qualifizierung und Qualitätssicherung** sollten auch auf die **Heizungs-, Lüftungs- und Regelungstechnik** ausgedehnt werden. Die Dokumentation der wichtigsten Planungsdaten und eine überprüfte und dokumentierte Heizflächendimensionierung, Einstellung von Thermostatventilen, Reglern, Pumpen- und Ventilatorantrieben sind hierfür eine unabdingbare Leistung der ausführenden Firmen.

8.2. Weiterentwicklung der neuen Bilanzverfahren

Die beiden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens neu entwickelten Bilanzverfahren - das Gesamtbilanzverfahren und das ΔQ -Verfahren - werden auch über das Projektende hinaus weiterentwickelt. Vor allem in Hinblick auf die Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen soll durch das Anlegen einer Kennwertdatenbank eine Systematisierung geschaffen werden. Die Abschätzung von Einzelkennwerten, wie beispielsweise der mittleren Systemtemperatur eines Netzes unter den verschiedenen realen Betriebsbedingungen, soll langfristig mit einer entsprechend großen Zahl von ausgewerteten Praxisobjekten möglich sein.

Im vorliegenden Abschlussbericht ist beschrieben, wie sich eine nicht durchgeführte Qualitätssicherung der Anlagentechnik im Zusammenspiel mit dem Nutzer auswirkt: überdimensionierte Heizkörper, falsch eingestellte Regler, ein nicht durchgeführter hydraulischer Abgleich u.ä. führen zu erhöhten Verlusten eines Gebäudes. Auf eine genauere Bestimmung der Einzelauswirkungen - welche Temperaturen stellen sich in den Verteilleitungen tatsächlich ein oder welche Raumtemperaturen werden erreicht, bevor der durchschnittliche Nutzer die angebotene Überschusswärme ablüftet - wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verzichtet. Aufschlüsse über diese Fragen kann nur die weitere Untersuchung verschiedener Gebäude in Messprogrammen geben. Die entwickelten Bilanzverfahren werden bei diesen Auswertungen hilfreich sein.

Mit der Systematisierung und dem Aufbau einer Kennwertdatenbank kann das entwickelte Gesamtbilanzverfahren - für Energiebedarfsprognosen und Verbrauchsanalysen - weiter validiert werden. Das ΔQ -Verfahren, das bislang nur für die Verbrauchsanalyse herangezogen wird, kann langfristig auch zur Bedarfsprognose verwendet werden.

8.3. Ausblick auf die künftige Normungsarbeit

8.3.1. Praxistauglichkeit von Bilanzverfahren

Die heutige Praxis bietet diverse Energiebilanzverfahren, deren Übereinstimmung mit realen Verbrauchsdaten nicht immer gegeben ist. Dies liegt vor allem an der Wahl der Randdaten für die Bilanz: Luftwechsel, Innentemperaturen, Systemtemperaturen der Anlagentechnik.

Das mit diesem Bericht abgeschlossene Forschungsvorhaben zeigt, dass eine Bilanz mit realen Annahmen zur Berechnung des Energiebedarfs den Verbrauch realitätsnah abbilden kann.

Neben Untersuchung des Lüftungs- und Transmissionswärmeverbrauchs in Gebäuden bzw. im Vorfeld der Auswertung sind zahlreiche heute gängige Bilanzverfahren untersucht worden. Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Ein Problem der Energiebilanzierung ist die Angabe des Nutzens für die Heizung. Die in der Praxis heute angewandten Berechnungsverfahren ([EnEV], [DIN V 4108-6], [DIN V 4701-10], [Energiepass]) definieren einen in der Praxis nicht messbaren Nutzen q_h . Dieser Heizwärmebedarf berücksichtigt zwar die Verluste der Transmission und Lüftung sowie die solare Fremdwärmegewinne und Wärmegewinne durch Personen und Geräte, nicht jedoch die in der thermischen Hülle anfallenden Wärmegewinne der Anlagentechnik. Als Konsequenz daraus, stellt der **Heizwärmebedarf nicht die Wärmeabgabe der Heizkörper** dar.

Die Definition des Nutzen q_h ist fragwürdig. Daher wird für den künftigen Vergleich der energetischen Effizienz eines Gebäudes die Angabe von **End- und Primärenergien für die Heizung- und Warmwasserbereitung** empfohlen. Als die Bauphysik kennzeichnende Größe ist allein die Angabe der spezifischen **Transmissionsheizlast H_T** unter Berücksichtigung von Wärmebrücken sinnvoll.

Die Angabe des **Fremdwärmenutzungsgrades** η wird ebenfalls von verschiedenen Energiebilanzverfahren unterschiedlich gehandhabt. Viele Rechenverfahren lehnen sich an die europäische Norm EN 832 an, die eine Formel zur monatlichen Berechnung des Fremdwärmenutzungsgrades bietet. Auch die Ansätze der Schweizer Norm SIA 380/1 zur monatlichen und jährlichen Bewertung der Fremdwärme sind weit verbreitet. In Deutschland werden darüber hinaus noch die Näherungsansätze des Passivhausinstitutes und der VDI 2067 verwendet.

Allen diesen Ansätzen ist gemein, dass die Größe "Fremdwärmenutzungsgrad" **in der Praxis nicht messbar** ist und sie darüber hinaus in den verschiedenen Rechenalgorithmen andere Ergebnisse liefert, z.T. sogar andere Eingangsgrößen benötigt. Die Ansätze bemühen in der Regel das Verhältnis der inneren (ohne Anlagentechnik) und solaren Fremdwärme zu den Verlusten aus Transmission und Lüftung γ (Gewinn/Verlust-Verhältnis).

Keines der gängigen Rechenverfahren in Deutschland berücksichtigt derzeit bei der Ermittlung des Fremdwärmenutzungsgrades die **innere Fremdwärme aus Anlagentechnik**. Und gerade diese Größe wird vor allem für das künftige Niedrigstenergiegebäude ausschlaggebend als Fremdwärmequelle sein. Darüber hinaus werden zur Bestimmung der Verluste weder der reale Luftwechsel noch die reale Temperatur eingesetzt, sondern annähernd deren Sollwerte. Die nicht nutzbaren Gewinne $(1-\eta)$ erhöhen in der Praxis die Raumtemperatur und den Luftwechsel.

Es ist auch in mehreren Bilanzverfahren (z.B. den Normen zur [EnEV]) nicht geklärt, mit welchem Lüftungswärmeverlust das Gewinn/Verlustverhältnis γ berechnet wird - incl. der ggf. vorhandenen Wärmerückgewinnung oder ohne. Das heißt beide Wege sind zulässig und liefern andere Ergebnisse. Auch wird nie der mittlere Luftwechsel in den Monaten variiert, obwohl dieser bekanntlich in der Übergangszeit weitaus höher liegt als in den kalten Wintermonaten.

Soll der Energiebedarf oder -verbrauch künftig realitätsnäher als Zusammenspiel des Nutzers mit der Anlagentechnik und dem Baukörper bewertet werden, so ist die Verwendung eines **Fremdwärmenutzungsgrades** künftig zu **überdenken oder zumindest** sind die vorhandenen Ansätze zu **überprüfen**.

8.3.2. Normung Neubau

Die **Energiebedarfsrechnung** nach der [EnEV] und der [DIN V 4701-10] **weicht** für das durchschnittliche neue Wohngebäude um etwa **30 % von den ermittelten Verbrauchswerten ab**. Dies kann durch die Randbedingungen der Rechnung erklärt werden. Die Abweichung kann noch größer sein, wenn das Monatsbilanzverfahren der [DIN V 4108-6] zur Berechnung verwendet wird und die baulich vorhandenen Wärmebrücken ausführlich und nicht pauschal bilanziert werden.

Gründe für diese Abweichung sind im wesentlichen folgende:

Zum einen wird die **Länge der Heizzeit** mit 185 d/a (das entspricht einer Heizgrenze von 10°C) sehr gering angesetzt. Für die untersuchten Gebäude liegt die theoretische Heizgrenze je nach Gebäude eher bei 12...13°C, die praktische Heizgrenze bei 15°C. Daraus ergeben sich in der Praxis Abweichungen für die Länge der Heizzeit und alle Verluste.

Große Differenzen zwischen Realität und Theorie liegen in der Annahme **mittlerer Innentemperaturen**. Während die [EnEV] hier 19°C vorschlägt, treten in der Realität eher Werte um 20...21°C auf. Bedingt sind die praktisch höheren Werte zum einen durch das Komfortempfinden der Nutzer, zum anderen auch durch die in dieser Forschungsarbeit näher untersuchten Auswirkungen von Zwangswärmekonsum oder Angebot eines übermäßigen Verschwendungspotentials durch fehlende Qualitätssicherung der Anlagentechnik.

Der dritte wichtige Punkt ist die nicht vorhandene Bewertungsmöglichkeit für die **Qualitätssicherung der Anlagentechnik im Zusammenspiel mit dem Nutzer** in den Normen. Die [DIN V 4701-10] zur Bewertung der Anlagentechnik geht von einer Ausführung der Anlage nach den Regeln der Technik aus. Das bedeutet, dass weder Überdimensionierung noch falsche Reglereinstellungen anzutreffen sind und sich der Nutzer standardmäßig verhält. Das dies praktisch nicht der Fall ist, spiegeln die Abweichungen zwischen Energiebedarf und Verbrauch wieder.

Die **Randdaten der Energieeinsparverordnung und ihrer begleitenden Normen** für die Neubaubilanz sind für eine praktische Energiebilanzierung **in Frage zu stellen**.

Für die künftige Energiebilanzierung von neuen Gebäuden - auch im Rahmen der europäischen Normen zur Bewertung der Anlagentechnik prEN 14335 bzw. des Baukörpers DIN EN ISO 13790 - kann das Problem der Differenzen zwischen theoretischem Energiebedarf und realem Energieverbrauch mit Hilfe der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens besser erläutert werden.

Die entsprechende Nutzung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens für die künftige Bewertung von Neubauten ist im Zusammenhang mit den aktuellen Projektaktivitäten zur Energiebilanzierung für den Gebäudebestand im Rahmen der **DIN 18599** gewährleistet.

8.3.3. Europäische Gebäuderichtlinie

Parallel zur Bearbeitung der letzten Projektphase des Forschungsvorhabens ist durch das Europäische Parlament und den Europäischen Rat die "**Richtlinie zur Gesamteffizienz von Gebäuden**" erarbeitet und erlassen worden.

Diese sieht für jedes Gebäude des Wohn- und Nichtwohnbaus (hier nur tertiärer Sektor) künftig die Erstellung eines Energiepasses vor. Bei Neubauten soll dieser bei der Erstellung des Gebäudes, bei Bestandsbauten bei Mieter- oder Eigentümerwechsel ausgestellt werden.

Mit der Gebäuderichtlinie wird ein **neuer methodischer Ansatz zur gesamtheitlichen Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden** gefordert. Es soll eine integrierte Bewertung der Gebäudehülle, der Heizungsanlage, der Warmwasserversorgung, der Klima- und Raumluftechnik, der Beleuchtung und Belichtung erreicht werden.

Deutschland wirkt auf entsprechenden Normungs-Auftrag an CEN (europäische Normungsinstitution) hin. Die in diesem Forschungsvorhaben geleisteten Arbeiten - vor allem auf dem Gebiet der Energiebilanzierung - fließen über die Arbeiten der Normung im Bestand (Kapitel 8.3.4) in die europäische Aktivität zur Gebäuderichtlinie ein.

8.3.4. Normung Bestand

Im aktuellen Nachweisverfahren nach EnEV 2002 ist es nicht möglich, einen durchgehenden Primärenergienachweis für ein bestehendes Gebäude zu führen, es fehlt an Normen für die energetische Bewertung des Bestandes. Parallel zur Bearbeitung dieses Forschungsprojektes wird daher im Rahmen der DIN-Normenarbeit an der Erhebung von Energiekennwerten für den Gebäudebestand gearbeitet. Die Normungsarbeiten zum Gebäudebestand begannen als konsequente Weiterentwicklung der Arbeiten zur Energieeinsparverordnung.

Mit der Forderung einer durchgehenden Energiebilanz hat sich aus Einzelaktivitäten der [DIN V 4108-6] und der [DIN V 4701-10] ein **Gemeinschaftsarbeitskreis** zur Bewertung der Gebäude- und der Anlagentechnik neu gegründet: der Ausschuss **DIN 18599**. Die Aufgabe dieser DIN-Normungsaktivität liegt in der Erarbeitung eines durchgehenden Bewertungsverfahrens für Gebäude, so wie es auch im Rahmen der europäischen Gebäuderichtlinie angewendet werden soll. Die Arbeit bezieht sich zunächst auf den Gebäudebestand, wird langfristig auch den Neubau umfassen.

Die Verfasser dieses Zwischenberichtes sind in die Normungsarbeit für den Neubau (DIN V 4701-10) und Bestand (DIN 18599) eingebunden. Daher liegen nutzbare Koppeleffekte beider Projekte auf der Hand. Die Kenndatenerhebung für bestehende Gebäude und Neubauten können und werden innerhalb beider Projekte parallel genutzt. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aufgedeckte Zusammenhänge zwischen Lüftungswärmebedarf und Ausführung der Anlagentechnik kann zu einer sinnvollen Auswertung von Bestandsgebäuden im Rahmen der Normungsarbeit verwendet werden. Die Planungs- und Ausführungskonsequenz für die Anlagentechnik, die in diesem Forschungsvorhaben erarbeitet wurden, werden in die Normungsarbeit einfließen.

8.4. Ausblick auf Qualitätssicherungsprojekte und -programme

8.4.1. Fortführung der Untersuchungen in der EXPO-Siedlung Hannover

Die in diesem Forschungsvorhaben gewonnen Erkenntnisse zur Begrenzung des Lüftungs- und Transmissionswärmeverlustes stammen zu einem großen Teil aus Messungen in Gebäuden (Niedrigenergiegebäude als Geschosswohnungsbauten).

Die aufgebaute Datenerfassung der Verbrauchsdaten in der EXPO-Siedlung Kronsberg in Hannover wird auch über das BBR-Projekt hinaus genutzt. Vor allem die zur monatsweisen Bilanzierung der Energieströme eines Gebäudes (getrennt nach Heizung und Trinkwarmwasserbereitung) in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken und der Stadt Hannover installierten zusätzlichen Wärmemengenzähler bleiben im Mittelpunkt des Interesses.

Ggf. werden die Erkenntnisse zur Qualitätssicherung der Anlagentechnik und Nutzung langfristig am Kronsberg umgesetzt und als Energieersparnis - abhängig von bestimmten Einzelmaßnahmen - dokumentiert.

8.4.2. proKlima

Parallel zu den Arbeiten an diesem Feldprojekt startete in Hannover, initiiert durch die Klimaschutzagentur proKlima und durch die Mitarbeit der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel ein Förderprogramm zur Qualitätssicherung der Anlagentechnik. Der Austausch und Einbau von Wärmeerzeugern - im speziellen Brennwertkessel - wird gefördert; aber nur wenn definierte Auflagen zu den Themen:

- hydraulischer Abgleich und Thermostatventilauslegung,
- Regler- und Pumpeneinstellungen,
- Wahl von Heizflächen und Wärmeerzeugern nach einer Dimensionierung.

erfüllt werden. Zwischen beiden Projekten können Synergieeffekte genutzt werden. So befasst sich das proKlima-Projekt mit der Bereitstellung von einfachen Hilfsmitteln (vereinfachte Heizlastberechnung, vereinfachte Rohrnetzberechnung) für die nachträgliche Qualitätssicherung der Anlagentechnik. Diese werden, sofern sie sich bewähren auch über die Grenzen der Stadt Hannover verbreitet und können effektiv nutzen bei der Umsetzung von Vorhaben, die den Transmissions- und Lüftungswärmeverbrauch in der Praxis begrenzen.

Im Rahmen des Qualitätssicherungsprogramms soll künftig ein Teil der geförderten Gebäude mit Hilfe von Energiebilanzen untersucht werden. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gewonnen Erkenntnisse zur Energiebilanzierung werden dabei berücksichtigt.

8.4.3. Optimus

Das umfassendste Folgeprogramm, das die Vorarbeiten und die gewonnenen Erkenntnisse des BBR-Projektes und des proKlima-Projektes in die Praxis umsetzen wird, ist das von der DBU geförderte Optimus-Projekt.

Optimus ist ein Gemeinschaftsprojekt der Innung Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven, der Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung in Bremen, der Berufsbildenden Schulen II in Leer, des Trainings- und Weiterbildungszentrums an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel und der Fa. WILO GmbH in Dortmund.

An etwa 100 Gebäuden wird eine zweijährige Untersuchung zur Qualitätssicherung der Anlagentechnik und ihre Auswirkungen auf die Energiebilanz durchgeführt. In den Gebäuden, die zu Projektbeginn einen unterschiedlichen Grad der Qualitätssicherung aufweisen, werden über ein Jahr Energieverbräuche messtechnisch erfasst. Aus der Energiebilanz werden Rückschlüsse auf Verbesserungsmaßnahmen gezogen und umgesetzt. Dabei helfen die Rechenwerkzeuge dieses Projektes. Schließlich wird ein zweites Jahr der sich einstellende Energieverbrauch dokumentiert.

Mit Hilfe des Optimus-Projektes soll sowohl die Datenbank mit Energiekennwerten zum ΔQ -Verfahren (siehe Kapitel 8.2) erweitert werden, als auch die Planungshinweise, die in diesem Forschungsvorhaben erarbeitet wurden in die Praxis umgesetzt werden. Damit können Erkenntnisse des BBR-Feldprojektes auch über seine Laufzeit hinaus validiert werden.

9. Anhang

9.1. Formelzeichen und Indizes

Wichtige verwendete Formelzeichen und Indizes:

Symbol	physikalische Größe	Grundeinheit(en)
Δ	Differenz zweier Größen	[-]
ϑ	Temperatur	[°C]
η	Ausnutzungsgrad	[%], [-]
A	Fläche	[m ²]
F, f	Allgemeiner Faktor	[-]
G	Heizgradtage	[kKh/a]
Gt	Gradtagszahl	[kKh/a]
H _T	Transmissionsheizlast	[W/K]
P	Leistung (elektrisch, hydraulisch)	[kW]
Q	(Jahres-) Energie	[kWh/a] [kWh/mon]
\dot{Q}	Energiestrom, Leistung (thermisch)	[kW]
U	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m ² K)]
n	Luftwechsel	[1/h]
t	Zeit bzw. Zeit pro Jahr	[a], [d/a]
V	Volumen	[m ³]
z	Zeit bzw. Zeit pro Jahr	[a], [d/a]

Tabelle 9.1 Formelzeichen

Index	Bedeutung
a	außen
ce	Regelung der Übergabe
d	Verteilung
e	external (für äußeres Hüllvolumen)
E	Jahres-Endenergie
EB	Energiebezug~ (für Energiebezugsfläche, beheizte Wohnfläche)
g	Erzeugung
h	Heizwärme, Nutzwärme der Heizung
H	Heiz(end)energie
HP	Heizperiode
i	innen
l	Innere Wärme
m	Mittelwert
N	Nutz~ (für Nutzfläche)
L	Luft (für Luftvolumen)
s	Speicher
S	Solare Wärme
T	Transmission
V	Lüftung
w	Warmwassernutzen
W	Warmwasser(end)energie

Tabelle 9.2 Indizes

9.2. Quellen

Kürzel	Quelle
[Aick99]	T. Aick; Wohnungslüftung bei Mehrfamilienhäusern in Niedrigenergiebauweise; ISH Jahrbuch 1999, Seiten 46 bis 49
[ASUE - Ehm]	H. Ehm; Stand und Entwicklung des energiesparenden Bauens in Deutschland; ASUE; Band 18: Haustechnik 2000 - Lösungen für einen veränderten Markt; Vulkanverlag Essen; 1998
[ASUE]	ASUE; Heizung, Warmwasser und Lüftung im Neubau/Niedrigenergiehaus; Kaiserslautern, ohne Jahresangabe
[BBR Zwischenbericht 1]	D. Wolff, K. Jagnow; 1. Zwischenbericht des BBR geförderten Projektes "Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen"; Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Mai 2001
[BBR Zwischenbericht 2]	D. Wolff, K. Jagnow; 2. Zwischenbericht des BBR geförderten Projektes "Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen"; Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Dezember 2001
[BBR Zwischenbericht 3]	D. Wolff, K. Jagnow; 3. Zwischenbericht des BBR geförderten Projektes "Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen"; Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Februar 2002
[BBR Zwischenbericht 4]	D. Wolff, K. Jagnow, C. Halper; 4. Zwischenbericht des BBR geförderten Projektes "Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen"; Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Juli 2002
[Bilanzverfahren]	U. Imkeller-Benjes und T. Loga; Stationäre Energiebilanzverfahren im Vergleich; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 1996
[Bild der Wissenschaft]	D. Wolff; Energieeinsparung auf dem Prüfstand - Konflikte und Diskussionen zur Novellierung von Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung zur Energiesparverordnung; Bild der Wissenschaft; 1999
[CEN TC 228]	Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies; CEN TC 228 WG4; 2000
[DIB Planung]	S. Horschler, K. Jagnow, D. Wolff; Integrierte Planung im Rahmen der EnEV 2002; Deutsches Ingenieurblatt; 2001
[DIN 1946-2]	DIN 1946 Teil 2; Raumluftechnik (VDI-Lüftungsregeln); Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen; Beuth Verlag, Berlin, 1994
[DIN V 4108-6]	DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag, Berlin, 2000
[DIN V 4701-10]	DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm - Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001
[Diestelweg]	Loga, Müller und Menje; Die Niedrigenergiesiedlung Diestelweg; Darmstadt; 1997
[DomagalaDA]	Domagala, M.; Analyse theoretischer Einflussgrößen und praktischer Verbrauchsmessungen an einem Mehrfamilien-Niedrigenergiehaus; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2000
[Duderstadt99]	Wolff, D. et al.; Ökologischer Mietwohnungsbau Duderstadt, Abschlussbericht, FH Wolfenbüttel, Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Februar 1999
[Edition 8]	K. Jagnow, D. Wolff; Kriterien zur Entwicklung von Software für die Gebäude- und Anlagenplanung von Niedrig-Energie-Häusern; KUKA-Dokumentation Kronsberg Edition 8; 2001
[EN 832]	DIN EN 832; Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude; Deutsche Fassung EN 832; Ausgabe Dezember 1998

Kürzel	Quelle
[Endbericht RS II]	D. Wolff; Endbericht RS II 2 - 67 41 96 - 112 (-127); Harmonisierte europäische Grundnormen: Energieeinsparung Heizungsanlagen, Regeln und Kenndaten zur Energieeinsparung; Wolfenbüttel; 1999
[Energieeinsparung]	Eickenhorst, H. und Joos, Lajos; Energieeinsparung in Gebäuden; Vulkanverlag; Essen; 1999
[Energiepass]	Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt, IMPULS Programm Hessen; Darmstadt; 1997
[Energy balance]	K. Jagnow; Total energy balance; Institut für Heizung- und Klimatechnik; FH Braunschweig / Wolfenbüttel; 2001
[EnEV]	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV); Stand November 2001
[EnEV Buch]	Jagnow, K., Horschler, S. und Wolff, D.; Die neue Energieeinsparverordnung 2002; DWD Verlag; Köln; 2002
[Entwicklungstendenzen]	H. Stock, D. Wolff; Entwicklungstendenzen in der Regelungstechnik von Heizanlagen; Teile 1 bis 3; Wärmetechnik Nr. 12/1995 bis 1998; Wolfenbüttel; 1995 bis 1998
[Erhorn98]	H. Erhorn; Fördert oder schadet die europäische Normung der Niedrigenergiebauweise in Deutschland?; Gi, Heft 5/98, Seiten 236 bis 239
[Esdorn85]	Esdorn, H.; Zur Bandbreite des Jahresenergieverbrauchs von Gebäuden; HLH 36 (1985); S. 620/622
[Fichtner93]	Fichtner; Praxisbezogene Untersuchung zu Energiebedarf und Emissionen verschiedener Heizsysteme im Wohnungsbau; FfE; München; 1993
[Forum ZIH]	Zukunftsinitiative Haustechnik; Forum vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus; Deutsches Architekturzentrum; Berlin; 1999
[Gebäudebestand]	G. Hauser, H. Stiegel und F. Otto; Energieeinsparung im Gebäudebestand; Gesellschaft für rationelle Energieverwendung e.V.; Baucom Verlag; Böhl-Iggelheim; 1997
[Gebäudesanierung]	Arbeitskreis Energieberatung; Gebäudesanierung - von der Zukunftsvision zur Umsetzung; IWU und Bundesbaublatt; Darmstadt; 1999
[Geiger]	Geiger, B; Brennstoffverbrauch in Wohngebäuden: Gebäude- und Anlagenalter; Der Energieberater, 49. erg.-Lfg.; September 2001, S. 1 - 20; DWD Verlag; Oktober 2001;
[Gertis]	Gertis, K. A.; Neue bauphysikalische Rahmenbedingungen für die zukünftige Heiztechnik; 8. Velta Kongress; St.Christoph; 1986
[HalperDA]	Halper, C.; Untersuchung von Einflüssen der Anlagentechnik und der Nutzung auf den Lüftungswärmeverbrauch von Gebäuden; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[HalperSA]	Halper, C.; Untersuchung der Schwankungsbreite des Luftwechsels in einem Mehrfamilienhaus; Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[Hauser/Hausladen]	G. Hauser und G. Hausladen; Energiebilanzierung von Gebäuden; Wüstenrotstiftung Deutscher Eigenheimverein e.V., 2000
[HausPlanung]	F. Steimle; Handbuch haustechnische Planung; Herausgeber Ruhrgas AG Essen und Verbundnetz Gas AG Leipzig; Karl Krämer Verlag; Stuttgart; 2000
[Heidenheim]	Reiß, J. und Erhorn, H.; Niedrigenergiehäuser Heidenheim; Abschlussbericht; Fraunhofer Institut für Bauphysik; Stuttgart; 1994
[Heiz Konzept]	Bauen Am Kronsberg - Heiztechnisches Konzept; Landeshauptstadt Hannover; Februar 1998
[Heizspiegel]	Heizen mit Klasse; Heizspiegel für Berlin; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung; Berlin; 2000
[Heizung Zürich 1999]	Heizung, Lüftung, Elektrizität; Teubner Verlag; Zürich; 1999
[Heizungstechnik NEH]	D. Wolff; Heizungstechnik für das Niedrigenergiehaus; HLH Bd. 48; Nr. 11 November; 1997
[HLH92]	Wärmeschutzverordnung und kontrollierte Wohnungslüftung; HLH Band 43, 1992, Seiten 553 bis 554
[Ikarus]	diverse Autoren; IKARUS; Teilprojekt 5; 1993 bis 1998
[Ikarus 5]	G. Pfitzner, V. Schäfer; Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Heizungs- und Warmwasserverteilung; IKARUS; Teilprojekt 5; 1998
[Impuls SH]	Architekten- und Ingenieurkammer und Impulsprogramm Schleswig-Holstein; Energetische Gebäudeoptimierung und -sanierung; 1999

Kürzel	Quelle
[IWU Heizwärme]	W. Ebel, W. Eicke-Hennig, W. Feist, H.-M. Groscurth; Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte; IWU; Darmstadt; 1996
[Jagnow/LanyiPA]	Jagnow, K., Lanyi, G.; Bilanzverfahren für NEH im Vergleich; Projektarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2000
[Kennziffern]	EWU Engineering GmbH; Kennziffernkatalog - Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft; Berlin; 1999
[KUKA Editionen]	diverse Autoren; Bauen am Kronsberg; Dokumentation in 9 Bänden; KUKA; Hannover; 2000 bis 2001
[KUKA Ordner]	S. Horschler, K. Jagnow; Energieeinsparverordnung und mit geltende Normen - Inhaltliche Beschreibungen, Berechnungsbeispiele, Möglichkeiten der energetischen Optimierung - Eine Handreichung für Planende und Ausführende; KUKA; Hannover; 2001
[KUKA Planung]	D. Wolff u.a.; Energieeinsparverordnung 2002 und zugehörige Normen - Qualifizierung und Planungskonsequenzen; Dokumentation zur Vortragsreihe der Kronsberg Kommunikations- und Umweltagentur; Wolfenbüttel; 2001
[LEG]	Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999
[Lüftungskonzept]	Bauen am Kronsberg - Lüftungskonzept; Landeshauptstadt Hannover, September 1996
[MengazziDA]	Mengazzi, K.; Evaluation von Energie-Verbrauchsstudien für das Wohngebiet Berlin Kaulsdorf; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2001
[Modernisierung]	Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg; Energetische Modernisierung von Wohngebäuden; J.F. Steinkopf Druck GmbH; Stuttgart; 1999
[NEH Planen 1]	Impulsprogramm Hessen; Niedrigenergiehäuser planen - Wärmeschutz und passive Solarenergienutzung; Impulsprogramm Hessen und Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt; kein Jahr
[NEH Planen 2]	Impulsprogramm Hessen; Niedrigenergiehäuser planen - Luftundichtheit und Wärmebrücken vermeiden; Impulsprogramm Hessen und Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt; kein Jahr
[Passivhaus]	W. Feist; Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern; IWU; Verlag das Beispiel; Darmstadt; 1996
[Planer Forum]	Planer-Forum; Wärmeschutz & Heizungstechnik im Neubau und im Baubestand - ausgewählte Publikationen führender Autoren; Baucom Verlag; Böhl-Iggelheim; 2. Auflage; 2000
[Recknagel 2001]	Recknagel, Sprenger, Schramek; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; 70. Auflage; 2001; Oldenbourg Verlag, München
[Recknagel 92/93]	Recknagel, Sprenger, Hönnmann; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; 66. Auflage; 1992; Oldenbourg Verlag, München
[Reichel99]	D. Reichel und T. Hartmann; Luftdichtheit der Gebäudehülle; ISH Jahrbuch 1999, Seiten 66 bis 70
[Richter01]	Richter, W. et al.; Bedarfslüftung im Wohnungsbau, Abschlussbericht, TU Dresden; Institut für Thermodynamik und TGA, April 2001
[Schulte95]	W. Schulte; Bodenverlegte Rohrleitungen - wo dämmen, wo nicht; Sonderdruck aus Report 6/1995, Seiten 1 bis 4
[SchüßlerDA]	Schüßler, K.; Kennwerte für Wärmeverteilnetze in Wohngebäuden; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2001
[SchüßlerSA]	Schüßler, K.; Verteilsysteme der Warmwasserheizung; Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2001
[SIA 380/1]	SIA 380/1; Thermische Energie im Hochbau ; Zürich; 2001
[Synergie99]	A. Maas, J. Oppermann, J. Kaiser, M. Hopfer; Jahresenergieverbrauch von Synergiehäusern, HLH 7/1999, Seiten 32 bis 35
[Techem]	Energiekennwerte; Hilfen für den Wohnungswirt; Techem; 2001
[UllrichDA]	Ullrich, C.; Monatsweise Energetische Bewertung von Mehrfamilienwohnbauten in NEH-Bauweise; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002
[UllrichSA]	Ullrich, C.; Untersuchung der Eignung von Jahres-Energiebilanzverfahren zur monatsweisen Bilanzierung der Anlagentechnik; Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002

Kürzel	Quelle
[VDI 3807-1]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 1 Grundlagen; VDI; 1994
[VDI 3807-2]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 2 Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte; VDI; 1998
[VDI 3807-3]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 3 Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke; VDI; 2000
[VDI 3808]	VDI 3808 - Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; VDI; 1986
[VDI Kennwerte TGA]	D. Wolff u.a.; Kennwerte in der Heiz- und Energietechnik (TGA); Dokumentation zum Seminar des VDI-Bildungswerkes; Wolfenbüttel; 2001
[VDI Opt Technik]	D. Wolff u.a.; Optimierte Technik im Niedrigenergiehaus; Dokumentation zum Seminar des VDI-Bildungswerkes; Wolfenbüttel; 1998
[VDI 2067 Bl. 1]	VDI 2067 Bl. 1; Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenrechnung; VDI; 2000
[VDI 2067 Bl. 2]	VDI 2067 Bl. 2; Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Raumheizung; VDI; 1993
[Wienerberger 2001]	D. Wolff; Planungssystematik für die Anlagentechnik nach der neuen EnEV; Checklisten für Niedrigenergiehäuser und Modernisierungen im Bestand; Wienerberger Baukalender 2001; Bauwerk-Verlag; Berlin; 2001
[Wohnungslüftung]	Seminar-Dokumentation; Gute Luft will geplant sein - neue Lösungen zur hygienischen Wohnungslüftung; Impuls-Programm Hessen; Darmstadt

Tabelle 9.3 Quellen

9.3. Kennwertuntersuchungen zur Anlagentechnik

Neben den in Kapitel 6.3.3 erwähnten Ergebnissen zur Anlagentypologisierung werden in den folgenden Unterkapiteln weitere detaillierte Auswertungen aus Umfragen und Literaturrecherchen wiedergegeben.

9.3.1. Auswertung von Umfragen

Der Inhalt der Fragebögen umfasst Angaben zum Gebäude, zur Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung sowie Wärmeübergabe der Heizung, zur Warmwasserbereitung und zur Lüftungsanlage. Die Angaben erfolgten, bis auf die Abschätzung der Leitungslängen, prozentual. Im Folgenden sind auszugsweise Durchschnittswerte der Umfragen tabellarisch dargestellt.

Die Abkürzungen der Gebäudetypologie stehen für:

- EFH - Einfamilienhaus
- RH - Reihenhaus
- KMH - kleines Mehrfamilienhaus
- GMH - großes Mehrfamilienhaus
- HH - Hochhaus

Einteilung	Gebäudetyp	Einheit	Mittelwert				Mittelwert			
		-	EFH	EFH	EFH	EFH	RH	RH	RH	RH
	Baujahr	a	bis 57	57-77	77-95	1995-heute	bis 57	57-77	77-95	1995-heute
ca. Angaben	Anzahl der Wohngeschosse	St.	2,0	2,3	2,3	2,1	2,0	2,0	2,3	2,1
	Anzahl der Wohneinheiten	St.	1,3	1,5	1,6	1,5	1,8	1,8	2,0	2,0
	WF pro Gebäude	m ²	113	138	160	160	187	200	208	228
	Anzahl der HK pro Gebäude	St.	11	14	15	14	18	18	20	20
	HK/m ² WF	St/m ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Art der Rohrleitung	Kupferrohr	%	63	69	81	54	51	78	78	60
	Stahlrohr	%	35	30	10	2	46	17	14	4
	Kunststoffrohr	%	3	2	9	46	3	6	8	36
	3/8"	m	11,3	9,5	11,8	25,0	38,8	51,7	46,3	16,8
	1/2"	m	52,8	43,8	52,5	105,0	40,5	58,0	51,0	58,8
	3/4"	m	24,8	43,5	41,3	35,0	27,0	30,0	57,5	65,0
	1"	m	23,8	27,5	25,0	17,3	20,3	26,3	18,8	26,3
	1 1/4"	m	8,8	8,5	9,5	6,3	6,0	13,3	7,5	20,0
	1 1/2"	m	3,8	3,5	5,0	0,0	0,5	3,0	2,5	2,5
	Rohrlänge Heizung pro m ²	m/m ²	1,1	1,0	0,9	1,2	0,7	0,8	0,9	0,8
Rohrleitungslänge pro HK	m/HK	11,5	9,8	9,7	13,5	7,4	9,4	9,2	9,5	
Art der Verlegung	Zweirohrheizung	%	89	88	93	90	90	89	86	96
	davon obere Verteilung	%	18	16	14	4	5	8	10	4
	bzw. untere Verteilung	%	83	84	86	96	95	93	90	96
	Tichelmannsystem	%	3	3	1	4	1	3	5	0
	als horiz. sternförmige Vert.	%	23	20	20	10	0	0	0	0
	als horiz. ringförmige Vert.	%	78	80	80	90	100	100	100	0
	Einrohrheizung	%	9	8	6	5	9	9	9	4
	davon vertikale Verteilung	%	76	78	67	73	73	73	77	70
	bzw. horizontale Verteilung	%	24	23	33	27	27	27,0	23	30
	System Zwangsumlauf	%	71	81	100	100	85	90	87	99
	System Nebenschluss	%	29	19	0	0	15	10	13	1

Tabelle 9.4: Umfragenergebnisse EFH und RH

Einteilung	Gebäudetyp	Einheit	Mittelwert				Mittelwert	
	Baujahr	a	KMH bis 1957	KMH 1957-77	KMH 1977-95	KMH 1995-heute	GMH/HH 1977-95	GMH/HH 1995-heute
ca. Angaben	Anzahl der Wohngeschosse	St.	3,3	3,3	3,8	3,8	7,3	6,8
	Anzahl der Wohneinheiten	St.	13,3	13,3	15,0	15,0	42,5	45,0
	Gesamte Wohnfläche im Ge-	m ²	950	1.060	1.150	1.038	3.475	3.325
	Anzahl der HK pro Gebäude	St.	70	73	83	82	308	1.140
	HK/m ² WF	St/m ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Art der Rohrleitung	Kupferrohr	%	49	69	71	68	48	65
	Stahlrohr	%	50	29	25	9	48	15
	Kunststoffrohr	%	1	3	4	23	5	20
	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
	3"	m	0,0	5,0	1,5	0,0	15,0	5,0
	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	
Art der Verlegung	Zweirohrheizung	%	86	89	93	95	90	91
	davon obere Verteilung	%	8	8	5	9	35	35
	bzw. untere Verteilung	%	93	93	95	86	65	65
	Tichelmannsystem	%	3	3	3	5	0	3
	als horiz. sternförmige Vert.	%	0	0	0	0	0	0
	als horiz. ringförmige Vert.	%	100	100	100	100	100	100
	Einrohrheizung	%	11	9	4	5	10	6
	davon vertikale Verteilung	%	83	83	80	45	90	90
	bzw. horizontale Verteilung	%	18	18	20	55	10	10
	System Zwangsumlauf	%	70	73	77	85	75	90
System Nebenschluss	%	31	28	23	15	25	10	

Tabelle 9.5: Umfragergebnisse KMH und GMH/HH

9.3.2. Auswertung von konkreten Untersuchungsobjekten

Die aufgeführten Angaben entstammen der Analyse von 34 Gebäuden unterschiedlichen Typs.

Gebäudenummerierung	Einheit	Mittelwert				
		EFH	RH	KMH	GMH	HH
Haustyp						
Anzahl der Geschosse	Stck.	2,4	2,0	3,0	5,9	11,5
Allgemeines						
Gebäudelänge	m	11,6	10,4	23,6	40,5	29,3
Gebäudebreite	m	8,9	7,9	12,6	11,2	12,3
Gebäudehöhe	m	8,3	7,1	11,6	19,5	36,3
Hüllfläche A	m ²	612	465	1.646	3.616	4.202
umbautes Volumen	m ³	624	404	2.828	8.579	12.937
A/V-Verhältnis	m ⁻¹	1,0	1,2	0,6	0,4	0,3
Wohnfläche	m ²	195	114	641	1.877	3.143
Raumhöhe	m	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6
Luftwechsel	l/h	0,6	0,5	0,5	0,5	-
Anzahl der Personen	-	4,0	3,0	25,2	76,4	132,5
Daten zur Heizungsanlage						
Kesselleistung / Anschlusswert	kW	30,3	28,9	55,1	132,9	178,3
Länge gedäm. Verteilleitungen	m	47,6	49,7	115,4	250,8	83,0
Länge Steigeleitungen	m	25,2	33,9	139,6	771,9	181,0
Länge Anschlussleitungen	m	66,7	11,4	242,7	331,5	515,0
ca. Durchmesser Verteilleitung	m	0,017	0,015	0,024	0,034	0,042
ca. Durchmesser Steigeleitung	m	0,017	0,015	0,017	0,018	0,022
ca. Durchmesser Anschlussleitung	m	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Anzahl der Heizkörper	Stck.	14,7	9,0	57,0	169,5	257,5
k-Wert (V) nach LEG	W/(mK)	0,173	0,157	0,196	0,222	0,208
k-Wert (S+A) nach LEG	W/(mK)	0,144	0,157	0,171	0,180	0,207
Vorlauftemperatur	°C	75,0	62,5	75,0	88,6	90,0
Rücklauftemperatur	°C	57,9	50,0	58,0	58,6	60,0
Verbrauch Heizung o. Verteilverluste	MWh/a	-	-	-	74,0	47,1
Verbrauch Heizung inkl. Verluste	MWh/a	33,5	32,9	62,6	136,6	282,4
Daten zur Warmwasserbereitung						
Warmwasserverbrauch	kWh/a	1.966	1.365	13.550	54.213	91.502
spezifischer Warmwasserverbrauch	kWh/(m ² a)	10,2	11,7	21,6	29,6	29,0
WW-Verbrauch	l/d*P	30,9	35,0	30,3	29,1	23,2
Speichervolumen, zentral bzw. dez.	ltr.	128,6	80,0	370,0	575,0	
Speichertemperatur, zentral bzw. dez.	°C	60,0	52,5	60,0	60,0	60,0
Dauer der Zirkulationsunterbrechung	h	4,4	3,5	6,4	0,0	0,0
Nutzbarer Zirkulationsverlust	%	80,0	75,5	80,0	50,0	0,0
Länge Zirkulation im unbeh. Bereich	m	8,0	4,5	29,3	69,0	42,8
Länge Zirkulation im beh. Bereich	m	10,3	3,8	98,2	120,3	184,2
Länge WW-Leitung im unbeh. Bereich	m	8,0	4,5	29,3	65,4	42,8
Länge WW-Leitung im beh. Bereich	m	12,3	3,8	103,0	130,0	193,8
Länge der WW-Ltg. im beh. Bereich	m/m ²	0,108	0,082	0,291	0,139	0,120
Länge der WW-Ltg. im unbeh. Bereich	m/m ²	0,086	0,098	0,089	0,075	0,027
Summe Zirkulations- u. WW-Leitungen	m	38,6	16,5	259,7	384,7	463,7
ca. Durchmesser Zirkulationsleitung	m	0,015	0,015	0,016	0,026	0,028
ca. Durchmesser WW-Leitung	m	0,017	0,015	0,022	0,032	0,042
Wärmespeicherfähigkeit W	Wh/mK	0,26	0,20	0,46	0,83	1,25
k-Wert TWZ-Ltg. nach LEG	W/(mK)	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19
k-Wert TWW-Ltg. nach LEG	W/(mK)	0,14	0,16	0,20	0,21	0,21
Anz. der Warmwasser Zapfstellen	Stck.	5,4	4,0	31,8	93,9	159,0

Tabelle 9.6: Auszug aus der Gebäudedokumentation

9.3.3. Auswertung unterschiedlicher Bilanzverfahren

Neben der Analyse von Praxisprojekten befassen sich zahlreiche verschiedene Veröffentlichungen mit dem Thema Verteilsysteme. Kennwerte, welche die nachfolgend benannten Studien liefern, werden mit realen Werten (siehe Kapitel 9.3.2) verglichen.

- [DIN V 4701-10] Daten (Standardkennwerte) und Rechnungen nach:
DIN V 4701 Teil 10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Ausg. 01.2001. Berlin: Beuth-Verlag.
- [DIN V 4701-10
(reale Werte)] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
DIN V 4701 Teil 10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Ausg. 01.2001. Berlin: Beuth-Verlag.
- [Energiepass] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
Tobias Loga, Ulrich Imkeller-Benjes: Energiepass Heizung/Warmwasser: Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem. 1. Aufl. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, März 1997
- [EN ISO 12 241] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
DIN EN ISO 12 241: Wärmedämmung an haus- und betriebstechnischen Anlagen: Berechnungsregeln. Ausg. 06.1998. Berlin: Beuth Verlag.
- [Esdorn] Daten (Standardkennwerte) und Rechnungen nach:
o. Prof. Dr.-Ing. Horst Esdorn: „Konzeptvorschlag für eine weiterentwickelte Wärmeschutzverordnung, allgemeine Darstellung eines Bonusverfahren, Erarbeitung von Kennwerten, Vergleichsrechnungen.“ Vorabzug, Zusammenfassender Bericht. 1996
- [Hauser] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser: Energiebilanzierung von Gebäuden. Forschungsprojekt der Wüstenrotstiftung, Abschlussbericht. 1997
- [Hirschberg] Daten (Standardkennwerte) und Rechnungen nach:
Prof. Dr.-Ing. Rainer Hirschberg,; „Vereinfachte Berechnung von Wärmeabgabe und Stromaufwand“ Z. HLH (Bd. 51), (2000) Nr. 2
- [LEG] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit: Heizenergie im Hochbau: Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung. 6. Aufl. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Februar 1999
- [reale Werte]
- [Recknagel] Daten (teilweise reale Daten) und Rechnungen nach:
Recknagel / Sprenger/ Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik. 69. Auflage (1999). R. Oldenbourg Verlag
- [VdZ] Daten (Standardkennwerte) und Rechnungen nach:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Dipl.-Ing. (FH) Peter Springl und Dipl.-Ing. Runa Hellwig: “VdZ-Energiepass“ Weiterentwicklung des Energiepasses - Abschlussbericht (2000), Forschungsprojekt der Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft e.V.

Einen Überblick der Berechnungsergebnisse der Energiebilanzverfahren für die Wärmeverluste der Verteilung bezogen auf die Mittelwerte der Gebäudetypen liefern die folgenden Tabellen und Diagramme. Der Verlust wird als flächenbezogener Kennwert in kWh/(m²a) angegeben. Als Bezugsfläche gilt die Wohnfläche. Die Abkürzungen bedeuten VL: Verteilleitungen, SL: Steigleitungen und AL: Anschlussleitungen.

Gebäudetyp	Einheit	EFH									
		tats. Daten, DIN V 4701-10	DIN V 4701-10	LEG	Energiepass	Hauser	Hirschberg	DIN EN ISO 12 241	Recknagel (teil-gedämmt)	Esdorn	VdZ
Heizung											
Verluste der VL	kWh/(m ² a)	10,2	6,4	8,5	6,2	-	6,9	7,8	-	20,9	-
Verluste der AL & SL	kWh/(m ² a)	2,1	1,7	0,0	0,0	-	0,3	12,8	51,2	2,9	-
Verluste der HL	kWh/(m ² a)	11,8	8,1	8,5	6,2	24,8	7,2	20,6	59,0	23,9	30,6
Verluststrom der HL	W/m	14,4	14,4	0,4	4,1	5,5	1,4	4,4	12,2	3,0	6,4
Warmwasserbereitung											
Verluste im beh. Bereich	kWh/(m ² a)	5,3	3,9	-	-	-	-	-	-	2,3	-
Verluste im unbeh. Bereich	kWh/(m ² a)	4,4	5,5	-	-	-	-	-	-	13,8	-
Summe Verluste	kWh/(m ² a)	11,1	11,0	6,1	10,6	-	-	10,0	-	16,1	13,0
Verluststrom der WW-Ltg.	W/m	13,4	9,2	4,0	7,3	-	-	6,7	-	9,9	6,7

Tabelle 9.7: Mittelwerte der Wärmeverlustkennwerte der Einfamilienhäuser

Gebäudetyp	Einheit	RH									
		tats. Daten, DIN V 4701-10	DIN V 4701-10	LEG	Energiepass	Hauser	Hirschberg	DIN EN ISO 12 241	Recknagel (teil-gedämmt)	Esdorn	VdZ (gedämmt)
Heizung											
Verluste der VL	kWh/(m ² a)	15,1	7,8	12,4	9,8	-	7,0	11,5	-	25,2	-
Verluste der AL & SL	kWh/(m ² a)	1,7	1,5	0,0	0,0	-	0,3	8,5	28,0	3,4	-
Verluste der HL	kWh/(m ² a)	16,9	9,3	12,4	9,8	29,8	7,3	20,0	39,5	28,6	34,2
Verluststrom der HL	W/m	12,1	12,1	0,8	3,5	5,2	1,3	3,6	7,0	2,7	5,9
Warmwasserbereitung											
Verluste im beh. Bereich	kWh/(m ² a)	5,8	4,0	-	-	-	-	-	-	4,3	-
Verluste im unbeh. Bereich	kWh/(m ² a)	8,6	8,1	-	-	-	-	-	-	14,3	-
Summe Verluste	kWh/(m ² a)	16,5	14,6	7,3	15,6	-	-	14,8	-	18,6	12,6
Verluststrom der WW-Ltg.	W/m	13,4	9,1	3,1	6,7	-	-	6,4	-	8,7	6,1

Tabelle 9.8: Mittelwerte der Wärmeverlustkennwerte der Reihenhäuser

Gebäudetyp	Einheit	KMH									
		tats. Daten, DIN V 4701-10	DIN V 4701-10	LEG	Energiepass	Hauser	Hirschberg	DIN EN ISO 12 241	Recknagel (teil-gedämmt)	Esdorn	VdZ (gedämmt)
Heizung											
Verluste der VL	kWh/(m²a)	7,8	3,4	8,1	6,5	-	5,8	7,5	-	10,2	-
Verluste der AL & SL	kWh/(m²a)	2,5	2,3	0,0	0,0	-	0,4	13,7	59,8	2,3	-
Verluste der HL	kWh/(m²a)	10,3	5,7	8,1	6,5	16,8	6,2	21,2	67,3	12,5	28,9
Verluststrom der HL	W/m	13,4	13,4	0,3	5,3	4,0	1,2	4,6	14,0	2,4	7,8
Warmwasserbereitung											
Verluste im beh. Bereich	kWh/(m²a)	11,0	6,3	-	-	-	-	-	-	3,1	-
Verluste im unbeh. Bereich	kWh/(m²a)	3,9	3,3	-	-	-	-	-	-	9,7	-
Summe Verluste	kWh/(m²a)	17,4	10,2	10,9	19,1	-	-	19,1	-	12,8	10,3
Verluststrom der WW-Ltg.	W/m	13,4	10,2	5,2	7,7	-	-	7,8	-	8,7	6,2

Tabelle 9.9: Mittelwerte der Wärmeverlustkennwerte der kleinen Mehrfamilienhäuser

Gebäudetyp	Einheit	GMH									
		tats. Daten, DIN V 4701-10	DIN V 4701-10	LEG	Energiepass	Hauser	Hirschberg	DIN EN ISO 12 241	Recknagel (teil-gedämmt)	Esdorn	VdZ (gedämmt)
Heizung											
Verluste der VL	kWh/(m²a)	6,4	3,0	7,4	5,5	-	4,0	8,1	-	5,6	-
Verluste der AL & SL	kWh/(m²a)	3,4	2,9	0,0	0,0	-	0,5	18,5	92,6	2,4	-
Verluste der HL	kWh/(m²a)	9,7	5,7	7,4	5,5	14,8	4,5	26,6	100,7	8,0	20,4
Verluststrom der HL	W/m	17,0	17,0	0,2	6,2	3,1	1,0	5,6	21,1	1,8	7,2
Warmwasserbereitung											
Verluste im beh. Bereich	kWh/(m²a)	7,0	7,3	-	-	-	-	-	-	3,0	-
Verluste im unbeh. Bereich	kWh/(m²a)	4,7	2,4	-	-	-	-	-	-	6,9	-
Summe Verluste	kWh/(m²a)	13,1	10,0	13,1	15,7	-	-	13,6	-	9,8	10,7
Verluststrom der WW-Ltg.	W/m	13,4	10,9	9,3	11,3	-	-	9,8	-	9,3	8,2

Tabelle 9.10: Mittelwerte der Wärmeverlustkennwerte der großen Mehrfamilienhäuser

Gebäudetyp	Einheit	HH									
		tats. Daten, DIN V 4701-10	DIN V 4701-10	LEG	Energiepass	Hauser	Hirschberg	DIN EN ISO 12 241	Recknagel (teilgedämmt)	Esdorn	VdZ (gedämmt)
Heizung											
Verluste der VL	kWh/(m ² a)	1,3	2,5	1,4	1,1	-	1,8	1,9	-	2,6	-
Verluste der AL & SL	kWh/(m ² a)	1,2	2,4	0,0	0,0	-	0,5	6,6	30,0	2,1	-
Verluste der HL	kWh/(m ² a)	2,4	4,9	1,4	1,1	8,9	2,3	8,5	31,8	4,7	15,7
Verluststrom der HL	W/m	16,3	16,3	0,0	6,3	5,6	0,5	5,3	19,8	1,4	7,7
Warmwasserbereitung											
Verluste im beh. Bereich	kWh/(m ² a)	6,0	6,6	-	-	-	-	-	-	3,2	-
Verluste im unbeh. Bereich	kWh/(m ² a)	1,7	2,0	-	-	-	-	-	-	3,2	-
Summe Verluste	kWh/(m ² a)	9,0	8,7	9,5	12,5	-	-	11,2	-	6,5	8,6
Verluststrom der WW-Ltg.	W/m	13,4	11,1	9,9	13,0	-	-	11,7	-	7,5	8,0

Tabelle 9.11: Mittelwerte der Wärmeverlustkennwerte der Hochhäuser

9.4. Gesamtbilanzverfahren mit Kennwerten

Die nachfolgend Unterkapitel geben wichtige Randdaten des Gesamtbilanzverfahrens wieder. Es wird an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass die angegebenen Einzelkennwerte vielfach auch anhand anderer Bilanzverfahren (LEG-Verfahren, DIN V 4701-10 u.a.) bestimmt werden können, denn das Verfahren ist ein offenes Verfahren. Die Art der Verrechnung der einzelnen Kennwerte in der Endbilanz (siehe Kapitel 9.4.5) ist das entscheidende Merkmal dieses Bilanzverfahrens.

9.4.1. Allgemeine Daten bei der Analyse von Gebäuden

Nutzungstypen und Baualtersklassen

Gebäudenutzungstypen	Beispiele	Anteil Nutzungstage pro Jahr, in [d/a]	Anteil Nutzungsstunden pro Nutzungstag, in [h/d]
Krankenhäuser	Krankenhäuser, Altersheime	365	24
EFH	Einfamilienhäuser, Reihenhäuser	365	15
MFH	Mehrfamilienwohnhäuser, Hotels, Heime, Kasernen, Strafanstalten	365	15
Bäder	Hallenbäder, Saunen	303	12
Verkauf	Verkaufsgebäude, Messen	277	12
Bühnen/ Säle	Theater, Kinos, Kirchen, Konzertsäle	260	14
Industrie	Gewerbebauten, Werkstätten, Fabrikgebäude	252	10
Lager	Lager	252	10
Verwaltung	Bürogebäude, Bibliotheken, Arztpraxen	252	10
Restaurants	Restaurants, Diskotheken	252	8
Sport	Turnhallen, Fitnesszentren	190	12
Schulen	Schulen, Kindergärten, Kongresszentren	190	10

Tabelle 9.12 Zuordnung von Gebäuden zu Nutzungstypen

Die Baualtersklasse kann z.B. bei teilmodernisierten Gebäuden anhand der Heizlast abgeschätzt werden.

Baualtersklasse	Abkürzung	Heizlast am kältesten Tag, in [W/m ²]
Gebäude mit Baujahren vor 1977	"vor 77"	130 bis > 200
Gebäude nach WSchV von 1977	"77-82"	70 bis 130
Gebäude nach WSchV von 1982	"82-95"	60 bis 100
Gebäude nach WSchV von 1995	"WSchV"	40 bis 60
Gebäude nach EnEV 2002	"EnEV"	30 bis 50
Niedrig-Energie-Häuser	"NEH"	25 bis 40
Ultra-Niedrig-Energie-Häuser und 3-Liter-Häuser	"UNEH"	15 bis 30
Passivhäuser	"PH"	≈10

Tabelle 9.13 Baualtersklassen

Bezugsfläche und Kompaktheit von Gebäuden

Gebäudenutzungstyp	Energiebezugsfläche A_{EB} je Nutzer, in [m ² /P]
Schulen	10
Sport, Bäder, Restaurants	20
Verwaltung, Krankenhäuser	30
MFH	35
EFH	45
Industrie, Verkauf	50
Bühnen/Säle	70
Lager	100

Tabelle 9.14 Energiebezugsflächen je nach Gebäudenutzungstyp

Bei der Bestimmung des Kompaktheitsgrades und des Fensterflächenanteils sollte möglichst auf reale Gebäudedaten zurückgegriffen werden.

Gebäudenutzungstyp	Kompaktheitsgrad A_H/A_{EB} , in [-]	A_H/V_e -Verhältnis, in [m ⁻¹]	Fensterflächenanteil A_{Fe}/A_H , in [-]
EFH	2,1...3,5	0,6...1,0	0,05...0,30
Restaurant	1,6...2,0	0,4...0,8	k.A.
Verwaltung	1,6...2,0	0,4...0,8	0,10...>0,50
MFH	1,4...1,9	0,3...0,7	0,05...0,20
Bühnen/Säle	1,3...1,8	0,3...0,6	k.A.
Schulen	1,3...1,8	0,3...0,6	k.A.
Bäder	1,0...1,5	0,3...0,5	k.A.
Industrie	1,0...1,5	0,3...0,5	k.A.
Verkauf	1,0...1,5	0,3...0,5	k.A.
Krankenhäuser	0,8...1,2	0,2...0,5	0,05...0,20
Lager	0,8...1,2	0,2...0,5	k.A.
Sport	0,8...1,2	0,2...0,5	k.A.

Tabelle 9.15 Kompaktheitsgrad und Fensterflächenanteile

Heizzeit und Klimaeinflüsse

Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} , in [°C]	Heiztage t_{HP} , in [d/a]	mittlere Außentemperatur ϑ_{am} , in [°C]	Gradtagszahl $Gt_{20,\vartheta_{HG}}$ in [Kd/a] (bzw. in [kKh/a]) bei Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und mittlerer Innentemperatur von 20 °C
5	120	0,5	2340 (56,2)
7	145	1,7	2654 (63,7)
10	190	3,3	3173 (76,2)
12	225	4,5	3488 (83,7)
15	270	5,5	3915 (94,0)
17	295	6,3	4042 (97,0)
20	330	7,3	4191 (100,6)

Tabelle 9.16 Klimadaten für einen mittleren Standort in Deutschland

Die Bestimmung der Heizgrenztemperatur und der anderen Klimadaten kann anhand der nachfolgenden Tabelle erfolgen.

Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} , in [°C]	Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten γ , in [-]	Heizleistung am kältesten Tag, in [W/m ²]	Baualtersklasse bzw. energetische Klasse			
unter 10	über 0,90	≈ 10	(UNEH) PH			
10	über 0,75	10...30	(EnEV) NEH UNEH PH			
12	0,30...0,75	30...60	(82-95)	WSchV	EnEV	NEH (UNEH)
15	unter 0,40	60...130	vor 77	77-82	82-95 (WSchV)	(EnEV)
17 bis 20	unter 0,35	über 130	vor 77			

Tabelle 9.17 Bestimmung der Heizgrenztemperatur

Innentemperatur und Regelungseinflüsse

Soll-Innentemperatur ϑ_i , in [°C]				
Gebäudenutzungstyp	innerhalb des beheizten Bereiches		außerhalb des beheizten Bereiches	
	innerhalb der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Keller	Dachraum
Krankenhäuser, Bäder	21...23	14...16	10...14	3...7
MFH, EFH, Verwaltung, Schulen, Verkauf, Restaurants, Theater	19...21	14...16	10...14	3...7
Industrie, Sport	17...19	10	10...14	3...7
Lager	15...17	10	10...14	3...7

Tabelle 9.18 Mittlere Soll-Innentemperaturen nach Gebäudenutzungstypen

Zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb und die Art der Heizflächen incl deren Regelung wirkt sich auf die reale Innentemperatur im Gebäude aus. Mit Hilfe von zwei Faktoren wird die mittlere Innentemperatur aus der Solltemperatur bestimmt.

$$\vartheta_{im} = f_{ABS} \cdot f_{REG} \cdot \vartheta_i$$

Faktor zur Bewertung des Absenkbetriebes f_{ABS} , in [-]				
Baualtersklasse	Heizlast, in [W/m ²]	leichte Bauweise	mittelschwere Bauweise	schwere Bauweise
keine Absenkung				
alle	alle	1,00	1,00	1,00
Absenkung 8 h/d				
"vor 77"	150	0,96	0,97	0,97
"77-82" und "82-95"	100	0,96	0,97	0,97
"WSchV"	60	0,97	0,98	0,98
"NEH"	40	0,97	0,98	0,98
"PH" und "UNEH"	10	0,98	0,98	0,99
Absenkung 12 h/d und Wochenende				
"vor 77"	150	0,92	0,93	0,93
"77-82" und "82-95"	100	0,92	0,93	0,94
"WSchV"	60	0,93	0,94	0,94
"NEH"	40	0,93	0,94	0,95
"PH" und "UNEH"	10	0,94	0,96	0,97

Tabelle 9.19 Faktoren zur Bewertung des Absenkbetriebes f_{ABS}

Faktor zur Bewertung der Temperaturregelung f_{REG} , in [-]		
Radiatorenheizung	ohne zentrale Vorregelung, manuelle Nachregelung	1,08
	mit zentraler Vorregelung, aber Raumregelung manuell	1,06
	mit zentraler Vorregelung und Thermostatventilen	1,03
	mit adaptiver Zentralregelung und Einzelraumregelung	1,01...1,02
Fußbodenheizung	mit Vorregelung, ohne Einzelraumregelung	1,04...1,06
	mit Vorregelung, mit Einzelraumregelung	1,02
Elektrische Heizung	Direktheizung	1,01...1,03
	Speicherheizung mit Einzelraumregelung	1,08
	Speicherheizung mit Einzelraumregelung und witterungsgeführter Vorregelung	1,02...1,04
Warmluftheizung	ohne Regelung	1,08
	mit zentraler Regelung	1,04
	mit Einzelraumregelung	1,02

 Tabelle 9.20 Faktoren zur Bewertung der Temperaturregelung f_{REG}

9.4.2. Analyse der Wärmeverluste und -gewinne des beheizten Bereiches eines Gebäudes

Wärmeverluste durch Transmission

$$q_T = \frac{\sum A_{\text{Bauteil}} \cdot U_{\text{Bauteil}} \cdot f_{\text{MIN}} \cdot (\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}})}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}} \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_T = U_m \cdot (\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}}) \cdot \frac{A_H}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}}$$

Abminderungsfaktoren für Transmissionswärmeverlust von Bauteilen f_{MIN} , in [-]			
	Bauteile gegen Erdreich, unbeheizte Keller oder andere unbeheizte Zonen	Bauteile gegen Außenluft	Bauteile gegen beheizte Zonen
f_{MIN} , in [-]	0,5...0,6...0,8	1	0

 Tabelle 9.21 Abminderungsfaktoren f_{MIN}

Die Daten der Wärmedurchgangskoeffizienten für einzelne Bauteile sollten, wenn immer möglich anhand der realen Ausführung oder Planung bestimmt werden.

Wärmedurchgangskoeffizienten für die wärmeübertragenden Umfassungsflächen U , in [W/(m²K)]							
Baualterklasse	"vor 77"	"77-82"	"82-95"	"WSchV"	"NEH"	"UNEH"	"PH"
ganze Hülle (Mittelwert)	1,75...1,10	1,50...1,00	1,20...0,80	0,80...0,50	0,50...0,25	0,25...0,10	0,20...0,10
Wand	1,60...1,00	1,25...0,90	1,00...0,40	0,50...0,30	0,40...0,25	0,30...0,15	0,15...0,10
Boden	1,00...0,70	0,90...0,50	0,80...0,40	0,60...0,40	0,40...0,20	0,20...0,10	0,15...0,10
Decken/Dächer	0,90...0,40	0,60...0,30	0,40...0,20	0,30...0,15	0,25...0,15	0,20...0,10	0,15...0,10

Tabelle 9.22 Wärmedurchgangskoeffizienten für die wärmeübertragenden Umfassungsflächen

Wärmedurchgangskoeffizient und Energiedurchlassgrad für Fenster		U , in [W/(m²K)]	g , in [-]
Einfachverglasung	Holz-/Kunststoffrahmen	4,20 (3,50...4,65)	0,86
	Metall-/Betonprofilrahmen	4,85 (5,63...4,28)	
Doppelverglasung	Holz-/Kunststoffrahmen	2,55 (2,36...2,68)	0,76
	Metall-/Betonprofilrahmen	3,10 (3,80...2,90)	
doppeltes Wärmeschutzglas	Holz-/Kunststoffrahmen	1,50 (1,33...1,72)	0,69
	Metall-/Betonprofilrahmen	2,00 (1,69...2,91)	
dreifaches Wärmeschutzglas	Holz-/Kunststoffrahmen	1,15 (0,74...1,49)	0,49
	Metall-/Betonprofilrahmen	1,60 (1,24...2,57)	

Tabelle 9.23 Wärmedurchgangskoeffizient und Energiedurchlassgrad für Fenster

Lüftungswärmeverluste

$$q_V = n \cdot \frac{V_L}{A_{EB}} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP} = n \cdot h_R \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP}$$

Für Gebäude ohne mechanische Lüftungsanlagen wird der Gesamtluftwechsel n wie folgt abgeschätzt:

$$n = n_{nat} + \Delta n$$

Für Gebäude mit Lüftungsanlagen gilt der folgende Zusammenhang:

$$n = (n_{Anl} + n_{Rest}) + \Delta n$$

Luftwechsel, in [h ⁻¹]								
	Lüftung ohne Lüftungsanlage			Lüftung mit Lüftungsanlage				
	natürlicher Luftwechsel n_{nat}			mechanischer Luftwechsel n_{Anl}			Restluftwechsel n_{Rest}	
Gebäudenutzungstyp	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	bei bestandener Dichtheitsprüfung ($n50 \leq 1,0$)	bei nicht bestandener Dichtheitsprüfung
EFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Krankenhaus	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
MFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Verkauf	1,0	0,2	0,5	0,8	0,0	0,3	0,1	0,2
Industrie	1,0	0,2	0,4	0,8	0,8	0,8	0,1	0,2
Verwaltung	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Restaurants	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Schulen	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Bühnen/Säle	0,6	0,2	0,4	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Bäder	0,5	0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Lager	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2
Sport	0,5	0,1	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	0,2

Tabelle 9.24 Natürlicher Luftwechsel, Anlagenluftwechsel und Restluftwechsel für ein Niedrigenergiegebäude

Der Differenzluftwechsel wird mit Hilfe der Baualtersklasse bestimmt. Wenn nachträgliche Sanierungen - insbesondere der Fenster - erfolgt sind, sollten die Werte kritisch überprüft werden.

Baualtersklasse	Differenzen für Luftwechsel Δn , in [h ⁻¹]
"vor 77"	+0,2 ... +0,3
"77-82" und "82-95"	+0,1 ... +0,2
"WSchV"	$\pm 0,0$... +0,1
"NEH" und ggf. "UNEH"	$\pm 0,0$
"PH" und "UNEH"	-0,1 ... +0,0

Tabelle 9.25 Differenzluftwechsel je nach Baualtersklasse

Solarer Fremdwärmeanfall

$$q_S = \frac{\sum g \cdot r \cdot G \cdot A_{Fe}}{A_{EB}} \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_S = g_m \cdot r_m \cdot G_m \cdot \frac{A_{Fe}}{A_{EB}}$$

Globalstrahlung G, in [kWh/(m²a)]				
Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} , in [°C]	10	12	15	17
Länge der Heizzeit t_{HP} , in [d/a]	190	225	170	295
Mittelwert G_m für N, S, O, W	170	240	330	380
Ost	155	220	325	375
Süd	270	370	490	560
West	155	230	325	375
Nord	100	140	185	210
Dach (Neigung >30°)	225	370	545	645

Tabelle 9.26 Globalstrahlung je nach Heizgrenztemperatur für einen mittleren Standort in Deutschland

Innerer Fremdwärmeanfall

$$q_l = \dot{q}_{IG} \cdot t_{HP} + q_{HG} + q_{WG} = q_{IG} + q_{HG} + q_{WG}$$

Aus den Berechnungen der Heizung/Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung werden die Wärmeverluste der Anlagentechnik innerhalb des beheizten Bereiches entnommen.

$$q_{HG} = (q_{HG,d} + q_{HG,s}) \text{ und } q_{WG} = (q_{d,WG} + q_{s,WG})$$

Gebäudenutzungstyp	innere Fremdwärmeleistung \dot{q}_{IG} , in [W/m²]	Gebäudenutzungstyp	innerer Fremdwärmeleistung \dot{q}_{IG} , in [W/m²]
Lager	1,3	Sport	3,9
Schulen	1,5...4,7	Krankenhäuser	4,1...5,8
EFH	2,5	Industrie	5,6
Bühnen/Säle	3,1	Verkauf	5,9
MFH	3,2	Bäder	6
Verwaltung	3,5...6,4	Restaurant	17

Tabelle 9.27 Innere Fremdwärmeleistung (ohne Wärmeverteilung und -speicherung)

Nutzung der Fremdwärmegewinne

Der nutzbare Anteil der Fremdwärme wird anhand des Fremdwärmenutzungsgrades bestimmt. Dieser hängt vom Verhältnis der Fremdwärme zu den Wärmeverlusten ab.

$$\gamma = \frac{q_l + q_s}{q_T + q_v} \text{ und } \eta = f_\eta \cdot (1 - 0,3 \cdot \gamma)$$

Die Bewertung des Einflusses der Regelung auf die Fremdwärmenutzung mit dem Faktor f_η kann ggf. entfallen (der Faktor ist dann mit 1,0 anzusetzen). Dieser Ansatz wird derzeit noch geprüft - ebenso wie die Berechnungsformel für den Nutzungsgrad η selbst.

Regelungsart	Bewertungsfaktoren für Fremdwärmenutzung f_η , in [-]	Beispiele
ohne zentrale Vorregelung, manuelle Nachregelung	0,2	Wärmeerzeuger mit Festtemperatur + Handventile
ohne zentrale Vorregelung, aber mit Nachregelung	0,7	Wärmeerzeuger mit Festtemperatur + Thermostatventile
mit zentraler Vorregelung, und Nachregelung	0,8	Wärmeerzeuger mit witterungsgeführter Regelung + Thermostatventile
mit zentraler Vorregelung, und Nachregelung	0,9	Wärmeerzeuger mit witterungsgeführter Regelung + Einzelraumregelung

Tabelle 9.28 Bewertungsfaktoren für die Fremdwärmenutzung

Überprüfung der Heizgrenztemperatur

Ob die eingangs getroffene Wahl der Heizgrenztemperatur stimmt, kann mit einer Näherungsformel überprüft werden.

$$\vartheta_{HG} = \vartheta_{im} - \eta \cdot \gamma \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) .$$

9.4.3. Verluste des Heizungs- und Lüftungssystems

Regelungseinflüsse

Regelungseinflüsse können auch anhand anderer Kennwerte berücksichtigt werden - z.B. durch veränderte mittlere Temperaturen in den Rohrleitungen während Zeiten der eingeschränkten Betriebsweise. Die Werte für nicht ständig durchflossene Rohrleitungen werden zur Zeit der Berichtserstellung noch validiert.

Betriebsweise	Gebäudeart	Komponenten	f _{BH} , in [-]
durchgehender Betrieb	alle	Speicher	1,00
		ständig durchflossene Leitungsteile	1,00
		nicht ständig durchflossene Leitungsteile	(0,50) 0,80
mit Absenkung für bis zu 8 h/d	MFH und EFH	Speicher	ca. 1,00
		ständig durchflossene Leitungsteile	ca. 1,00
		nicht ständig durchflossene Leitungsteile	ca. (0,50) 0,80
	sonstige Gebäude	genauer bestimmen mit Nutzungstagen pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag	
mit Abschaltung für 6 h/d	MFH und EFH	Speicher	ca. 1,00
		ständig durchflossene Leitungsteile	0,75
		nicht ständig durchflossene Leitungsteile	0,38
	sonstige Gebäude	genauer bestimmen mit Nutzungstagen pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag	
mit Abschaltung für 8 h/d	MFH und EFH	Speicher	ca. 1,00
		ständig durchflossene Leitungsteile	0,67
		nicht ständig durchflossene Leitungsteile	0,34
	sonstige Gebäude	genauer bestimmen mit Nutzungstagen pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag	

Tabelle 9.29 Einflussfaktoren für den Anlagenbetrieb f_{BH}

Wärmeverluste des Verteilsystems

$$q_{d,H} = \frac{\sum U_{Rohr} \cdot (\vartheta_{im,Rohr} - \vartheta_{am,Rohr}) \cdot L}{A_{EB}} \cdot t_{HP} \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_{d,H} = \sum \left(f_{BH} \cdot \dot{q}_L \cdot \frac{L}{A_{EB}} \right) \cdot t_{HP} .$$

Wärmeabgabe von Rohrleitungen und Luftleitungen \dot{q}_L , in [W/m]									
		außerhalb des beheizten Bereiches verlegt				innerhalb des beheizten Bereiches verlegt			
		DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100
90/70 °C (konstant)	ungedämmt	39,3	65,0	106,8	163,2	34,7	57,3	94,2	144,0
	halbe Dämmdicke wie EnEV	20,1	27,7	38,8	52,4	17,8	24,4	34,2	46,2
	gedämmt nach EnEV	10,1	12,6	12,1	12,1	8,9	11,1	10,7	10,7
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	7,6	8,1	8,1	8,1	6,7	7,1	7,1	7,1
90/70 °C (geregelt)	ungedämmt	24,3	40,1	66,0	100,8	19,6	32,5	53,4	81,6
	halbe Dämmdicke wie EnEV	12,4	17,1	24,0	32,4	10,1	13,9	19,4	26,2
	gedämmt nach EnEV	6,2	7,8	7,5	7,5	5,0	6,3	6,0	6,0
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	4,7	5,0	5,0	5,0	3,8	4,0	4,0	4,0
70/55 °C (geregelt)	ungedämmt	18,5	30,6	50,3	76,8	13,9	22,9	37,7	57,6
	halbe Dämmdicke wie EnEV	9,5	13,0	18,3	24,7	7,1	9,8	13,7	18,5
	gedämmt nach EnEV	4,7	5,9	5,7	5,7	3,6	4,4	4,3	4,3
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	3,6	3,8	3,8	3,8	2,7	2,8	2,8	2,8
55/45 °C (geregelt)	ungedämmt	14,4	23,9	39,3	60,0	9,8	16,2	26,7	40,8
	halbe Dämmdicke wie EnEV	7,4	10,2	14,3	19,3	5,0	6,9	9,7	13,1
	gedämmt nach EnEV	3,7	4,6	4,4	4,4	2,5	3,1	3,0	3,0
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	2,8	3,0	3,0	3,0	1,9	2,0	2,0	2,0
35/28 °C (geregelt)	ungedämmt	8,1	13,4	22,0	33,6	3,5	5,7	9,4	14,4
	halbe Dämmdicke wie EnEV	4,1	5,7	8,0	10,8	1,8	2,4	3,4	4,6
	gedämmt nach EnEV	2,1	2,6	2,5	2,5	0,9	1,1	1,1	1,1
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	1,6	1,7	1,7	1,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Luftleitung (geregelt)	gedämmt nach EnEV	9,5				11,1			

Tabelle 9.30 Wärmeabgabe von Heizungs- und Lüftungsleitungen

verlegte Rohrleitungen L/A_{EB} , in [m/m ²]			A_{EB} bis 300 m ²	A_{EB} ab 300 m ²
zentrale Versorgung	Gesamtleitungen davon:		0,27...1,27	0,03...0,92
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Anbindeleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00...0,31	0,00...0,18
		innerhalb des beheizten Bereiches	0,10...1,06	0,02...0,69
	ständig durchflossene Leitungen (Steig- und Verteilleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00...0,42	0,00...0,25
innerhalb des beheizten Bereiches		0,05...0,51	0,01...0,25	
wohnungs- zentral Ver- sorgung	Gesamtleitungen davon:		0,34...1,06	0,34...0,79
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Anbindeleitungen)	innerhalb des beheizten Bereiches	0,20...0,69	0,26...0,69
	ständig durchflossene Leitungen (Verteilleitungen)	innerhalb des beheizten Bereiches	0,07...0,38	0,03...0,10
dezentrale Versorgung	Gesamtleitungen:		0,00	0,00

Tabelle 9.31 Verlegte Rohrleitungslängen des Heizwassernetzes

verlegte Lüftungsleitungen L/A _{EB} , in [m/m ²]		A _{EB} bis 300 m ²	A _{EB} ab 300 m ²	
zentrale Versorgung	Gesamtleitungen davon:	0,20...0,29	0,16...0,20	
	nicht ständig durchströmte Zuluftleitungen (Anbindeleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00	0,00
		innerhalb des beheizten Bereiches	0,14	0,14
	ständig durchströmte Zuluftleitungen (Verteilungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00...0,15	0,00...0,05
innerhalb des beheizten Bereiches		0,00...0,15	0,00...0,05	
dezentrale Versorgung	Gesamtleitungen:	0,00	0,00	

Tabelle 9.32 Verlegte Rohrleitungslängen in Lüftungsnetzen

Wärmeverluste der Heizwasserspeicherung

$$q_{s,H} = \frac{\sum U_{\text{Speicher}} \cdot (\vartheta_{\text{im,Speicher}} - \vartheta_{\text{am,Speicher}}) \cdot V_S}{A_{EB}} \cdot t_{HP} \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_{s,H} = \sum \left(f_{BW} \cdot \dot{q}_{SP} \cdot \frac{V_S}{A_{EB}} \right) \cdot t_{HP}$$

A _{EB} , in [m ²]	80...160	160...400	400...2000	2000...8000
installiertes Speichervolumen V _S /A _{EB} , in [l/m ²]	1,0...1,3	0,8...1,0	0,5...0,8	0,3...0,5

Tabelle 9.33 Volumen für Heizwasserspeicher

durchschnittliche Wärmeverlustleistung von Speichern \dot{q}_{SP} , in [W/l]							
Aufstellung	Volumen, in [l]	Auslegung auf 70/55 °C und höher			Auslegung auf 55/45 °C und niedriger		
		Dämmung gut (ca. 10 cm)	Dämmung mäßig (bis 5 cm)	Dämmung schlecht (bis 2 cm)	Dämmung gut (ca. 10 cm)	Dämmung mäßig (bis 5 cm)	Dämmung schlecht (bis 2 cm)
außerhalb des beheizten Bereiches	100	0,7...0,9	1,1...1,4	2,0...2,7	0,3...0,5	0,5...0,8	0,9...1,6
	200	0,5...0,7	0,8...1,1	1,6...2,1	0,2...0,4	0,4...0,7	0,7...1,3
	500	0,4...0,5	0,6...0,8	1,2...1,6	0,2...0,3	0,3...0,5	0,5...1,0
	1000	0,3...0,4	0,5...0,6	1,0...1,3	0,1...0,2	0,2...0,4	0,4...0,8
	2000	0,2...0,3	0,4...0,5	0,8...1,0	0,1...0,2	0,2...0,3	0,3...0,6
innerhalb des beheizten Bereiches	100	0,5...0,7	0,8...1,1	1,5...2,2	0,1...0,4	0,2...0,6	0,4...1,1
	200	0,4...0,6	0,6...0,9	1,2...1,7	0,1...0,3	0,2...0,4	0,3...0,9
	500	0,3...0,4	0,5...0,7	0,9...1,3	0,1...0,2	0,1...0,3	0,2...0,6
	1000	0,2...0,3	0,4...0,5	0,7...1,0	0,1...0,2	0,1...0,3	0,2...0,5
	2000	0,2	0,3...0,4	0,6...0,8	0,0...0,1	0,1...0,2	0,1...0,4

Tabelle 9.34 Wärmeabgabe für Heizwasserspeicher

Wärmeerzeugung

Wärmeerzeuger werden mit Hilfe von Erzeugeraufwandszahlen bewertet. Multivalente Anlagen zusätzlich mit Deckungsanteilen. Lüftungsanlagen mit WRG oder Heizfunktion zählen zu den Wärmeerzeugern. Andere Verfahren (Hessischer Energiepass, DIN V 4701-10 u.a.) bieten detaillierte Bewertungsmethoden bzw. Kennzahlen zur Bewertung der Erzeugung.

Wärmeerzeuger		Aufwandszahl $e_{g,H}$, in [-]	Hinweise
Nah- und Fernwärme	für Heizung	1,01...1,02	kompakte Ausführung mit Gehäuse
		1,05...1,11	Ausführung ohne Gehäuse
Elektrische Systeme	Speichergeräte	1,02...1,04	
	Durchlaufgeräte	1,00...1,01	
	Luftheizregister	1,00	
Elektrowärmepumpen	Wasser-Wasser	0,31...0,33	monovent
		0,22...0,32	alternativ/parallel
	Sole-Wasser	0,36...0,38	monovent
		0,26...0,34	alternativ/parallel
	Luft-Wasser	0,36...0,45	monovent
		0,32...0,37	alternativ/parallel
Luft-Luft	0,28...0,34		
Kessel	Vorratswasserheizer	1,54...2,78	Auslastung bis 20 %
		1,15...1,30	Auslastung über 20 %
	Umlaufwasserheizer	1,25...2,00	Auslastung bis 20 %
		1,15...1,27	Auslastung über 20 %
	Konstant bis Baujahr 1978	1,61...3,70	Auslastung bis 20 %
		1,10...1,49	Auslastung über 20 %
	Konstant ab Baujahr 1979	1,20...2,78	Auslastung bis 20 %
		1,10...1,39	Auslastung über 20 %
	Niedertemperatur	1,09...1,15	bis 50 kW
		1,03...1,10	50...120 kW
		1,00...1,06	120...1200 kW
	Brennwert bis 50 kW	1,00...1,06	Betrieb bei 55/45 °C und niedriger
		1,03...1,10	Betrieb bei 70/55 °C und höher
	Brennwert 50...120 kW	0,99...1,05	Betrieb bei 55/45 °C und niedriger
1,02...1,09		Betrieb bei 70/55 °C und höher	
Brennwert 120...1200 kW	0,98...1,04	Betrieb bei 55/45 °C und niedriger	
	1,01...1,08	Betrieb bei 70/55 °C und höher	
BHKW	Erdgas, Propan, Butan	0,59...0,65	bis 100 kW
		0,52...0,58	ab 100 kW
	Diesel	0,52...0,64	bis 100 kW
		0,45...0,48	ab 100 kW
Brennstoffbetriebene Wärmepumpen	Wasser-Wasser	0,56...0,59	monovent
		0,58...0,63	alternativ/parallel
	Sole-Wasser	0,59...0,65	monovent
		0,56...0,67	alternativ/parallel
	Luft-Wasser	0,63...0,67	monovent
		0,63...0,73	alternativ/parallel
Einzelfeuerstätten	Kachelofen	1,43...1,67	
	Öleinzelfeuerstätten	1,18	
	Gaseinzelfeuerstätten	1,33	
regenerative Systeme	Solaranlagen, Wärmerückgewinnungen	0,00	

Tabelle 9.35 Erzeugeraufwandszahlen für die Heizung und Lüftung

Deckungsanteile a für Gebäude mit Wasserheizung, in [-]				
	Solaranlage	Grundlast	Spitzenlast	Hinweise
Anlagen mit einem Erzeuger	---	1,00	---	
Anlagen mit Solarunterstützung	0,10...0,05	0,90...0,95	---	
Wärmepumpe und Kessel	---	0,32...0,92	0,08...0,68	alternativer Betrieb
	---	0,82...0,98	0,04...0,18	paralleler Betrieb
Wärmepumpe und elektrische Nachheizung	---	0,90...0,95	0,05...0,10	
zwei Kessel	---	0,50...0,85	0,15...0,50	
BHKW und Kessel	---	0,60...0,85	0,15...0,40	

Tabelle 9.36 Deckungsanteile für Gebäude mit Wasserheizung

Deckungsanteile a für Gebäude mit Luftheizung, in [-]			
Wärmerückgewinnung	Abluft / Zuluft-Wärmepumpe	Heizregister	Gebäudeklasse
0,25...0,33	0,33...0,67	0,08...0,33	NEH
0,25...0,33	---	0,66...0,75	
---	0,58...0,83	0,17...0,42	
0,50...0,67	0,33...0,50	---	UNEH
0,50...0,67	---	0,33...0,50	
---	0,95...1,00	0,00...0,05	
0,95...1,00	0,00...0,05	---	PH
0,95...1,00	---	0,00...0,05	
---	0,95...1,00	0,00...0,05	

Tabelle 9.37 Deckungsanteile für Gebäude mit Luftheizung

Deckungsanteile a für Gebäude mit Wasser- und Luftheizung, in [-]		
Wärmerückgewinnung	statische Heizung	Gebäudeklasse
0,25...0,33	0,66...0,75	NEH
0,50...0,67	0,33...0,50	UNEH
0,95...1,00	0,00...0,05	PH

Tabelle 9.38 Deckungsanteil für eine Kombination aus Wasser- und Luftheizung

9.4.4. Analyse des Warmwassersystems

Warmwassernutzen

Gebäudenutzungstyp	EFH	MFH	Lager	Verwaltung, Schulen, Verkauf, Industrie	Säle/ Bühnen	Sportstätten, Bäder	Restaurants	Krankenhäuser
Warmwassernutzwärme q_w , in [kWh/(m ² a)]	15...17	15...25	1...2	7...9	15...17	90...100	60...70	30...35

Tabelle 9.39 Warmwassernutzen nach Gebäudenutzungstyp

Regelungseinflüsse

Betriebsweise	Gebäudeart	Komponenten	f_{BW} , in [-]
ohne Abschaltung	alle	alle	1,00
mit Abschaltung	MFH und EFH	Stichleitungen	1,00
		Speicher	ca. 1,00
		Zirkulationsleitungen bei 6 h/d Abschaltung	0,88...0,92
		Zirkulationsleitungen bei 8 h/d Abschaltung	0,73...0,75
	sonstige Gebäude	genauer bestimmen mit Nutzungstagen pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag	

Tabelle 9.40 Einflussfaktoren für den Anlagenbetrieb f_{BW}

Wärmeverluste des Verteilsystems

$$q_{d,W} = \frac{\sum U_{\text{Rohr}} \cdot (\vartheta_{\text{im,Rohr}} - \vartheta_{\text{am,Rohr}}) \cdot L}{A_{\text{EB}}} \cdot t_y \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_{d,W} = \sum \left(f_{\text{BW}} \cdot \dot{q}_L \cdot \frac{L}{A_{\text{EB}}} \right) \cdot t_y$$

verlegte Rohrleitungslängen L/A _{EB} , in [m/m ²]			A _{EB} bis 300 m ²	A _{EB} ab 300 m ²
zentrale Trinkwarmwasserversorgung	Gesamtleitungen davon:			0,32...0,54
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,01...0,35	0,01...0,09
		innerhalb des beheizten Bereiches	0,05...0,54	0,08...0,28
	ständig durchflossene Leitungen (Zirkulationsleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00...0,35	0,00...0,25
innerhalb des beheizten Bereiches		0,09...0,49	0,05...0,28	
dezentrale Trinkwarmwasserversorgung	Gesamtleitungen davon:			0,02...0,06
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	innerhalb des beheizten Bereiches	0,02...0,06	0,02...0,06

Tabelle 9.41 Verlegte Rohrleitungslängen des Trinkwarmwassernetzes

Wärmeabgabe von Trinkwarmwasserleitungen \dot{q}_L , in [W/m]									
		außerhalb des beheizten Bereiches verlegt				innerhalb des beheizten Bereiches verlegt			
		DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100
nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	ungedämmt	24,9	33,2	47,7	68,4	14,9	19,9	28,6	41,0
	halbe Dämmdicke wie EnEV	5,7	8,8	13,5	20,7	3,4	5,3	8,1	12,4
	gedämmt nach EnEV	4,1	4,6	4,6	4,6	2,5	2,7	2,7	2,7
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	3,0	3,4	3,2	3,2	1,8	2,0	1,9	1,9
ständig durchflossene Leitungen (Zirkulationsleitungen)	ungedämmt	53,5	71,3	102,5	147,1	37,3	49,8	71,5	102,6
	halbe Dämmdicke wie EnEV	12,3	18,9	29,0	44,6	8,6	13,2	20,2	31,1
	gedämmt nach EnEV	8,8	9,8	9,8	9,8	6,1	6,8	6,8	6,8
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	6,5	7,2	6,9	6,9	4,5	5,1	4,8	4,8

Tabelle 9.42 Wärmeabgabe von Trinkwarmwasserleitungen

Wärmeverluste der Warmwasserspeicherung

$$q_{s,W} = \frac{\sum U_{\text{Speicher}} \cdot (\vartheta_{\text{im,Speicher}} - \vartheta_{\text{am,Speicher}}) \cdot V_S}{A_{\text{EB}}} \cdot t_y \text{ oder vereinfacht:}$$

$$q_{s,W} = \sum \left(f_{\text{BW}} \cdot \dot{q}_{\text{SP}} \cdot \frac{V_S}{A_{\text{EB}}} \right) \cdot t_y$$

installiertes Speichervolumen V_S/A_{EB} , in [l/m ²]					
AEB, in [m ²]	indirekt beheizter Speicher	gasbeheizter Speicher und Elektrospeicher (Aufheizung Tag und Nacht)	Elektrospeicher (Aufheizung nur nachts)	Elektro-Kleinspeicher	bivalenter Solarspeicher
80...160	1,5...1,9	1,0...1,3	2,2...2,7	0,1	3,0...3,5
160...400	1,2...1,5	0,8...1,0	1,6...2,2	0,1	2,5...3,0
400...2000	0,7...1,2	0,5...0,8	1,0...1,6	0,1	0,7...0,9
2000...8000	0,5...0,7	0,3...0,5	0,7...1,0	0,1	0,5...0,7

Tabelle 9.43 Volumen für Trinkwarmwasserspeicher

durchschnittliche Wärmeverlustleistung von Speichern, \dot{q}_{SP} in [W/l]						
Aufstellung	Volumen, in [l]	indirekt beheizte Speicher, bivalente Solarspeicher, elektrische Tag- und Nachtspeicher			elektrische Kleinspeicher	gasbeheizte Speicher
		Dämmung gut (ca. 10 cm)	Dämmung mäßig (bis 5 cm)	Dämmung schlecht (bis 2 cm)		
außerhalb des beheizten Bereiches	25	0,68	1,13	2,04	2,80	3,13
	50	0,54	0,86	1,58	2,80	3,07
	100	0,43	0,65	1,23	2,80	3,02
	200	0,34	0,49	0,95	2,80	2,96
	500	0,25	0,34	0,68	2,80	2,89
	1000	0,20	0,26	0,53	2,80	2,84
	1500	0,18	0,22	0,46	2,80	2,81
innerhalb des beheizten Bereiches	25	0,55	0,92	1,66	2,28	2,55
	50	0,44	0,70	1,29	2,28	2,50
	100	0,35	0,53	1,00	2,28	2,46
	200	0,28	0,40	0,78	2,28	2,41
	500	0,21	0,28	0,56	2,28	2,35
	1000	0,17	0,21	0,43	2,28	2,31
	1500	0,14	0,18	0,37	2,28	2,28
2000	0,13	0,16	0,33	2,28	2,27	

Tabelle 9.44 Wärmeabgabe für Trinkwarmwasserspeicher

Wärmeerzeugung

Wärmeerzeuger werden mit Hilfe von Erzeugeraufwandszahlen bewertet. Multivalente Anlagen zusätzlich mit Deckungsanteilen. Lüftungsanlagen mit WRG oder Heizfunktion zählen zu den Wärmeerzeugern. Andere Verfahren bieten detaillierte Bewertungsmethoden bzw. Kennzahlen.

Deckungsanteile a, in [-]	Solaranlage	Grundlasterzeuger (Kessel, Wärmepumpe, Fernwärmeübergabestation, usw.)		Spitzenlast (Elektroheizstab, usw.)	Hinweise
Anlage ohne Solarunterstützung	0,00	1,00		0,00	nur ein Erzeuger
	0,00	0,80...0,95		0,05...0,20	Erzeuger plus Elektronachheizung
	0,00	0,30...0,90		0,10...0,70	Wärmepumpe plus Kessel (alternativer Betrieb)
	0,00	0,80...0,98		0,02...0,20	Wärmepumpe plus Kessel (paralleler Betrieb)
Anlage mit Solarunterstützung	0,50...0,65	0,35...0,50		0,00	$A_{EB} < 300 \text{ m}^2$
	0,45...0,60	0,40...0,50		0,00	$A_{EB} 300...1000 \text{ m}^2$
	0,30...0,50	0,50...0,70		0,00	$A_{EB} > 1000 \text{ m}^2$

Tabelle 9.45 Deckungsanteile für die Trinkwarmwasserbereitung

Wärmeerzeuger		Aufwandszahl $e_{g,W}$, in [-]	Hinweise
Nah- und Fernwärme	nur Warmwasserbereitung	1,11...1,14	kompakte Ausführung mit Gehäuse
		1,18...1,25	Ausführung ohne Gehäuse
	Warmwasserbereitung und Heizung	1,03...1,06	kompakte Ausführung mit Gehäuse
		1,04...1,13	Ausführung ohne Gehäuse
Elektrische Systeme	Speichergeräte	1,00...1,04	ohne Wärmeverlust des Speichers
	Durchlaufgeräte	1,00...1,01	
Elektrowärmepumpen	Wasser-Wasser	0,22...0,33	
	Sole-Wasser	0,26...0,38	
	Luft-Wasser	0,32...0,45	
dezentrale Gasgeräte	Durchlaufgeräte mit el. Zündung	1,00...1,19	
	Durchlaufgeräte mit Zündflamme	1,35...6,24	
Kessel	Konstanttemperatur (detaillierter im Kapitel 0)	1,39...2,50	Kessel nur für Warmwasserbereitung
		1,30...1,55	Kessel für Heizung und Warmwasserbereitung
	Niedertemperatur	1,11...1,21	bis 50 kW
		1,09...1,14	ab 50 kW
	Brennwert	1,10...1,17	bis 50 kW
1,08...1,13		ab 50 kW	
Kombigerät	1,15...1,41		
BHKW	Erdgas, Propan, Butan	0,59...0,65	bis 100 kW
		0,52...0,58	ab 100 kW
	Diesel	0,52...0,64	bis 100 kW
		0,45...0,48	ab 100 kW
Brennstoffbetriebene Wärmepumpen	Wasser-Wasser	0,55...0,60	
	Sole-Wasser	0,58...0,65	
	Luft-Wasser	0,63...0,73	
regenerative Systeme	Solaranlagen, Wärmerückgewinnungen	0,00	

Tabelle 9.46 Erzeugeraufwandszahlen für die Trinkwarmwasserbereitung

9.4.5. Gesamtbilanz der Jahresendenergien

Nutzwärme der Heizung und Lüftung:

$$q_h = [q_T + q_V - \eta \cdot (q_l + q_s)].$$

Jahresendenergie der Heizung und Lüftung:

$$q_H = [q_h + q_{d,H} + q_{s,H}] \cdot \Sigma(a \cdot e_{g,H}).$$

Jahresendenergie der Trinkwarmwasserbereitung:

$$q_W = [q_w + q_{d,W} + q_{s,W}] \cdot \Sigma(a \cdot e_{g,W}).$$

Jahresendenergie aller Wärmeenergien:

$$q = q_H + q_W \quad \text{und} \quad Q = q \cdot A_{EB}.$$

9.5. Übersicht Kennwerte

		Standard vor '77	Standard '77 bis '95	Standard WSchV '95	Niedrigenergiehaus	Passivhaus
η (e_g)	Nutzungsgrad Kessel (Aufwandszahl)	0,75 (1,33)	0,85 (1,18)	0,87 (1,15)	0,90 (1,11)	0,80 (1,25)
η (e_g)	Nutzungsgrad Wärmepumpe (Aufwandszahl)	-	0,37 (2,7)	0,33 (3,0)	0,28 (3,5)	0,28 (3,5)
q_T	Wärmeverlust durch Transmission	200...150	160...100	100...40	70...30	20...10
q_V	Wärmeverlust durch Lüftung	80...70	70...60	60...50	40...30	20
$\eta_F \cdot q_S$	nutzbare solare Warmegewinne	32...20	27...17	25...16	22...15	16...10
$\eta_F \cdot q_I$	nutzbare innere Warmegewinne	30...20	25...15	18...12	15...10	11...8
q_H	Jahresheizwärmebedarf	240...180	190...130	130...60	70...30	20...10
$q_{d,H}$	Verlust der Heizwärmeverteilung	18...9	11...6	10...5	8...4	5...3
$q_{s,H}$	Verlust der Heizwärmespeicherung	9...6	5...3	4...2	3...1	3...1
$q_{g,H}$	Verlust der Heizwärmeerzeugung	80...50	35...20	20...10	9...4	8...4
q_H	Jahresenergiebedarf der Heizung	340...230	230...160	170...80	100...40	40...20
q_w	Jahreswarmwassernutzbedarf	20...6	20...6	20...6	20...6	20...6
$q_{d,w}$	Verlust der Warmwasserverteilung	19...14	15...8	13...7	10...6	7...5
$q_{s,w}$	Verlust der Warmwasserspeicherung	14...10	9...5	7...4	4...1	4...1
$q_{g,w}$	Verlust der Warmwassererzeugung	17...13	7...5	6...4	4...3	7...5
q_w	Jahresenergiebedarf der Warmwasserbereitung	70...50	50...35	45...30	40...25	40...25
q	Jahresenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung	410...280	280...195	215...110	140...65	80...35

Tabelle 9.47: Spezifische Energiekennwerte in kWh/(m²a) bezogen auf die Wohnfläche

Die Kennwerte der Erzeugung sind mit einem alten Kessel des entsprechenden Baujahres berechnet. Bei neueren Erzeugern sind die Nutzungsgrade entsprechend besser. Die Endenergie für Trinkwarmwasserbereitung kann etwa halbiert werden, wenn eine Solaranlage vorhanden ist.

9.6. Rechnungen

Einzelrechnungen zu den untersuchten Gebäuden befinden sich auf der beiliegenden CD in Form von Excel-Dateien.