

Abschlussbericht



Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen

Teil 2: Technische Optimierung und Energieeinsparung

Der Bericht wurde für die
OPTIMUS-Gruppe erstellt von:

Dr.-Ing. Kati Jagnow
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

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

Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Deutsche Bundesstiftung Umwelt
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück, www.dbu.de

unter der Fördernummer
DBU – AZ 18315

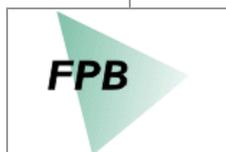
Projektpartner der OPTIMUS-Gruppe:



Innung Sanitär- und Heizungstechnik
Wilhelmshaven



Berufsbildende Schulen II
Aurich



Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung
Bremen



Trainings- & Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e.V.
Wolfenbüttel



Firma WILO AG
Dortmund

Bezugsmöglichkeiten für den Bericht in 4 Teilen mit Anhang auf CD

als Datei im Internet	http://www.OPTIMUS-online.de
als Datei auf CD Schutzgebühr/ Versandkosten 5 €	Innung für Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven Kieler Str. 74 26382 Wilhelmshaven

1 Inhalt

1	Inhalt	3
2	Überblick.....	7
2.1	Ziele der Untersuchung.....	7
2.2	Vorgehensweise bei der Optimierung.....	10
2.3	Vorgehensweise bei der Energiedatenauswertung.....	11
2.4	Arbeitspakete und Mitarbeiter	12
2.5	Ergebnisse - Kurzbericht	14
3	Grundlagen	29
3.1	Technische Grundlagen.....	29
3.1.1	Betroffene Technikkomponenten und Funktionsweise	29
3.1.2	Verschwendungspotential und Zwangswärmeconsum	35
3.2	Grundlagen der Energiebilanzierung	36
3.2.1	Energiekennwerte.....	36
3.2.2	Energiebilanzen.....	40
3.2.3	Verbrauch- und Bedarfsbilanz	41
3.3	Grundlagen der Energiedatenbereinigung	41
3.4	Auswertung von Verbrauchswerten.....	44
3.4.1	Bewertung von Gebäude und Nutzung	44
3.4.2	Bewertung von Wärmeerzeugern	48
3.5	Grundlagen Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	51
4	Objektwahl und Messgeräteausstattung	53
4.1	Objektwahl	53
4.1.1	Auswahlkriterien für geeignete Gebäude	53
4.1.2	Kampagnen zur Objektakquise.....	54
4.1.3	Gewählte Gebäude.....	55
4.1.4	Während der Laufzeit ausgeschiedene Gebäude	57
4.1.5	Resonanz in der Öffentlichkeit.....	57
4.2	Messgeräteausstattung.....	58
4.2.1	Lage der Zähler	59
4.2.2	Anzahl und Kosten der Zähler	62
4.3	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte.....	63
5	Datenerfassung und Archivierung	64
5.1	Datenbank	64
5.2	Energiedatenerfassung.....	68
5.3	Wetterdaten.....	71
5.4	Brennwerte.....	72
5.5	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte.....	72

6	Dokumentation des vorhandenen Zustands	74
6.1	Vorbereitung der Gebäudeaufnahme	74
6.1.1	Handbuch zur Gebäudeaufnahme	74
6.1.2	Beschaffung von Messgeräten	75
6.1.3	Schulung des Aufnahmepersonals	75
6.1.4	Handbuch zur Bauteilbestimmung	76
6.2	Vor-Ort-Termine	78
6.3	Hausordner	79
6.3.1	Formulare	80
6.3.2	Nutzerbefragung	89
6.4	Status der untersuchten Gebäude	91
6.4.1	Einzelmerkmale Baukörper	91
6.4.2	Einzelmerkmale Heizungsanlage	92
6.4.3	Einzelmerkmale Trinkwarmwasserbereitung	98
6.4.4	Durchschnittsgebäude	99
6.4.5	Einzelmerkmale Nutzung und Nutzerzufriedenheit	100
6.5	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte	101
7	Arbeitshilfen zur Optimierung	102
7.1	Grundlagen der Anlagenoptimierung	102
7.1.1	Allgemeine Vorgehensweise bei der Optimierung	105
7.1.2	Anpassung der Heizkörperleistung an die Raumlast	106
7.1.3	Optimiertes Temperaturniveau und Reglereinstellung	110
7.1.4	Druckverluste im Netz und hydraulischer Abgleich	111
7.1.5	Thermostatventile	112
7.1.6	Pumpen und Differenzdruckregler	113
7.1.7	Wärmeerzeuger, Verteilleitungen und weitere Komponenten	114
7.2	Verfahren zur Optimierung	114
7.3	Ausführliches Verfahren	118
7.3.1	Softwareanwendung und Handbuch	118
7.3.2	Vergleich vereinfachte mit ausführlicher Heiznetzberechnung	125
7.3.3	Schulungen	129
7.4	Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser	129
7.4.1	Handbuch und Aufnahmeformulare	129
7.4.2	Handrechnung und Softwareanwendung	133
7.5	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte	136
8	Umsetzung und Kosten der Optimierung	137
8.1	Planung der Optimierung	137
8.1.1	Auswahlkriterien, Grobanalyse und Vorplanung der Optimierung	137
8.1.2	Optimierungsberechnungen	138
8.2	Durchgeführte Arbeiten	139
8.3	Kostenzusammenstellung	143
8.3.1	Einzelkosten	143
8.3.2	Kostenfunktionen für Durchschnittsgebäude	145
8.4	Nutzerbefragung nach der Optimierung	147
8.5	Nicht optimierbare bzw. optimierte Gebäude	149
8.6	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte	150

9	Auswertung der Messdaten.....	151
9.1	Energieverbrauch der Gebäude	151
9.1.1	Vorgehensweise bei der Datenauswertung.....	151
9.1.2	Heizwärmeverbrauch aus Messwerten der Kernheizzeit.....	153
9.1.3	Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten	155
9.1.4	Trinkwarmwasserwärmeverbrauch	158
9.1.5	Nutzungsgrade zur Umrechnung von Wärme- in Endenergie	160
9.1.6	Heizenergieverbrauch	162
9.1.7	Endenergieverbrauch der Wärmeenergien	165
9.1.8	Hilfsenergieverbrauch.....	167
9.2	Einsparung durch Optimierung.....	169
9.2.1	Energieeinsparung Heizwärme.....	169
9.2.2	Energieeinsparung Heizenergie.....	173
9.2.3	Energieeinsparungen Hilfsenergie.....	176
9.3	Umweltrelevanz	178
9.3.1	Einsparungen an Primärenergie	178
9.3.2	Einsparung an CO ₂ -Äquivalent	179
9.4	Hochrechnungen für den Gebäudebestand	181
9.4.1	Szenario 1 und 2: Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung	181
9.4.2	Szenario 3 und 4: Hochrechnungen bei kombinierter Optimierung	182
9.4.3	Fazit der Hochrechnungen	183
9.5	Endberichte für die Gebäudebesitzer	184
10	Detailauswertungen und -berechnungen	192
10.1	Querauswertungen der Energiedaten	192
10.1.1	Einsparung von Heiz- und Hilfsenergie.....	192
10.1.2	Heizwärmeverbrauch.....	195
10.1.3	Hilfsenergieverbrauch.....	197
10.1.4	Kesselnutzungsgrad.....	199
10.1.5	Trinkwarmwasseranteil.....	201
10.2	Heizgrenztemperatur, Verbrauchsgerade und Verlustkennwert	202
10.2.1	Verbrauchsverlauf und Heizgrenztemperaturen ausgewählter Objekte.....	202
10.2.2	Heizgrenztemperaturen aus Messwerten.....	204
10.2.3	Verlustkennwert aus Messwerten	208
10.2.4	Nachbildung der Verbrauchsgeraden ausgewählter Objekte	210
10.2.5	Energieeinsparungen in der Kern- und Übergangszeit	211
10.3	Vergleich der Praxis- mit Theoriewerten.....	212
10.3.1	Hüll- und Nutzungskennwerte.....	212
10.3.2	Heizlast	214
10.3.3	Heizenergiebedarf	215
10.3.4	Endenergiebedarf der Wärmeenergien.....	219
10.4	Detailauswertungen für Einzelobjekte und -merkmale	221
10.4.1	Anlagen mit neuartigen Thermostatventilen mit integrierter Differenzdruckregelung.....	221
10.4.2	Anlagen mit Pumpentausch.....	223
10.4.3	Anlage mit nachgerüsteter witterungsgeführter Regelung.....	226
10.4.4	Gebäude mit Einrohrheizung	227
10.4.5	Gebäude mit nachträglichem Holzofeneinbau	228
10.4.6	Gebäude mit Nutzerwechsel.....	228
10.4.7	Gesamtenergiebilanz ausgewählter Objekte.....	229
10.5	Korrelation von Nutzerbefragungen und Energieeinsparungen	235
10.6	Auswirkung der Wahl des Bereinigungsverfahrens	237
10.6.1	Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs mit unterschiedlichen Heizgradtagen	238
10.6.2	Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs mit unterschiedlichen Gradtagszahlen	242
10.6.3	Bereinigung der Wärmeverluste mit unterschiedlichen Gradtagszahlen	246
10.6.4	Schlussfolgerung für das Bereinigungsverfahren.....	250

11	Wirtschaftlichkeit	251
11.1	Wirtschaftlichkeit der Optimierungen	251
11.1.1	Art des Wirtschaftlichkeitsnachweises	251
11.1.2	Gesamtwirtschaftlichkeit des Projekts.....	252
11.1.3	Wirtschaftlichkeit von Gebäudegruppen	252
11.1.4	Betrachtung von Einzelobjekten	254
11.2	Wirtschaftlichkeit der Schulungen	255
11.2.1	Handwerkerschulungen.....	255
11.2.2	Nutzerschulungen.....	256
11.3	Potentiale im Neubau und Bestand.....	257
11.3.1	Wirtschaftlichkeit im Bestand und Neubau.....	257
11.3.2	Hochrechnungen	259
11.4	Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte.....	261
12	Empfehlungen zur Qualitätssicherung	262
12.1	Status Quo der Qualitätssicherung.....	262
12.1.1	Gründe für fehlende Optimierung und Qualität	262
12.1.2	Energieverbrauchstypen und Handlungsanweisungen	265
12.2	Ursachen für Pumpenausfälle und Gegenmaßnahmen	267
12.3	Empfehlungen für künftige Optimierungen	270
12.3.1	Kostengünstige Verfahren	270
12.3.2	Optimierungsempfehlung aufgrund von Indikatoren.....	271
12.3.3	Datenaufnahme und Berechnungen	271
12.3.4	Checklisten zur Techniko Optimierung	273
12.4	Weitere Empfehlungen.....	275
13	Zusammenfassung.....	277
13.1	Erreichte Einsparungen und Verbesserungen	277
13.2	Wirtschaftlichkeit und Optimierungsempfehlungen	281
13.3	Erkenntnisse für Verordnung und Normung	284
13.4	Ausblick	288
14	Hinweise zum Anhang auf CD	289
15	Quellen.....	290
16	Nomenklatur	293

2 Überblick

Nachfolgend wird ein Überblick über Ziele und Motivation der durchgeführten energetischen Untersuchung von Gebäuden und deren Anlagentechnik gegeben. Es wird erläutert, wie und warum die erfassten Energiemessdaten ausgewertet wurden. Die Einzelarbeitspakete der technischen Projektbegleitung werden erläutert und die damit beschäftigten Personen vorgestellt. Abschließend werden die wichtigsten Projektergebnisse kurz genannt.

2.1 Ziele der Untersuchung

Ca. 30% des Primärenergieverbrauchs und eine Jahresemission von ca. 250 Millionen Tonnen CO₂ entfallen heute in der Bundesrepublik allein auf die Raumwärmebereitstellung. Regenerative Energiequellen müssen bis 2050 anstelle knapper werdender fossiler Energieträger Erdgas und Erdöl mehr als die Hälfte der Energiebereitstellung abdecken. Dabei wird meistens übersehen, dass dieser Anteil nur realistisch ist, wenn parallel der Raumwärmebedarf durch Modernisierung des Gebäudebestands mindestens um den Faktor 4 oder besser um mehr als den Faktor 10 auf den bereits heute realisierbaren Passivhausstandard reduziert wird. Dazu wird auch zukünftig die vorhandene Warmwasserzentralheizung in vielen Fällen die zwar geringe, aber weiterhin noch notwendige Restwärmebedarfsdeckung mit übernehmen. Sie kann es aber nur bei mindestens gleichem Komfort und mit der angestrebten Effizienz, wenn alle Systemkomponenten sinnvoll auf die neuen Verhältnisse, v. a. nach einer baulichen Modernisierung, abgestimmt und eingestellt werden

OPTIMUS ist ein Forschungs- und Qualifizierungsprojekt, das sich mit der Optimierung von bestehenden Heizungsanlagen befasst und damit einen nachvollziehbaren Weg der Energieeinsparung aufzeigt. Vor allem in bestehenden Heizungsanlagen ist eine optimale Zusammenarbeit der hochwertigen Einzelkomponenten (Kessel, Pumpen, Regler, Thermostate, Heizkörper, etc.) sicherzustellen. Der oftmals unterlassene hydraulische Abgleich, die Überdimensionierung von Heizflächen, die zumeist nicht der Rohrnetzdimensionierung entsprechende Auslegung und Einstellung der Pumpen und die meist nicht vorgenommene Einstellung der Heizkurven witterungsgeführter Vorlauftemperaturregler sind vier entscheidende Faktoren, die zu einem unnötigen Energieverbrauch und zu einer Verschwendung von Ressourcen führen.

Da in der Praxis übertriebenes Sicherheitsdenken bei der Dimensionierung ebenso anzutreffen ist wie komplett fehlende Anlagenplanungen, kann die Anlagentechnik in vielen Gebäuden ein Mehrfaches der benötigten Energiemenge abgeben und läuft insgesamt suboptimal.

Aktuell veröffentlichte Ergebnisse der letzten Passivhaustagung [35] bestätigen dies: „Interessant ist die Betrachtung der erforderlichen Heizleistung im Hinblick auf Energieeinsparpotentiale bei der Heizungstechnik. Eine Reduzierung der Heizleistung auf 10 W/m² wäre möglich und sinnvoll gewesen. Die Überschreitung der Leistung in zwei Wohnungen ist auf unangepasstes Nutzerverhalten zurückzuführen, das bei einem geringeren Heizleistungsangebot zu einem angepassteren Verbrauch führen würde. Bei dieser Aussage handelt es sich um eine These, die bei weiteren Anlagenprojektierungen zu belegen ist“ [35]). Auch frühere Ergebnisse der Autoren aus Felduntersuchungen von Niedrigenergiehäusern der EXPO-Siedlung am Kronsberg [51] belegen den Einfluss eines Verschwendungspotentials der Anlagentechnik auf den Heizenergieverbrauch.

Die Unzulänglichkeiten wirken sich i.d.R. zunächst nur auf die laufenden Energiekosten für den Nutzer des Gebäudes aus. Weder Energieversorger noch das Fachhandwerk oder ein Anlageneigentümer als Vermieter sind direkt von einer verminderten Anlagenqualität negativ betroffen. Erhöhte Instandhaltungskosten für zu früh verschlissene Anlagenkomponenten machen sich oft erst

nach längerer Zeit beim Betreiber bemerkbar. Dann wird eine – nachträgliche – Qualitätssicherung und Technikoptimierung aus Kostengründen und aus Unkenntnis meist nicht mehr in Betracht gezogen.

Für den Mietwohnungsbau spielt die Qualität der Anlage künftig spätestens dann eine Rolle, wenn eine Wohnung nicht mehr allein nach Kaltmietpreisen vermarktet werden kann. Dieser Zustand ist in einzelnen Gebieten Deutschland bereits erreicht und wird bis auf wenige Kerngebiete in wenigen Jahren ganz Deutschland erfasst haben. Für Hersteller von Anlagentechnik wandelt sich das wirtschaftliche Handlungsfeld ebenfalls: nicht mehr allein Komponenten sind gefragt, sondern Systeme. Letztlich wird der Bereich Qualitätssicherung in baulich modernisierten Gebäuden wahrscheinlich einer der größten künftigen Märkte für die Fachunternehmen der Versorgungstechnikbranche werden. Aufgrund des stetig verminderten Neubaufkommens liegt in der – bezahlten – Qualitätsverbesserung von Anlagen ein wirtschaftliches Potential für die Planung und Ausführung. Die Forderungen nach Qualität lassen sich sehr gut mit den aus der Europäischen Gebäuderichtlinie und aus der Europäischen Dienstleistungsrichtlinie resultierenden Forderungen vereinbaren und koppeln.

Das Kernproblem, das ein rasches Durchsetzen von Qualitätsoffensiven heute noch behindert, ist die unbestimmte Wirtschaftlichkeit. Bislang ist der Markt ein Angebotsmarkt, dem die Nachfrage fehlt. Zur Änderung dieses Zustandes sind neben ausreichender Kommunikation vor allem gesicherte und belastbare Grundlagen über Kosten und Nutzen von Qualitätssicherung notwendig.

Dieses Phänomen ist aus dem Markt für Luftdichtheitsprüfungen bekannt. Nachdem der energetische und wirtschaftliche Nutzen sich in der Praxis bewiesen hat und der Ordnungsgeber dies mit einem Qualitätssicherungsbonus (in der EnEV) honoriert hat, haben sich Dichtheitsprüfungen am Markt etabliert.

Das Projekt OPTIMUS zielt darauf ab, die bisher nicht genutzten Energieeinsparpotentiale durch eine technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und offen zulegen sowie mittels einer Informations- und Qualifizierungsstrategie nachhaltig zu sichern. Die technischen und wirtschaftlichen Ziele der Projektarbeit sollen nachfolgend umrissen werden.

Optimierung konkreter Gebäude

Experten weisen immer wieder darauf hin, dass gerade im Bereich des Gebäudebestands und der vorhandenen Anlagen ein erhebliches Energieeinsparpotenzial vorhanden sei. Dabei geht es darum, dass in den Heizungsanlagen in der Regel zwar durchaus hochwertige Einzelkomponenten (Kessel, Pumpen, Regler, Thermostate, Heizkörper, etc.) vorhanden sind, diese aber oft nicht optimal zusammen arbeiten.

Die Optimierung der Technik ist als Qualitätssicherung zu verstehen. Der Begriff meint hier nicht die manuelle Überwachung der üblichen Planung und Ausführung als Aufgabe eines Qualitätssicherungsbüros. Er steht für die Erweiterung der üblichen Planung, Ausführung und Wartung mit dem Ziel einer Technikoptimierung, auch der Optimierung der Komponenten durch die Hersteller. Die Qualitätssicherung wird als eine Zusatzqualifizierung und Dienstleistung aller Fachunternehmen der TGA verstanden.

Unter Optimierung einer Heizungsanlage versteht man die Anpassung einer (vorhandenen) Anlage an den Bedarf des Gebäudes. Dies erfolgt so, dass es behaglich bleibt, d.h. ein normaler Komfort für den Nutzer zu erwarten ist, dass aber auch keine Energieverschwendung mit der Anlage möglich ist. Dazu ist es u. a. notwendig, die Heizwassertemperatur und -menge den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen.

Die Optimierung, zunächst im Rahmen der Planung und Ausführung, umfasst:

- den hydraulischen Abgleich mit Voreinstellung von Thermostatventilen,
- die Einstellung der ausreichenden Förderhöhe an der Pumpe
- die Einstellung der Vorlauftemperatur am zentralen Regler.

Entwicklung von Hilfsmitteln zur Optimierung

Für das Fachhandwerk und den Fachplaner sind kaum Hilfsmittel zur Anlagenoptimierung bestehender Heizungsanlagen vorhanden. Es mangelt an technischen Regeln einerseits und praktikablen Anwendungshilfen (Messtechnik, Rechenprogramme, Checklisten usw.) andererseits.

Ein Projektziel ist, diese Lücke zu schließen und Hilfsmittel zur Optimierung zu erarbeiten. Diese müssen die Zusammenhänge zwischen den Funktionsanforderungen der Technikkomponenten (Wärmeerzeuger, Regelung, Pumpe, Heizkörper und thermostatische Heizkörperventile), der Nutzung und des Gebäudes berücksichtigen. Eine Erweiterung wird zukünftig in der Optimierung von Lüftungsanlagen zusammen mit der Heizungstechnik erfolgen.

Energieeinsparnachweis

Die vorhandenen Einsparpotentiale bei der Optimierung von Heizungsanlagen können bislang nicht exakt beziffert werden, da sich die wissenschaftlichen Untersuchungen oft nur auf technische Teilaspekte oder einzelne Produkte von Herstellern beschränken. Insbesondere der Effekt eines planmäßig durchgeführten hydraulischen Abgleichs wurde noch nicht empirisch untersucht.

Eines der wichtigsten Ziele des Projektes ist es daher, vorhandene Einsparpotentiale messtechnisch nachzuweisen. Dazu wird die Anlagentechnik ausgewählter Gebäude zunächst aufgenommen und anschließend optimal an Nutzung und Gebäude angepasst. Der Energieverbrauch vorher und nachher wird erfasst und ausgewertet. Es soll der Nachweis geführt werden, ob und in welchem Umfang durch die heizungstechnische Optimierung, und durch die Qualitätskontrolle von Planung und Ausführung eine nachhaltige Verbesserung erzielt wird.

Die nachgewiesene eingesparte Energiemenge gibt im zweiten Schritt darüber Aufschluss, in welcher Höhe eine Ressourceneinsparung (Primärenergie) möglich ist und inwieweit die Umwelt durch eine Optimierung entlastet wird (CO₂-Bewertung).

Wirtschaftliche Bewertung

Ziel der wirtschaftlichen Bewertung der Optimierung als Qualitätssicherungsmaßnahme ist der Nachweis, dass diese betriebswirtschaftlich sinnvoll ist. Nicht alle Vorteile lassen sich aber mit Geldgrößen bewerten. Durch den geringeren Energieverbrauch wird die Umwelt entsprechend weniger belastet. Die damit eingesparten sozialen und ökologischen Folgekosten (externe Kosten) werden von der betriebswirtschaftlichen Rechnung nicht erfasst. Durch Steuern, Abgaben oder den aktuellen Handelswert der neu eingeführten Emissionszertifikate können diese externen Kosten zum Teil sichtbar gemacht werden, jedoch ist eine finanzielle Bewertung aller zukünftigen Schäden prinzipiell nicht möglich.

Im Rahmen des Projekts soll ausschließlich die Betriebswirtschaftlichkeit aus Sicht des Nutzers/Besitzers (Träger der Energiekosten) und des Eigentümers oder Anlagenbetreibers (Träger der Investitions- und Instandhaltungskosten) untersucht werden. Ist die Optimierung für beide Seiten positiv, hat das Fachunternehmen TGA, das eine Optimierung durchführt, stichhaltige Argumente für die Umsetzung dieser Dienstleistung.

Zur Bewertung der Optimierung werden zusätzliche Ausgaben für die Umsetzung und andererseits erreichte Kostenersparnisse oder Geldeinnahmen bestimmt. Als direkte Kostenersparnis wird vereinfachend nur die Energieeinsparung in Ansatz gebracht. Verminderte Instandhaltungskosten, die Erhöhung des Wohnkomforts bei verminderten Betriebskosten, verbesserte Vermietbarkeit und andere indirekt als Kostenersparnis wirksame Effekte werden, da sie nur sehr unsicher nachweisbar sind, nicht bewertet.

Bei der Bewertung der Vorteile einer Optimierung wird als Referenzfall der Zustand ohne Qualitätssicherung herangezogen. Bezogen auf diesen Zustand werden zusätzliche Einnahmen und Ausgaben bestimmt und mit einem Gesamtkostenverfahren unter Berücksichtigung der Entwicklung des Energiepreises, allgemeiner Preissteigerungen usw. bewertet.

2.2 Vorgehensweise bei der Optimierung

Die Optimierung der Anlagentechnik wird im Abschnitt 7 des Berichts detailliert erläutert. An dieser Stelle soll vorab ein Kurzüberblick gegeben werden.

Die nachträgliche Optimierung von Heizungsanlagen dient der Anpassung der in einem Gebäude bereitgestellten an die tatsächlich benötigte Wärmemenge. Sie umfasst den vereinfachten hydraulischen Abgleich mit Voreinstellung der Thermostatventile und Einstellung der Pumpe (oder eines Differenzdruckreglers) sowie die Einstellung des zentralen Reglers.

Damit wird sichergestellt, dass nicht versehentlich Wärme zum Fenster hinaus gelüftet wird. Positive Nebeneffekte der hydraulischen Optimierung sind i.d.R. eine Ersparnis an Pumpenergie, Geräuschminderung in der Anlage und ein gleichmäßigeres Aufheizverhalten der Räume. Der vereinfachte Ablauf der Optimierung sieht wie folgt aus:

Begehung und Aufnahme		Software oder Handrechnung						Umsetzung
überschlägige Berechnung der Raumheizlast anhand der Außenflächen	Aufnahme der Heizkörperleistungen	Feststellen der Überdimensionierung der Heizkörper	Suche des Heizkörpers der am knappsten bemessen ist und festlegen der Vorlauftemperatur	Bestimmung der Volumenströme für jeden Heizkörper	Ermittlung des Druckverlustes für das Ventil eines jeden Heizkörpers	Bestimmung der Voreinstellung der Thermostatventile	Berechnung der Förderhöhe der Pumpe oder ggf. eines Differenzdruckreglers	Einstellung vor Ort

Bild 1 Optimierungsablauf im Überblick

Diese Vorgehensweise erfordert einen Anfangsaufwand zur Aufnahme des Ist-Zustandes; es müssen alle Räume und Heizkörper einzeln erfasst werden. Notwendig wird dies durch die stark unterschiedliche Überdimensionierung der Heizkörper innerhalb eines Gebäudes. Diese Unterschiedlichkeit führt zu stark unterschiedlichen Rücklauftemperaturen innerhalb eines Gebäudes. Die Annahme einer einheitlichen Spreizung (z.B. 70/55 °C) führt im typischen Bestandsgebäude zu stark abweichenden Ergebnissen.

In der Praxis, vor allem nach einer Modernisierung hängt die Raumheizlast sehr stark von den Außenflächen eines Raumes ab. Wärmeverluste sind in Eckräumen höher als in Innenräumen. Weiterhin sind die Heizkörper sehr unterschiedlich bemessen (fehlende Auslegung oder unterschiedlich starke Wirksamkeit der Modernisierung der Außenflächen). Beide Effekte führen in realen Bestandsgebäuden dazu, dass es gleichzeitig Heizkörper ohne Überdimensionierung und Heizkörper mit bis zu 6facher Überdimensionierung gibt.

Bei gleicher Vorlauftemperatur in einer Anlage ergeben sich daher sehr unterschiedliche Rücklauftemperaturen an den Heizkörpern, unterschiedliche Volumenströme und Druckverluste. Dies erfordert eine aufwendigere Berechnung – v. a. im bestehenden Gebäude.

2.3 Vorgehensweise bei der Energiedatenauswertung

Als eines der wichtigsten Ziele für das OPTIMUS-Projekt wurde bereits der Nachweis der Energieeinsparung in den optimierten Gebäuden genannt. Dieser Nachweis, d.h. die Vorgehensweise bei der Auswertung von Energiemessdaten, wird nachfolgend erläutert. Um eine Einsparung an Energie nachzuweisen werden zwei parallele Wege beschritten:

1. Der Energieverbrauch jedes untersuchten Gebäudes wird vor und nach der Optimierung verglichen.
2. Der Energieverbrauch optimierter und nicht optimierter Gebäude wird verglichen.

Die Aussagen zur nachgewiesenen Energieeinsparung sollen möglichst unabhängig von Witterungseinflüssen gelten, daher wird eine Witterungskorrektur aller Verbrauchsdaten durchgeführt. Diese zweigleisige Auswertung wird gewählt, um Einflüsse der Witterung – die das Ergebnis selbstverständlich beeinflussen – angemessen zu berücksichtigen.

Da es für die Witterungskorrektur jedoch mehrere in der Fachliteratur zulässige Vorgehensweisen gibt, verändert sich das Ergebnis je nach Wahl des Verfahrens. Der Energieverbrauch von Gebäuden vor und nach einer Optimierung ist also – trotz Witterungskorrektur – nicht eindeutig verifizierbar. Deshalb wird parallel auch der Energieverbrauch ohne Witterungskorrektur verfolgt. Eine Vergleichsgruppe von Gebäuden wird als Referenz nicht optimiert. Im Vergleich zu den optimierten Gebäuden zeigt sich auch ohne Korrektur der Witterung ein anderer Verbrauch, siehe Bild 2.

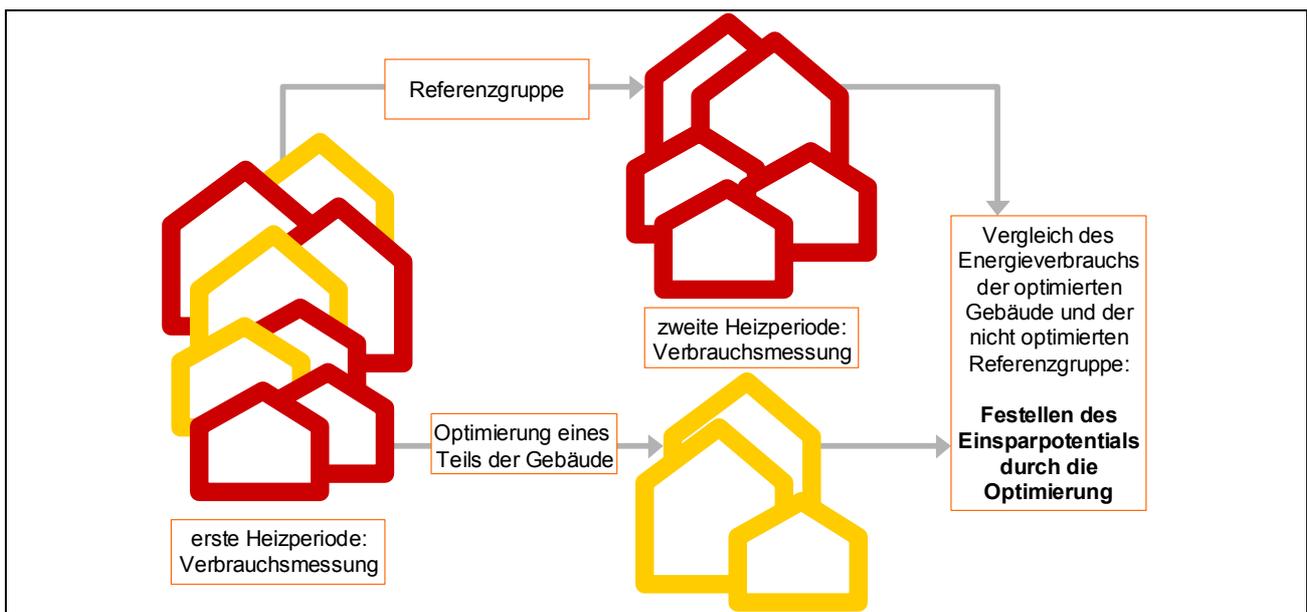


Bild 2 Feststellung des Einsparpotential durch Vergleich optimierter und nicht optimierter Gebäude

Stellt sich mit beiden Verfahren eine Einsparung in etwa gleicher Höhe heraus, so ist diese als vertrauenswürdig und abgesichert anzunehmen und kann – bei entsprechend großer Zahl von Testgebäuden – verallgemeinert werden.

Für den quantitativen Einsparnachweis wurden im norddeutschen Raum ca. 90 Versuchsobjekte ausgewählt. Darunter sind Ein- und Mehrfamilienhäuser unterschiedlichen Alters, die mit Öl, Gas oder Fernwärme beheizt werden. Die Untersuchung bezieht sich auf Wohngebäude mit maximal 18 Wohneinheiten, die sowohl von der Bausubstanz als auch vom Heizungssystem repräsentativen Charakter aufweisen.

Der Energieverbrauch der Gebäude wurde über insgesamt fast 3 Heizperioden monatlich gemessen (Gaszähler, Wärmemengenzählern für die Trinkwarmwasserversorgung und für die Heizung, Elektrozähler für den Hilfsstromverbrauch der Anlagentechnik). Zusätzlich wurden die mittleren monatlichen Außentemperaturen erfasst.

2.4 Arbeitspakete und Mitarbeiter

Über die mehrjährige Projektlaufzeit hinweg wurde im Rahmen der "technischen Projektbearbeitung" eine Reihe von Aufgabenpaketen bearbeitet. Die wichtigsten Aufgaben waren:

- Auswahl der Gebäude und Ausstattung mit Messeinrichtungen
- Erstellung einer Datenbank zur Archivierung aller Gebäude-, Zustands- und Messdaten
- Erstellung von Arbeitshilfen zur Gebäude- und Anlagenerfassung
- Aufnahme der Gebäude und Kennwertbildung für die Beschreibung des Ist-Zustandes
- Erstellung und Dokumentation einer Software zur Optimierung
- Einweisung und Betreuung der Handwerker beim Umgang mit der Software zur Optimierung
- Ermittlung der optimalen Einstellparameter für die Gebäude
- Aufnahme, Plausibilitätsprüfung und Archivierung der Energiemessdaten
- Auswertung der Energiemessdaten mit geeigneter Witterungsbereinigung
- Erstellung von theoretischen Energiebedarfsbilanzen (dena-EID-Verfahren-Energiepass)
- Kostenzusammenstellungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Erstellung weiterer Arbeitshilfen (Verfahren zur Optimierung von EFH, Bauteilhandbuch u. a.)
- Veröffentlichung von Fachartikeln zur Optimierung und Energiedatenauswertung
- Projektendbericht und Gebäudeendberichte für alle Objekte

Wichtige Punkte der Projektbearbeitung sind im Zeitstrahl nach Bild 3 wiedergegeben.

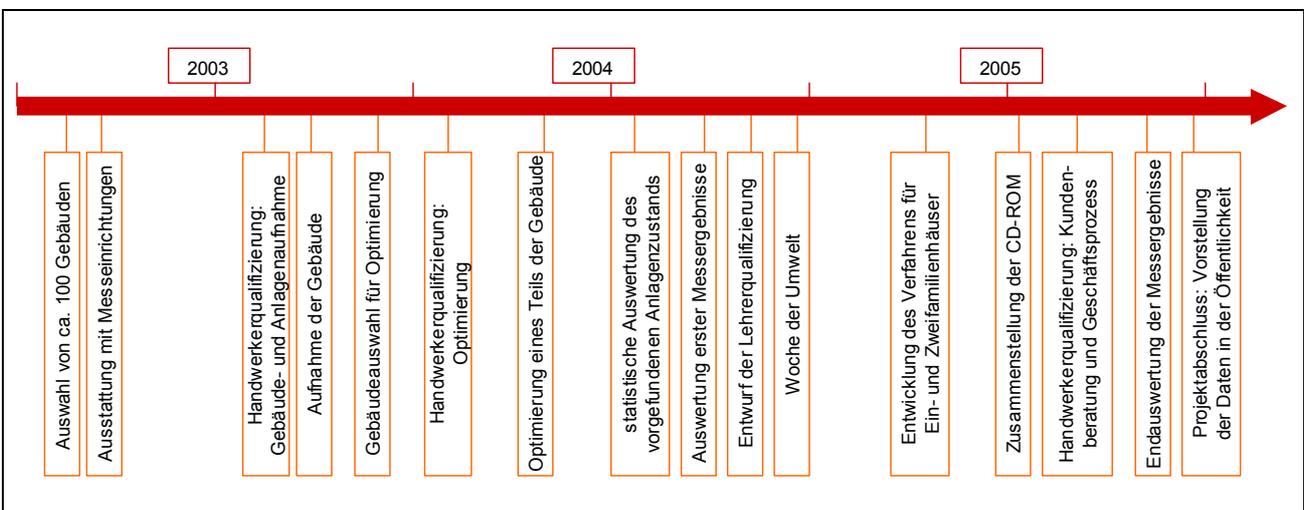


Bild 3 Zeitplan

Die praktischen Arbeitspunkte (Gebäudeaufnahme, Optimierungsberechnung, Messdatenerfassung) wurden in Zusammenarbeit mit dem Fachhandwerk bearbeitet. Für die wissenschaftliche Begleitung sowohl der Optimierung als auch der Energiedatenauswertung war an der FH BS/Wolfenbüttel (TWW) eine Reihe von Mitarbeitern aktiv. Deren Arbeitsschwerpunkte fasst Tabelle 1 zusammen.

Mitarbeiter/in	Status	Zeitraum (von / bis)		Arbeitsschwerpunkte
Wolff, Dieter	Projektleitung	2002 bis 2005		Projektleitung
Jagnow, Kati	Projektbetreuung, Promotion	2002 und 2005		Erarbeitung des Verfahrens zur Optimierung von EFH und des Bauteilhandbuchs, Fachartikel, Dokumentation von Schulungsunterlagen und Nutzerinformationen, Abschluss der Messdatenauswertung und Wirtschaftlichkeitsberechnungen, Endbericht, Grundlagenarbeit im Rahmen der Promotion (Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen)
Halper, Christian	Projektbetreuung	2003		Gebäudeaufnahme, Aufbau der Datenbank, Erstellung von Schulungsunterlagen, Handwerkerschulung zur Gebäudeaufnahme und Optimierung, Betreuung der Optimierungen, Fachartikel, Anpassung und Dokumentation der Optimierungs-Software, Erstellung von Checklisten zur Optimierung
Wohlers, Heike	Projektbetreuung	2004		Komplettierung und Validierung der Datenbank, Messdatenauswertung und Kennwertbildung, nachträgliche Gebäudeaufnahme, Messdatenbereinigung nach verschiedenen Verfahren zur Verminderung von Unsicherheiten, Vorbereitung der Fachinformationen für die Woche der Umwelt
Teuber, Peter	Projektmitarbeit	2002 bis 2005		Betreuung von Studenten, Messdatenerfassung, Softwarebetreuung, Handwerkerschulungen
Dödtmann, Frank	Studienarbeit (SA), Diplomarbeit (DA)	Januar 2003	Juli 2003	SA: Aufnahmeformulare für Gebäudeerfassung mit Handbuch und Schulungsunterlagen; DA: Grobanalyse der erfassten Gebäude zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit und zur Entscheidung, welche Gebäude optimiert werden
Isensee, Simon	Studienarbeit (SA), Diplomarbeit (DA)	Januar 2003	August 2003	SA: Aufnahmeformulare für Gebäudeerfassung mit Handbuch und Schulungsunterlagen; DA: Untersuchung des monatlichen Energieverbrauchs ausgewählter Mehrfamilienhäuser mit Hilfe eines ausführlichen Energiebilanzverfahrens
Wohlers, Heike	Diplomarbeit (DA)	August 2003	Dezember 2003	DA: Bildung von technischen Kennwerten des Ist-Zustands der Gebäude und Berechnung der notwendigen Energieeinsparung durch Optimierung nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten
Christoph, Thomas	Studienarbeit (SA), Diplomarbeit (DA)	September 2003	April 2004	SA und DA: Analyse des Verbrauchs und Energieeinsparpotentiale von Heizungsanlagen in Wohngebäuden anhand monatlicher Messwerte (Vorbereitung der Datenauswertung und Bereinigung)
Dödtmann, Frank	studentische Mitarbeit	August 2002	Dezember 2002	Gebäudeauswahl und Akquise, Planung der Ausstattung der Gebäude mit Zählern
Isensee, Simon	studentische Mitarbeit	August 2002	Dezember 2002	Gebäudeauswahl und Akquise, Planung der Ausstattung der Gebäude mit Zählern
Sobirey, Marco	studentische Mitarbeit	März 2003	August 2003	Optimierungsberechnungen für die Gebäude, Anpassung der Optimierungs-Software, Fachartikel
Hiller, Sven	studentische Mitarbeit	Oktober 2003	Januar 2004	Optimierungsberechnungen für die Gebäude, Anpassung der Optimierungs-Software
Siodla, Rebecca	studentische Mitarbeit	August 2004	Dezember 2004	Erstellung von Energiepass-Berechnungen (EID), nachträgliche Gebäudeaufnahme, Überarbeitung der technischen Kennwerte für den Ist-Zustand
Blenke, Dörte	studentische Mitarbeit	Oktober 2004	Februar 2005	Erstellung von Energiepass-Berechnungen (EID), nachträgliche Gebäudeaufnahme, Zusammenstellung von Daten für die Gebäudeendberichte

Tabelle 1 Arbeitspakete und Mitarbeiter bei der wissenschaftlichen Projektbegleitung

Darüber hinaus wurde die Projektarbeit von Tobias Timm, enercity Klimaschutzfond Hannover, unterstützt. Er erstellte bereits vor Projektbeginn eine wichtige Grundlage, die Optimierungs-Software, im Rahmen seiner Diplomarbeit.

Die Innung Wilhelmshaven stand in Person des Projektinitiators Eckhard Stein während der gesamten Laufzeit als Ansprechpartner für die beteiligten Handwerker der Region Weser-Ems zur Verfügung.

Bei der technischen Umsetzung des Projekts (Gebäudeaufnahme, Optimierung und Messdatenerfassung) waren folgende Unternehmen beteiligt:

- Firma Stein + Bösch
Herr Stein, Herr Schabl, Herr Lüdtko
Gerichtsstraße 18, Wilhelmshaven
- Firma Moritz + Schulz
Herr Henning, Herr Berg
Werftstraße 103, Wilhelmshaven
- Firma Dons
Herr Knipper
Langeoogstraße 29, Wilhelmshaven
- Firma Wichmann
Herr Wichmann, Herr Koglin, Herr Biedermann
Oppenheimer Straße 3, Bremen
- Firma Pieczonka
Herr Pieczonka, Herr Mrozek
Hinter dem Turme 28, Braunschweig
- Firma Jäger
Herr Jäger
Buchenberg 1, Wolfsburg
- Firma Heimlich
Herr Heimlich
Am Kleifeld 14, Wolfsburg
- Firma Siegel
Herr Siegel
Westerberg 1, Sickinge
- Firma Taebel
Herr Taebel
Hebbelstraße 1, Hannover

Den beteiligten Unternehmen sowie allen Wohnbauunternehmen, v. a. den Herren Voss und Schlüter der Nibelungen-Wohnbaugesellschaft in Braunschweig, Versorgungsunternehmen und Privatpersonen sei an dieser Stelle herzlich für ihre Unterstützung gedankt.

2.5 Ergebnisse - Kurzbericht

Der folgende Abschnitt des Berichts fasst die technische Durchführung und die erzielten Ergebnisse des Projekts OPTIMUS zusammen.

Ziel des Projektes OPTIMUS war, die bisher nicht genutzten Energieeinsparpotentiale durch eine technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und offen zu legen sowie ihre Verbreitung mittels einer Informations- und Qualifizierungsstrategie nachhaltig zu sichern. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ist dieses Ziel erreicht worden:

- Die Lücke an technischen Regeln für die Optimierung einerseits und praktikablen Anwendungshilfen (Messtechnik, Rechenprogramme, Checklisten usw.) andererseits konnte geschlossen werden. Es sind zwei Rechenprogramme mit Handbüchern und Hintergrundinformationen für den Fachhandwerker und Fachplaner erstellt und erprobt worden.
- Die vorhandenen Einsparpotentiale durch die Optimierung einer Heizungsanlage sowie deren Wirtschaftlichkeit konnten messtechnisch nachgewiesen werden.

Gebäudewahl und Ausstattung mit Messtechnik

Insgesamt konnten 92 Gebäude für das Projekt angeworben werden. Die in der Studie untersuchten Gebäude befinden sich im Raum Norddeutschland in den Regionen Wilhelmshaven, Bremen, Hannover, Wolfenbüttel, Braunschweig und Wolfsburg.

Die Klassifizierung der Gebäude nach den drei wesentlichen Merkmalen: Baualter, Gebäudetyp und Art der Energieversorgung zeigt Tabelle 7. Der Schwerpunkt der Baualtersklassen liegt bei den ältesten Gebäuden.

Baualterklasse	EFH			MFH			Alle		
	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle
1: älter als 1978	18	8	26	15	6	21	33	14	47
2: 1978-1994	7	2	9	4	7	11	11	9	20
3: neuer als 1994	13	4	17	2	6	8	15	10	25
alle	38	14	52	21	19	40	59	33	92

Tabelle 2 Klassifizierung der Gebäude

In den Gebäuden wurden zusätzliche Messeinrichtungen (Wärmemengenzähler und Stromzähler) installiert. Die primären Zähleinrichtungen der Versorgungsunternehmen wurden selbstverständlich für die Datenerfassung genutzt. Insgesamt können für die in Tabelle 9 zusammengestellten Zähler Messdaten ausgewertet werden.

	auswertbare Zähler	für das Projekt nachinstalliert
Gaszähler	57	0
Primärzähler Fernwärme	28	0
Wärmemengenzähler Heizwärme	67	97
Wärmemengenzähler Trinkwarmwasser	59	
Elektrozähler	81	74

Tabelle 3 Zähleranzahl und Kosten

Damit ergeben sich für das Projekt Gesamtkosten für die Ausstattung mit Messeinrichtungen von etwa **18.000 €**. Diese Kosten sind für das Projekt jedoch fiktiv, da Eigenleistungen bzw. kostenlose Fremdleistungen Dritter erbracht wurden.

Gebäudeaufnahme und Messdatenerfassung

Im Januar 2003 wurde damit begonnen, einen Katalog von Gebäude- und Anlageeigenschaften zusammenzustellen, der alle benötigten Daten für die spätere Optimierung als auch für die wissenschaftliche Auswertung der Gebäude enthält.

Um die Vielzahl von Informationen sinnvoll nutzen zu können, wurde eine Datenbank aufgebaut, in der alle Informationen zu den OPTIMUS-Gebäuden strukturiert abgelegt werden. Die Datenbank ermöglicht das einfache Gegenüberstellen beliebiger Informationen und schafft so die Grundlage für die Untersuchung verschiedenster Einflüsse und gegebenenfalls vorhandener Wechselwirkungen auf den Energieverbrauch der Gebäude. In der Datenbank wurden auch die über 8000 Monatsmesswerte für Endenergie-, Heizwärme-, Trinkwassernutzwärme- und Hilfsenergieverbrauch hinterlegt.

Die Erfassung der Gebäude- und Anlagendaten erfolgte Anfang bis Mitte 2003 mit Hilfe von der FH BS/Wolfenbüttel erstellter Datenblätter und einer von der FPB entwickelten Nutzerbefragung. Die Daten wurden in so genannten Hausordnern – der Hausakte als wichtigem Dokument für Handwerker, den Kunden und die wissenschaftliche Begleitung – gesammelt und dokumentiert.

Für die ausführenden Fachhandwerker wurde ein Handbuch zur Gebäudeaufnahme zusammengestellt. Es enthält auf 15 Seiten die Aufnahmeformulare als Kopiervorlage sowie die entsprechenden Erläuterungen. Unter anderem sind auch nützliche Hilfsmittel, z.B. Erkennungsmerkmale für Hersteller und Typ von voreinstellbaren Thermostatventilen enthalten. Die Handwerker wurden vor der Gebäudeaufnahme im Frühjahr 2003 geschult.

Im weiteren Projektverlauf wurde das Handbuch zur Gebäudeaufnahme verfeinert, ergänzt und ein zweites Handbuch zur Bestimmung von Außenbauteilen von der FH BS/Wolfenbüttel erstellt. Diese zusätzliche Arbeitshilfe liefert Hinweise zur besseren Bestimmung der U-Werte für Außenwände, Dächer, Decken, Fenster und Bodenplatten.

Status der am Projekt teilnehmenden Gebäude

Die untersuchten Gebäude weisen durchschnittliche Kompaktheitsgrade von $0,56 \text{ m}^{-1}$ (MFH) bis $0,64 \text{ m}^{-1}$ (EFH) auf. Ein durchschnittliches EFH hat eine Fläche von 153 m^2 , ein durchschnittliches MFH von 837 m^2 . Die mittleren U-Werte der Gebäude nehmen von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in der ältesten bis auf $0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in der neuesten Baualtersklasse ab.

Die untersuchten Anlagen im Bestand weisen eine großzügige Wärmeerzeugerauslegung (Überdimensionierung etwa 1,8 bezogen auf die Gebäudeheizlast), Pumpenauslegung (Leistungsüberdimensionierung etwa 3 bezogen auf die ausreichende elektrische Leistung) und Heizkörperbemessung (Verhältnis Heizkörpernormleistung nach DIN EN 442 zu effektiver Raumheizlast etwa 1,7) auf.

Die berechneten Raumheizlasten sinken von $91 \text{ W}/\text{m}^2$ (Durchschnitt der ältesten Baualtersklasse) bis auf $41 \text{ W}/\text{m}^2$ (Durchschnitt der neuesten Baualtersklasse). Entsprechende Gebäudeheizlasten liegen bei $84 \text{ W}/\text{m}^2$ bis $34 \text{ W}/\text{m}^2$.

Die zentrale Heizkurveinstellung ermöglicht nahezu unabhängig von Baualter Vorlauftemperaturen von ca. $80 \text{ }^\circ\text{C}$ bei Auslegungsaußentemperatur ($-15 \text{ }^\circ\text{C}$). Die untersuchten Gebäude weisen mit sehr geringer Schwankungsbreite durch alle Gebäudearten, Altersklassen und Systemen der Energieversorgung eine eingestellte Heizkurvensteilheit von etwa 1,6 auf. Die Parallelverschiebung ist mit 4 K im MFH größer als im EFH mit nur 1 K.

Die Durchflusswerte ($k_{v,s}$) der eingesetzten Ventile sind etwa 7 ... 10fach zu groß. Der hydraulische Abgleich ist in deutlich weniger als 10 % der Anlagen vorhanden. Weniger als die Hälfte der Thermostatventile sind überhaupt voreinstellbar.

Typische Kennwerte für installierte Pumpenleistungen (bezogen auf die beheizte Fläche) sind: etwa $0,13 \dots 0,43 \text{ W}/\text{m}^2$ für Heizungsumwälzpumpen, etwa $0,13 \dots 0,35 \text{ W}/\text{m}^2$ für Speicherladepumpen und $0,09 \dots 0,19 \text{ W}/\text{m}^2$ für Zirkulationspumpen.

Außerhalb des beheizten Bereichs sind etwa $0,1 \text{ m}/\text{m}^2$ Heizungsleitungen mit mäßiger bis guter Dämmung und weitere $0,08 \text{ m}/\text{m}^2$ Trinkwarmwasserleitungen mit guter Dämmung verlegt.

Zusammenfassend betrachtet wird dem Nutzer heute typischer Wohngebäude und Anlagen damit ein enormes Verschwendungspotential geboten. Die Auswertung zeigt, dass der maximale Verbrauch etwa 2,2 (altes EFH) bis 3,4 (neues MFH) über einem minimalen Verbrauch mit angepasstem Nutzerverhalten liegen kann [28]. Es muss davon ausgegangen werden, dass die technischen Verluste hoch und die Effizienz der Wärmebereitstellung gering bzw. nicht dem technischen Stand der Einzelkomponenten angemessen sind.

Werkzeuge für die Optimierung

Eine Anlagenoptimierung kann nur erfolgreich durchgeführt werden, wenn die Anlage als Gesamtsystem betrachtet wird. Dies setzt in bestehenden Anlagen voraus, zunächst alle vorhandenen Komponenten zu erfassen und dann mit diesen den bestmöglichen Anlagenzustand herzustellen. Dafür gab es vor Projektbeginn keine handhabbaren Werkzeuge für das ausführende Handwerk.

Bereits im Vorfeld des OPTIMUS-Projekts wurde geprüft, welche Möglichkeiten zur Optimierung von Heizungsanlagen mit dem Schwerpunkt „Hydraulischer Abgleich“ in der Fachliteratur bekannt sind. Aufbauend auf den vorhandenen Ansätzen wurde in zwei Diplomarbeiten [38], [36] ein Optimierungskonzept erarbeitet, dass die Durchführung des hydraulischen Abgleichs auch in Bestandsgebäuden ohne detaillierte Kenntnisse über das Rohrnetz ermöglicht.

Es zeigte sich schnell, dass die komplexen Zusammenhänge nur mit Softwareunterstützung einfach und kostengünstig berechnet werden können. Daher wurde in Zusammenarbeit mit der proKlima GbR in Hannover (Förderprogramm zur Qualitätssicherung von Heizungsanlagen, Grundlage ist der Hydraulischen Abgleich) und der FH BS/Wolfenbüttel eine Software zur Optimierung von Heizungsanlagen entwickelt, mit der ein hydraulischer Abgleich auch in Bestandsanlagen einfach und kostengünstig realisiert werden kann und mit der zugleich eine übersichtliche Dokumentation erstellt wird.

Dieses Programm wurde im Rahmen des OPTIMUS-Projekts zur Optimierung aller Ein- und Mehrfamilienhäuser eingesetzt, von Mitarbeitern der FH BS/Wolfenbüttel betreut und weiter entwickelt (das Programm bzw. seine Entwickler erhielten den Heimeier-Innovationspreis 2005 auf der ISH in Frankfurt). Darüber hinaus wurde auf Basis des Programms für die OPTIMUS-Gruppe ein zweites Rechenwerkzeug geschaffen. Dieses einfachere Rechenprogramm ist mit einer geringeren Anzahl von Eingabegrößen zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern geeignet.

Eine ausführliche Beschreibung der Zusammenhänge, die bei der Optimierung von Heizungsanlagen zu berücksichtigen sind sowie die Umsetzung dieser Kenntnisse in der Software „Optimierung von Heizungsanlagen – Hydraulischer Abgleich“ wurde in einer 5-teiligen Artikelserie mit dem Titel „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“ veröffentlicht [25].

Die Grundlagen der Optimierung, beide Rechenprogramme mit den zugehörigen Handbüchern sowie Erfahrungen bei der Anwendung werden nachfolgend dokumentiert.

Optimierung der Gebäude

Nach der Grobauswertung der Energieverbrauchsdaten der ersten Heizperiode wurden 31 Gebäude mit einer gesamten beheizten Fläche von fast 11.500 m² als optimierungswürdig eingestuft. Tabelle 25 fasst die gewählten Objekte zusammen und ordnet sie den einzelnen Gebäudekategorien zu. Für die zur Optimierung ausgewählten Gebäude wurden im Sommer und Anfang Herbst 2003 die optimalen Einstellungen der Anlagentechnik mit dem "Ausführlichen Verfahren" berechnet. Die Software "Optimierung von Heizungsanlagen" ermöglichte die kostengünstige Berechnung aller Einstellwerte für die Technik, so dass die bestehenden Anlagen ab Herbst 2003 nachträglich an die Gebäude angepasst werden konnten.

Wert in Klammern: insgesamt auswertbare Gebäude	EFH			MFH			Alle		
	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle
1: älter als 1978	10 (15)	3 (7)	13 (22)	3 (13)	2 (6)	5 (19)	13 (28)	5 (13)	18 (41)
2: 1978-1994	3 (6)	1 (1)	4 (7)	4 (4)	1 (7)	5 (11)	7 (10)	2 (8)	9 (18)
3: neuer als 1994	3 (8)	0 (2)	3 (10)	0 (0)	1 (6)	1 (6)	3 (8)	1 (8)	4 (16)
alle	16 (29)	4 (10)	20 (39)	7 (17)	4 (19)	11 (36)	23 (46)	8 (29)	31 (75)

Tabelle 4 Optimierte Gebäude nach Kategorien

Da auch für die beteiligten Handwerksunternehmen sowohl die Berechnung mit der Software als auch die Kundendienstleistung "Optimierung" neu waren, wurden vor Beginn der Maßnahmen Vorbereitungstreffen mit der Fachbetreuung der Fh Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) organisiert. Die Optimierung vor Ort im Herbst und Winter 2003 umfasste anschließend:

1. die Voreinstellung der Thermostatventile zur Durchflussbegrenzung,
2. die Einstellung der Pumpe oder des Differenzdruckreglers auf die Anforderungen des nachgeschalteten Netzes,
3. die Einstellung der Regelung.

Anfang 2005 wurden die Energiedatenerfassung abgeschlossen und die Energieverbrauchsdaten der optimierten Gebäude im Vergleich zu den nicht optimierten Gebäuden ausgewertet.

Erreichte Einsparung von Heizwärme

Unter Heizwärme ist in diesem Zusammenhang die Energiemenge zu Heizzwecken ab Wärmeerzeuger zu verstehen; Anteile der Wärmeverluste des Verteilsystems im unbeheizten Bereich sind (sofern vorhanden) in diesem Wert mit enthalten.

Das gewählte Bereinigungsverfahren (mit Heizgradtagen und individueller Heizgrenze) führt dazu, dass der bereinigte Heizwärmeverbrauch der 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in beiden Messperioden praktisch gleich ist. Es ergibt sich eine geringe Differenz von unter 1 kWh/(m²a) bezogen auf einen mittleren Jahresnutzwärmeverbrauch von 122 kWh/(m²a), d.h. deutlich unter 1 %. Die 30 auswertbaren optimierten Gebäude weisen mit der gleichen Bereinigungsverfahren einen um 7,9 kWh/(m²a) geringeren bereinigten Heizwärmeverbrauch auf.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizwärmeeinsparung von 7 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Die Heizwärmeeinsparung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_h = -6$ kWh/m²a) etwas geringer als in den MFH ($\Delta q_h = -8$ kWh/m²a) und ist in den Gebäuden mit Kessel ($\Delta q_h = -10$ kWh/m²a) höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss ($\Delta q_h = -4$ kWh/m²a). Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_h = -18$ kWh/m²a) deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_h = -9$ kWh/m²a). In der ältesten Baualtersklasse sind im Mittel keine Einsparungen nachweisbar ($\Delta q_h = 0$ kWh/m²a). Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_h = -11$ kWh/m²a) deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_h = -2$ kWh/m²a).

In den optimierten Gebäuden konnten insgesamt fast 90.000 kWh/a Heizwärme eingespart werden.

Die Detailbetrachtung der Gebäude zeigt, dass in jeder Rubrik (optimiert und nicht optimiert, Baujahre vor und nach 1978 usw.) Mehr- und Minderverbräuche festzustellen sind. Bei den nicht optimierten Gebäuden gleichen sich die Mehr- und Minderverbräucher in etwa aus (Anzahl und Kennwerte). Bei den optimierten Gebäuden überwiegt die Zahl der Minderverbräucher, so dass deren Einsparung den Mehrverbrauch der Mehrverbräucher kompensiert.

Erreichte Einsparung von Heizenergie

Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmeerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen.

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 1,1 kWh/(m²a) geringeren Heizenergieverbrauch auf, während sich für die 30 auswertbaren optimierten Gebäude ein um 9,4 kWh/(m²a) geringerer Heizenergieverbrauch ergibt.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von 8 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_H = -4$ kWh/m²a) geringer als in den MFH ($\Delta q_H = -11$ kWh/m²a) und in den Gebäuden mit Kessel ($\Delta q_H = -11$ kWh/m²a) höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss ($\Delta q_H = -5$ kWh/m²a). Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_H = -19$ kWh/m²a) deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_H = -14$ kWh/m²a). In der ältesten Baualtersklasse sind praktisch keine Einsparungen nachweisbar ($\Delta q_H = -1$ kWh/m²a). Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_H = -12$ kWh/m²a) deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_H = -4$ kWh/m²a).

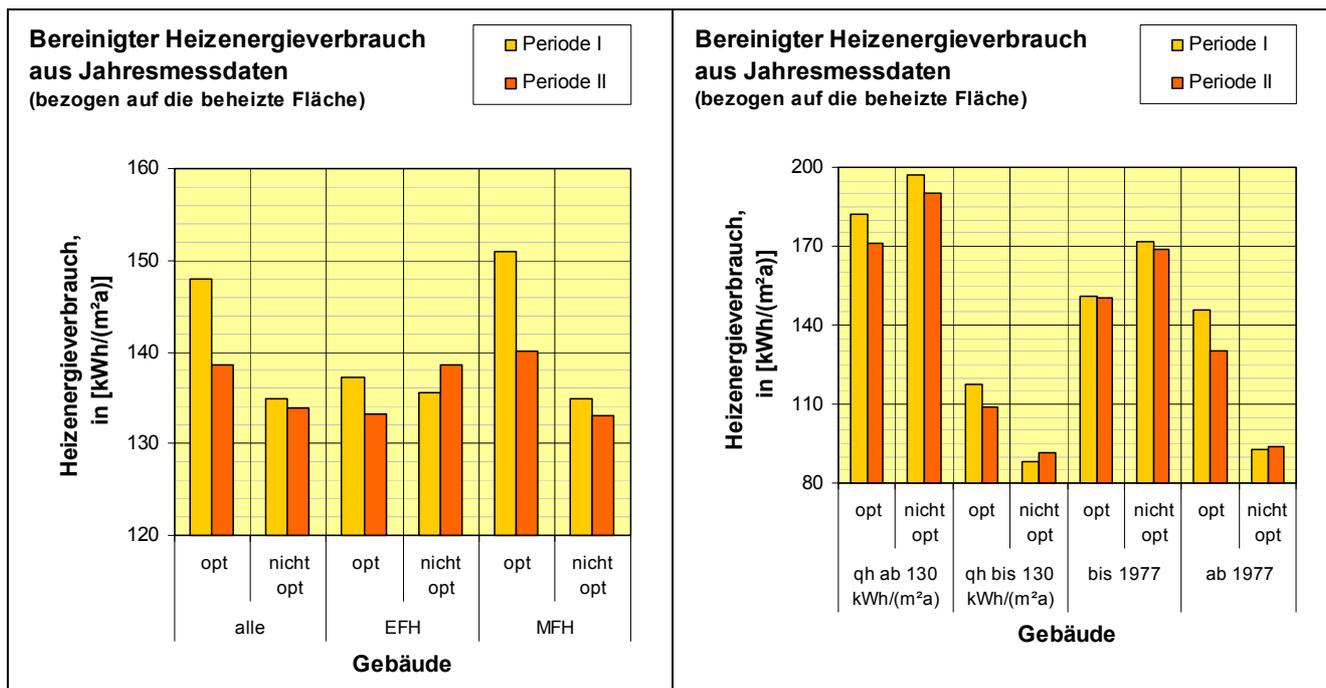


Bild 4 Einsparung Heizenergieverbrauch

Die Optimierung beeinflusst den Heizenergieverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualtersklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch). Da wegen des guten Baustandards ohnehin eine geringere Wärmeanforderung besteht, führt jedes zusätzliche (ungeregelt) auftretende Wärmepotential in diesem Gebäudetyp sehr schnell zum Mehrverbrauch. Die Optimierung beseitigt bzw. vermindert das Verschwendungspotential und führt zu größeren Einsparpotentialen.

In alten Gebäuden bzw. Gebäuden mit ohnehin hohem Verbrauch ist es umgekehrt. Wegen der baulich bedingten hohen Wärmeanforderung können Überschüsse besser genutzt werden und die mangelnde Qualität führt zu geringen Verschwendungspotentialen. Folglich ergeben sich dann auch geringere Einsparpotentiale. Im Einzelfall kann es sogar zum geringfügigen Mehrverbrauch kommen, da nun eine homogene Wärmeverteilung erreicht wird und alle Räume gleichmäßig beheizt werden (können). Erhöhte Verbrauchswerte konnten in der Vergangenheit auch bei der Umstellung von Einzelofen- auf Zentralheizung festgestellt werden: der erhöhte Komfort führte in vielen Fällen zu höheren Verbrauchswerten.

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 106.000 kWh/a Heizenergie eingespart werden. Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen.

Erreichte Einsparung von Hilfsenergie

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 38 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 0,1 kWh/(m²a) geringeren Hilfsenergieverbrauch auf, während sich für die 27 auswertbaren optimierten Gebäude ein um 0,4 kWh/(m²a) geringerer Hilfsenergieverbrauch ergibt. Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotential von durchschnittlich 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (v. a. für Pumpen) eines Gebäudes durch die Optimierung.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Hilfsenergieeinsparung von 0,3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

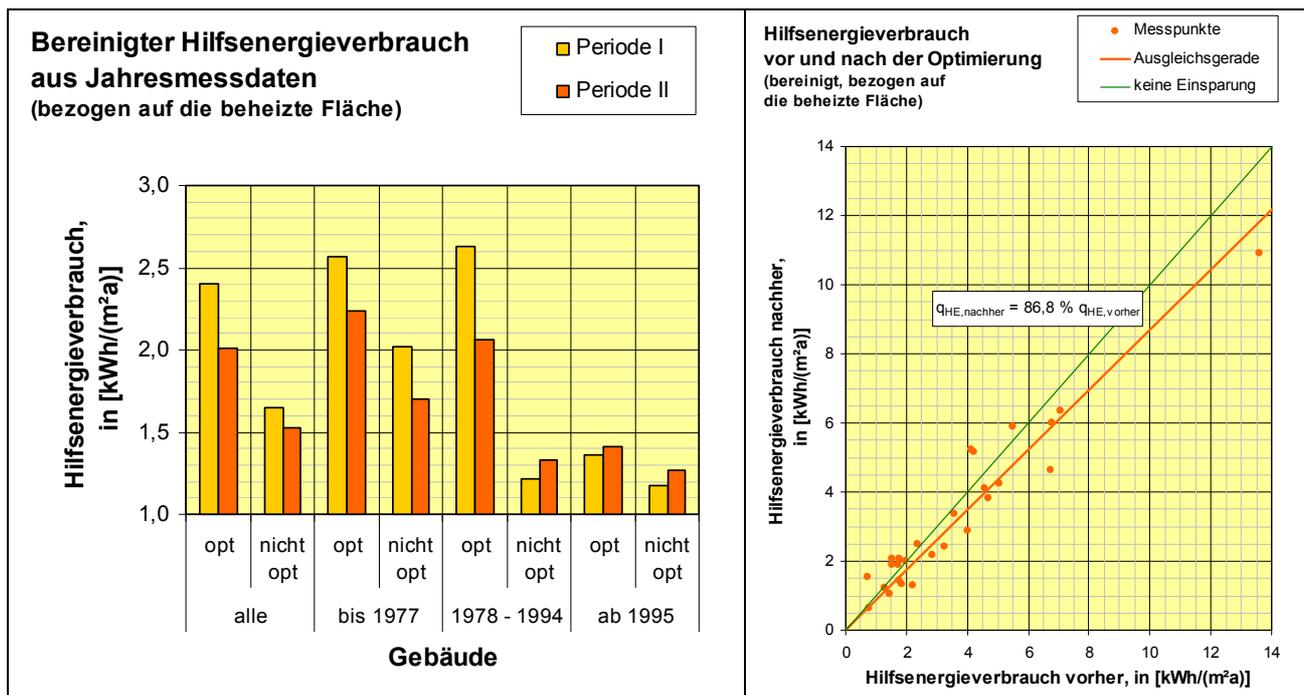


Bild 5 Einsparung Hilfsenergieverbrauch

Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_{EI} = -0,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) etwas größer als in den MFH ($\Delta q_{EI} = -0,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$). Die Einsparung ist in den Gebäuden der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_{EI} = -0,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) deutlich höher als in der ältesten und neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_h = -0,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 4000 kWh/a Hilfsenergie eingespart werden.

Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotential von durchschnittlich 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (v. a. für Pumpen) eines Gebäudes durch die Optimierung.

Einsparung von Primärenergie und CO₂-Äquivalent

Die optimierten Gebäude weisen verglichen mit den nicht optimierten Gebäuden eine Primärenergieeinsparung von 10 kWh/(m²a) bzw. eine CO₂-Einsparung von 2,1 kg/(m²a) auf. Damit können durch das OPTIMUS-Projekt insgesamt etwa 124.000 kWh/a Primärenergie oder etwa 28.300 kg/a CO₂-Äquivalent eingespart werden.

Rechnet man die Erfolge des OPTIMUS-Projekts auf den gesamten Gebäudebestand hoch, ergibt sich je nach Rechenszenario ein Primärenergieeinsparpotential von 4 ... 7 ... 9 kWh/(m²a), wenn die Anlagentechnikoptimierung sofort und ohne weitere bauliche Optimierung stattfindet. Bei einer kombinierten Bau- und Anlagentechnikoptimierung erhöhen sich die Werte auf 7 ... 10 ... 12 kWh/(m²a). Dies entspricht einem Einsparpotential im gesamten Gebäudebestand von 20.000 ... 28.000 GWh/a Primärenergie.

Das Verminderungspotential für CO₂-Emissionen aufgrund der Anlagentechnikoptimierung liegt in einem wahrscheinlichen Bereich von 0,9 kg/(m²a) im Minimum bis maximal 2,7 kg/(m²a). Dies entspricht 4 ... 7 Millionen Tonnen CO₂-Einsparung jährlich. Zum Vergleich: in der Bundesrepublik Deutschland liegt die Gesamtemission bei knapp unter 900 Millionen Tonnen CO₂ jährlich, wobei die Hälfte durch Emissionszertifikate erfasst ist. Für die Raumwärmebereitstellung werden jährlich etwa 250 Millionen Tonnen CO₂ emittiert.

Die zu erwartende Primärenergie- und CO₂-Einsparung wird deutlich größer, wenn die Heizungsanlagenoptimierung kombiniert mit einer baulichen Verbesserung bzw. in neuen Gebäuden sofort durchgeführt wird. Wenn so weiterverfahren wird wie bisher – d.h. die Gebäude werden zunehmend besser gedämmt, die Anlagentechnik aber ohne Qualitätssicherung belassen – werden in Zukunft weitaus größere Energiemengen verschenkt, da die Einsparung mit besserem Baustandard zunimmt. Dies wird durch die Erkenntnisse aus Felduntersuchungen mit Passivhäusern und konventioneller Pumpenwarmwasserheizung bestätigt: Leistungsüberdimensionierung führt zu Mehrverbrauch [35].

Sondermaßnahmen

In acht Etagenwohnungen eines MFH wurden – auf Vorschlag des Projektantragstellers Obermeister Stein – im Zuge der Optimierung die im Kessel integrierten, unregulierten Pumpen durch geregelte ersetzt. Es konnte eine Heizwärmeersparnis von 28 kWh/(m²a) bzw. 21 % sowie eine Hilfsenergieersparnis von 1,4 kWh/(m²a) bzw. 18 % (jeweils bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung) erreicht werden. Für die acht Etagenwohnungen ist die Optimierung mit Pumpentausch als großer Energiesparerfolg zu werten, auch wenn weitere vom Nutzer abhängige Einflüsse auf den Verbrauch zu vermuten sind. Das bedeutet: nur zusammen mit dem Nutzer sind hohe Einsparungen zu erwarten.

In drei Mehrfamilienhäusern wurden für die Optimierung in einem der Gebäude neuartige Thermostatventile mit integrierter Differenzdruckregelung und zum Vergleich in den anderen beiden Gebäuden konventionelle voreinstellbare Thermostatventile für den hydraulischen Abgleich verwendet. In allen drei Gebäuden wurden die vorhandenen Pumpen durch Regelpumpen ersetzt. Die witterungsbereinigte Einsparung von Heizwärme beträgt zwischen 17 und 26 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung. Die Einsparung an Heizwärme ist bei den Gebäuden mit konventionellen, voreinstellbaren Thermostatventilen höher als in dem Gebäude mit den selbstregelnden Ventilen. Dieses Ergebnis ist wegen der geringen Anzahl von Gebäuden zunächst nicht verallgemeinerbar.

Nutzerzufriedenheit und Gerätetechnik

Die Auswertung einer Stichprobe von Nutzerbefragungen nach der Optimierung zeigt, dass sich bei Nutzern der Gesamteindruck und die Zufriedenheit verbessern. Etwa ein Drittel der Befragten ist zufriedener als vorher, viele können jedoch nicht genau spezifizieren, warum dies so ist. Für 8 % der befragten Nutzer haben sich die Probleme gehäuft.

Nach der Optimierung nehmen die Probleme mit zu langen Aufheizzeiten, unterschiedlich warmen Räumen/Heizkörpern und Luft in der Anlage ab. Geräuschprobleme und eine nicht ausreichende Beheizung werden dagegen als Problem gesehen.

Ursache für Geräusche sind nach Ansicht der Autoren zu hohe Pumpenförderhöhen, die auch nach der Optimierung in vielen Anlagen vorlagen. In Gaswandgeräten (Thermen) integrierte Pumpen konnten nicht an die Anlage angepasst werden, so wurden Thermostatventile stark voreingestellt, was zu Geräuschproblemen führte. Gesprächsrunden mit Handwerkern in der Region Hannover (proKlima, April 2005) bestätigten diese Aussage.

Alternativ hätten Differenzdruckregler eingebaut werden können, die jedoch (aus Kostengründen) nicht überall nachinstalliert wurden. Zudem stellen Sie nur eine suboptimale Lösung des Problems dar, da vorhandene Druckenergie einfach gedrosselt wird, anstatt sie gleich an der Pumpe zu vermindern. Hier besteht Verbesserungsbedarf bei der zukünftigen Geräteentwicklung der Kesselhersteller. Künftig muss das Augenmerk auf Geräte mit guten „primärenergetischen Nutzungsgraden“ gerichtet werden (incl. Pumpenleistung). Das bedeutet in diesem Fall, es müssen Wandkessel mit kleinen einstellbaren Pumpen oder ohne integrierte Pumpe am Markt verfügbar sein.

Dieser Aufruf an die Gerätehersteller wurde bereits im Rahmen des DBU-Projekts „Brennwertkessel“ ausgesprochen und hier noch einmal wiederholt.

Darüber hinaus besteht bei der Optimierung noch Verbesserungsbedarf bei der Wahl der Komponenten durch den Handwerker bzw. auch bei der Sorgfalt der Umsetzung der Optimierung und in der Nutzeraufklärung.

Der Effekt des hydraulischen Abgleichs scheint in zwei verschiedenen Ausprägungen bei den Nutzern anzukommen:

- einzelne Nutzer sind sehr zufrieden mit der sich ergebenden gleichmäßigen Beheizung, so dass sie nach eigenen Angaben sparsamer heizen können.
- andere Nutzer haben das Gefühl, die Räume werden einzeln oder alle nicht mehr ausreichend beheizt.

Es ergibt sich auch im OPTIMUS-Projekt die Erkenntnis, dass Nutzer unbedingt in den Optimierungsprozess einbezogen werden müssen, damit die Auswirkungen der Optimierung verstanden werden.

Kostenfunktionen

Ziel der Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit ist, zum einen den Nachweis zu erbringen, dass die Optimierung wirtschaftlich ist und zum anderen Gebäudegruppen zu identifizieren, in denen ein schneller Kapitalrückfluss zu erwarten ist. Anhand der im Projekt durchgeführten Optimierungen wurden für Ein- und Mehrfamilienhäuser verschiedener Größe Kostenansätze für die Optimierung abgeleitet.

Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte von 1,8 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 5,5 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte von 1,3 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 4,2 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR).

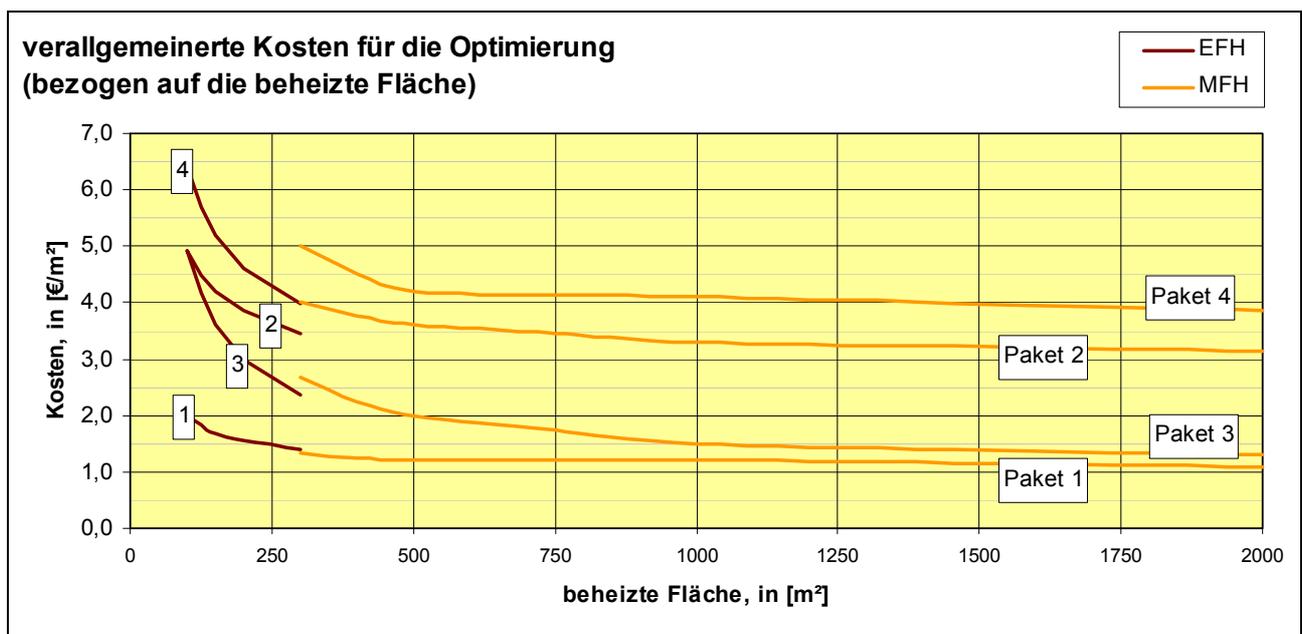


Bild 6 Durchschnittskosten für die Optimierung

Notwendige und erreichte Energieeinsparung

Aus den zu tätigen Investitionskosten lassen sich notwendige Energieeinsparungen ableiten, die mindestens erreicht werden müssen, damit die Optimierung wirtschaftlich ist.

Es wurden insgesamt knapp 42.000 € investiert. Daraus ergeben sich für alle Gebäude zusammen jährliche Kapitalkosten von insgesamt knapp 4200 €/a. Zusätzlich zu diesen bedingen die in zwei Gebäuden nachträglich installierten Schmutzfilter zusätzliche jährliche Wartungskosten von knapp 200 €/a (ebenfalls für alle Gebäude zusammen).

Diese jährlichen Zusatzkosten erfordern, dass insgesamt eine Menge von entweder knapp 58.000 kWh/a thermische Energie ODER 19.000 kWh/a elektrische Hilfsenergie gespart werden muss, damit die Investitionen wirtschaftlich sind.

Die erreichte Energieeinsparung an Wärme- und Hilfsenergie (ausgedrückt in einer äquivalenten Energiemenge mit Umrechnungsfaktor 3 für Strom und 1 für Wärmeenergien) beträgt etwa 117.200 kWh/a bei den optimierten Gebäuden.

Das Projektziel konnte somit auf jeden Fall erreicht werden: der Nachweis, dass die Optimierung wirtschaftlich zu erreichen ist.

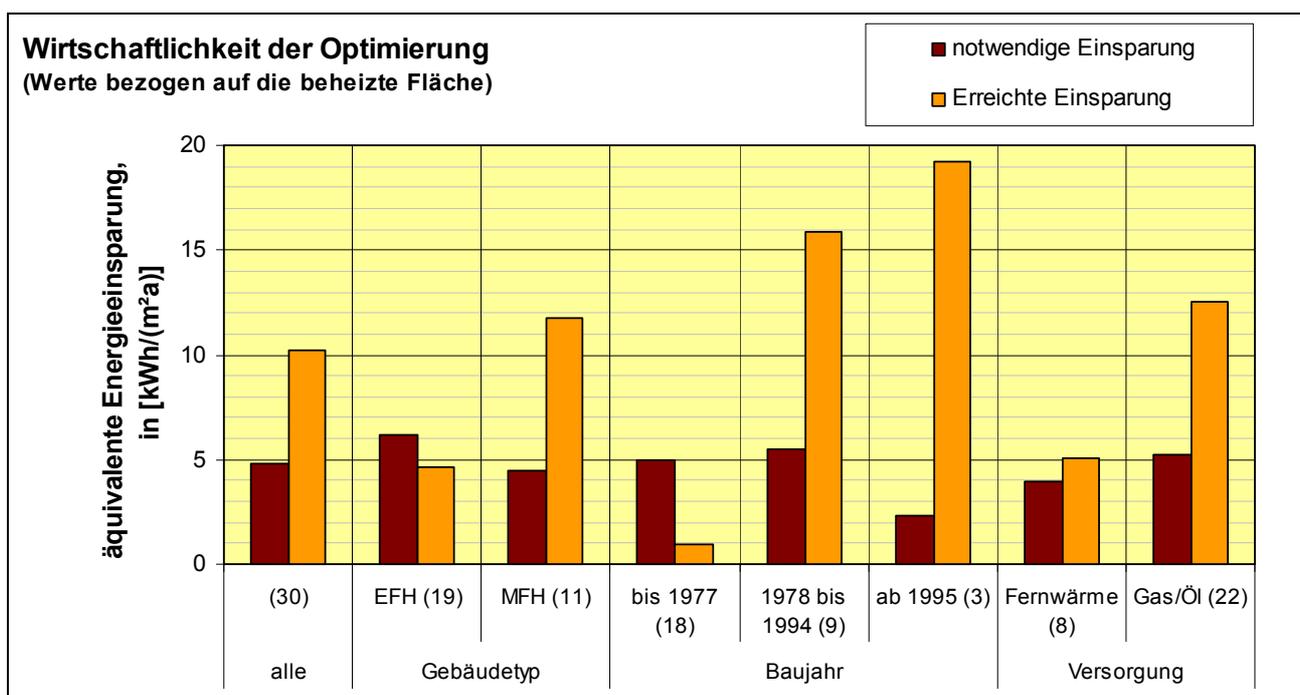


Bild 7 Wirtschaftlichkeit der Optimierung

Die Wirtschaftlichkeit wird bei Gebäuden der ältesten Baualtersklasse – weder bei EFH noch bei MFH – erreicht. Hier sind die Investitionen hoch und die Energieeinsparungen niedrig. Die Gebäude mit Baujahren nach 1978 erreichen im Mittel die Wirtschaftlichkeit. In fernwärmeverSORgten Gebäuden kann – unabhängig von der Altersklasse – eine Wirtschaftlichkeit gerade erreicht werden.

Hochrechnungen

Auf Basis der hochgerechneten erreichbaren Energieeinsparungen und dem ermittelten Investitionsbedarf für den deutschen Gebäudebestand kann abgeschätzt werden, ab welcher Energiepreissteigerung die Optimierung des gesamten Gebäudebestandes wirtschaftlich ist.

Aus dem mittleren Investitionsbedarf von 3,75 €/m² ergeben sich Kapitalkosten von 0,36 €/(m²a). Diese müssen durch Energiekostenverminderungen gedeckt werden. Ausgehend von den verschiedenen Hochrechnungen für den gesamten Gebäudebestand ergibt sich, dass die Optimierung aller Gebäude wirtschaftlich ist. Im schlechtesten Fall rechnen sich die Investitionen erst ab einer jährlichen Energiepreissteigerung von 7 %/a (15 Jahre Betrachtungszeitraum) bzw. von 6 %/a (16 Jahre Betrachtungszeitraum).

In allen anderen Szenarien ist die Wirtschaftlichkeit innerhalb eines Betrachtungszeitraums von 15 a bereits mit heutigen Energiepreisen (ohne Preissteigerung!) gegeben. Oder anders ausgedrückt: bei einer zu erwartenden Preissteigerung von mindestens 6 %/a rechnet sich die Investition innerhalb von 6 ... 10 Jahren.

Empfehlungen für Neubau und Bestand

Die in Tabelle 5 klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung, es gilt "++" als am erfolgversprechendsten. Die Bewertung durch die OPTIMUS-Partner erfolgt anhand der erreichten Energieeinsparung sowie der Wirtschaftlichkeit.

Gebäude der Baujahre ab 1978 können uneingeschränkt optimiert werden, auch nachträglich mit Investitionen in Komponenten. Aus der Gruppe der Gebäude mit Baujahren vor 1977 sollten vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, weil hier die größeren Einsparungen zu erwarten sind. In dieser Gebäudegruppe sollte die Optimierung jedoch erfolgen, wenn ohnehin Investitionen in die Anlage notwendig sind, eine Modernisierung der Gebäudehülle erfolgt ist oder wenn bereits einstellbare Komponenten vorhanden sind.

	EFH		MFH	
	mit Kessel	mit Fernwärme	mit Kessel	mit Fernwärme
Baujahr bis 1977 – nicht baulich modernisiert	0	0	0	0
Baujahr bis 1977 – größtenteils baulich modernisiert	+	+	++	+
Baujahr 1978 bis 1994	+	+	++	+
Baujahr ab 1995	++	++	++	++

Tabelle 5 Empfehlungen für Optimierung

Für die zusätzliche Planung und Ausführung einer qualitativ hochwertigen Anlagentechnik im Neubau - gegenüber einem heute üblichen „planungslosen“ Standard - werden etwa 5 ... 8 €/m² als realistisch angesehen. Dabei ergeben sich etwa 1,5 €/m² im MFH und 2,0 €/m² im EFH für die Planung und Umsetzung der reinen Optimierung (Heizlastberechnung, Rohrnetzberechnung, Heizflächen-, THKV- und Wärmeerzeugerauswahl, Einstellung von THKV, Pumpen und ggf. Differenzdruckreglern sowie zentralen Reglern und eine nachvollziehbare Dokumentation), incl. Qualifizierung des Personals. Die restlichen Kosten werden für höherwertige Komponenten und Dämmungen angesetzt.

Dies entspricht bei heutigen Baupreisen (1200 €/m²) etwa 0,7 % der Investitionssumme. Die Grenzwirtschaftlichkeit erfordert bei einer 15-jährigen Betrachtung eine mittlere jährliche Energieeinsparung von 10 ... 15 kWh/(m²a), die aus den Projektergebnissen als realistisch angesehen wird und durch frühere Untersuchungen bestätigt wird.

Die Optimierung der Heizungsanlage im Neubau und im Zuge einer ohnehin anstehenden Modernisierung sollte unbedingt durchgeführt werden, da der Aufwand der Datenerhebung nie wieder so gering ist und die erreichbaren Energieeinsparungen verhältnismäßig hoch sind.

Erkenntnisse für die Umsetzung der EU Gebäuderichtlinie

Bislang fehlen sowohl verbindliche Normen oder Richtlinien für die technische Umsetzung einer Optimierung von Bestandsheizungsanlagen als auch Bewertungsmaßstäbe für die resultierende Energieeinsparung. Auch die gesetzlichen Verordnungen zur Energieeinsparung (früher Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung, aktuell Energieeinsparverordnung) honorieren eine durchgeführte Anlagenoptimierung nicht. Auf Basis der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ist dies möglich, z.B. wie nachfolgend zusammengefasst.

Grundsätzlich wird heute – zu recht – per Verordnung belohnt, wer dicht und wärmebrückenarm baut; weil dies über die Summe aller Gebäude zu einer Energieeinsparung führt. Nach diesem Schema könnte auch eine Qualitätssicherung für die Anlagentechnik erfolgen. Eine Honorierung ist bislang weder für neue noch für bestehende Gebäude im Rahmen der EnEV vorgesehen. Hier wird derzeit vorausgesetzt, dass eine "Ausführung nach den Regeln der Technik" erfolgt. Dass dies in der Praxis nicht der Fall ist, zeigen die Untersuchungen des Zustands der im Projekt teilnehmenden Gebäude und Anlagen.

Im Rahmen der derzeitigen Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden besteht die Chance, die Qualitätssicherung von Anlagentechnik nach dem gleichen "Bonusprinzip" zu honorieren. Da mit der Umsetzung der Richtlinie ab 2006 erstmals auch eine gesamtenergetische Bewertung von Bestandsgebäuden vorgesehen ist, lassen sich die Projekterkenntnisse für neue und bestehende Gebäude berücksichtigen.

Folgende Boni für die Qualitätssicherung (Jahresheizwärmebedarf und Hilfsenergiebedarf, beide bezogen auf die beheizte Fläche) werden nach Erkenntnissen aus dem OPTIMUS-Projekt zunächst für Wohngebäude vorgeschlagen:

- **Wohngebäude mit Baujahren vor 1978 ohne weitere bauliche Maßnahmen: Bonus für Heizwärmebedarf $\Delta q_h = 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ – es ist davon auszugehen, dass im Mittel keine Heizwärmeeinsparung durch die Optimierung erreicht werden kann.**
- **Wohngebäude mit Baujahren nach 1978 sowie baulich auf diesen Standard modernisierte Gebäude: Bonus für Heizwärmebedarf $\Delta q_h = -10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.**
- **Alle Wohngebäude: Bonus für Hilfsenergiebedarf $\Delta q_{EI} = -0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.**

Damit liegt ein Bonus für die Qualitätssicherung der Anlagentechnik in einer vergleichbaren Größenordnung wie der Bonus für einen erfolgreich bestandenen Gebäudedichtheitstest. Die Ergebnisse des Projekts wurden bereits bzw. werden zu Projektende in den entsprechenden Kreisen des Ordnungsgebers (Bau-, Wirtschafts- und Umweltministerium) kommuniziert. Sollten die OPTIMUS-Ergebnisse so oder in anderer geeigneter Weise in die Verordnung einfließen, ergibt sich ein hohes Einsparpotential und ein Arbeitsplätze förderndes Potenzial für das umsetzende Handwerk bzw. die Branche der Planer.

Auswirkungen der Ergebnisse auf Verordnung, Normung und Richtlinienarbeit

Die gewonnenen Erkenntnisse des Projekts können auf mehrere Arten in Verordnung, die Normung (DIN) bzw. in die Richtlinienarbeit (VDI u.a.) eingehen:

1. Der im Projekt gemessene Einspareffekt einer Optimierung kann als Qualitätssicherungsbonus in die theoretische Energiebilanzierung (DIN 4701-10, DIN 4701-12, PAS 1027, DIN 18599) bzw. in eine Novellierung der Energieeinsparverordnung 2006 Eingang finden.
2. Die im Projekt nachgewiesene Abweichung von theoretischen und gemessenen Energiekennwerten kann verwendet werden, um die Randbedingungen der theoretischen Rechenverfahren (Energiebilanzierung, Heizlastberechnung) zu verbessern, damit Bedarf und Verbrauch künftig besser übereinstimmen.
3. Die Verfahren zur technischen Umsetzung der Optimierung in für Planung und Ausführung können als verbindliche Regeln der Technik umgesetzt werden.

Enthält ein theoretisches Energiebilanzverfahren einen Qualitätssicherungsbonus für die Umsetzung der Optimierung, ist damit ein Anreiz zur Umsetzung gegeben. Dies gilt sowohl für den öffentlich-rechtlichen Nachweis (im Rahmen der künftigen Umsetzung der EnEV 2006 und der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie) als auch für die privatrechtliche Energieberatung. Vor allem wenn sich Maßnahmen hinsichtlich Energieeinsparung und Kosten oder Wirtschaftlichkeit bewerten lassen, stellen sie für den Endkunden einen Anreiz dar.

Eine Einspeisung der Erkenntnisse – in Form dieses Endberichts – in die entsprechenden Normungskreise zur Gebäuderichtlinie (DIN V 18599) sowie in die VDI-Richtlinien zu diesem Thema (VDI 2067, VDI 3808) ist vorgesehen.

Die Festschreibung der im Projekt erfolgreich getesteten notwendigen Arbeitsschritte einer Heizungsanlagenoptimierung im Bestand (Eingangsdaten, Berechnungsablauf, Umsetzung) in einer technischen Regel wäre aus Sicht der Projektgruppe sinnvoll. Bislang fehlen verbindliche Handlungsanweisungen. Dies würde dem Anwender eine Rechtssicherheit über die Vorgehensweise bieten, ihn aber im Gegenzug auch verpflichten, die Regel einzuhalten.

Während der Projektlaufzeit wurden die Fachveröffentlichungen [25], die Basis der Rechenprogramme zur Optimierung sind, beispielsweise an den VDMA übersendet. Es sollte geprüft werden, inwieweit die Ergebnisse in das VDMA-Blatt 24199 "Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und Raumlufttechnischen Anlagen" übernommen werden können. Bis zum Projektende ist darüber noch keine Entscheidung gefallen; hier werden künftig weitere Aktivitäten notwendig sein.

Abweichungen zwischen Theorie und Praxis

Neben dem Nachweis der Energieeinsparung durch die Optimierung wurden die Verbrauchsauswertungen der untersuchten Gebäude verwendet, um einen Abgleich zwischen theoretischen und gemessenen Energiekennwerten durchzuführen. Untersucht wurden beispielsweise Heizgrenztemperaturen, Auslegungheizlasten sowie Heiz- und Endenergiekennwerte. Nachfolgend sind wichtige Ergebnisse zusammengefasst.

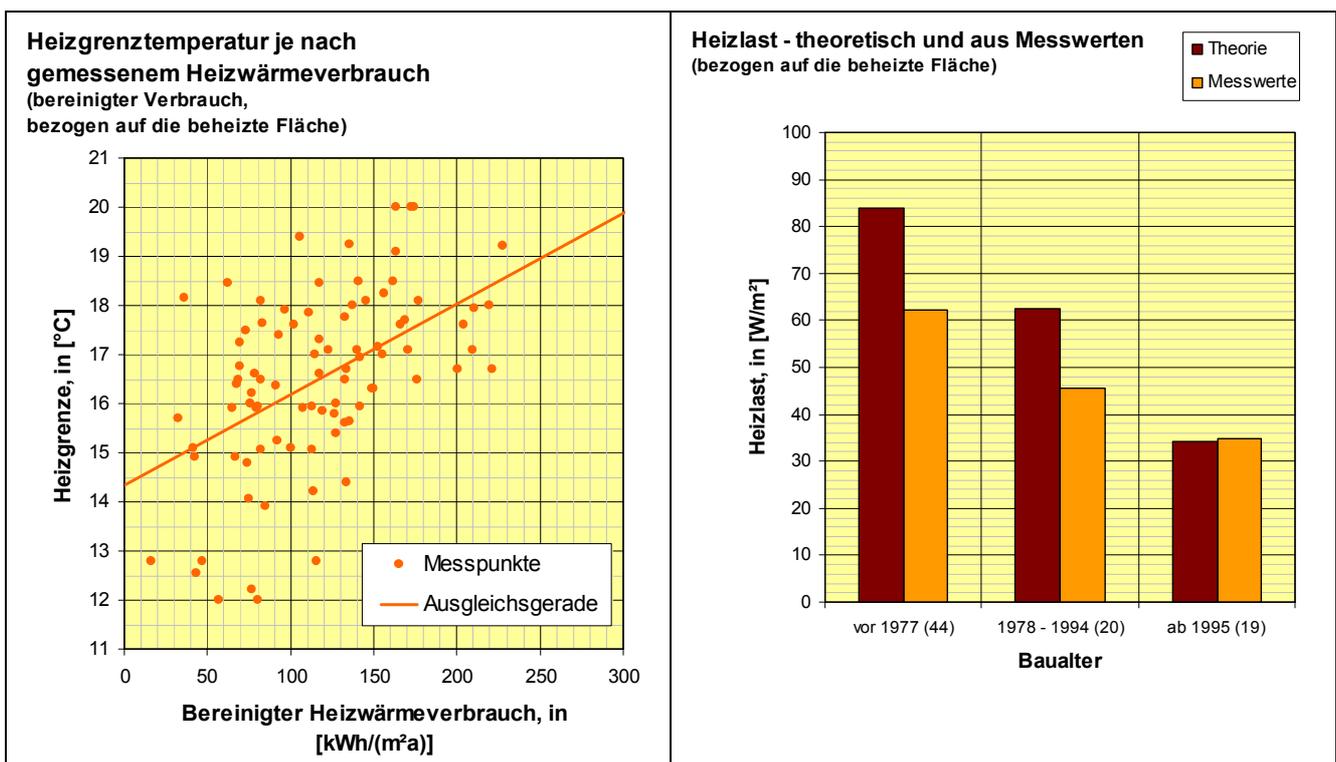


Bild 8 Heizgrenztemperatur und Heizlast

In theoretischen Energiebilanzen wird – je nach Baualter und Baustandard – mit Heizgrenztemperaturen (Beginn und Ende der Heizzeit) zwischen 10 °C im Neubau und 15 °C im Bestand gerechnet. In der Praxis stellen sich weit höhere Werte zwischen 15 und 18 °C ein – fast unabhängig vom Baualter und Baustandard. Die sich ergebenden Heizzeiten (Tage mit Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur) sind in der Praxis also bedeutend länger als in der Theorie. Dies macht sich bei der Energiebilanz deutlich bemerkbar – die theoretischen Energiebedarfswerte sind tendenziell geringer als die praktischen Verbrauchswerte.

Die theoretisch berechnete Heizlast liegt bei den OPTIMUS-Gebäuden 30 % über den aus Messwerten abgeleiteten Auslegungsheizlasten, wobei die Werte für die ältesten Gebäude am stärksten vom Messwert abweichen und bei den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse fast übereinstimmen. Das bedeutet, dass alle Komponenten (Heizkörper, Wärmeerzeuger), die nach diesen Rechenverfahren bemessen werden, in der Praxis überdimensioniert sind.

Der bereinigte gemessene Heizenergieverbrauch liegt bei den OPTIMUS-Gebäuden mit Baujahren bis 1977 im Mittel 35 % unter dem berechneten Bedarfswerten. Bei den neuen Gebäuden (Baujahre ab 1995) liegt umgekehrt der Verbrauch 10 % über dem Bedarf. Dies zeigt, dass der Bestand hinsichtlich des Energieverbrauchs überschätzt wird (es wird weniger verbraucht als berechnet) und der Neubau bzw. der Zustand nach der Modernisierung jedoch unterschätzt (es wird mehr verbraucht als berechnet). Dies hat Konsequenzen für Einsparprognosen bei einer Modernisierung, die allein auf Basis von Theoriedaten erfolgt: die Einsparung wird zu groß prognostiziert. Hier ist zu wünschen, dass die theoretischen Berechnungsprogramme bzw. die ihnen zugrundeliegenden Bilanzverfahren entsprechend angepasst werden, damit einem Bauherrn z.B. bei einer Energieberatung, nicht zu viel versprochen wird.

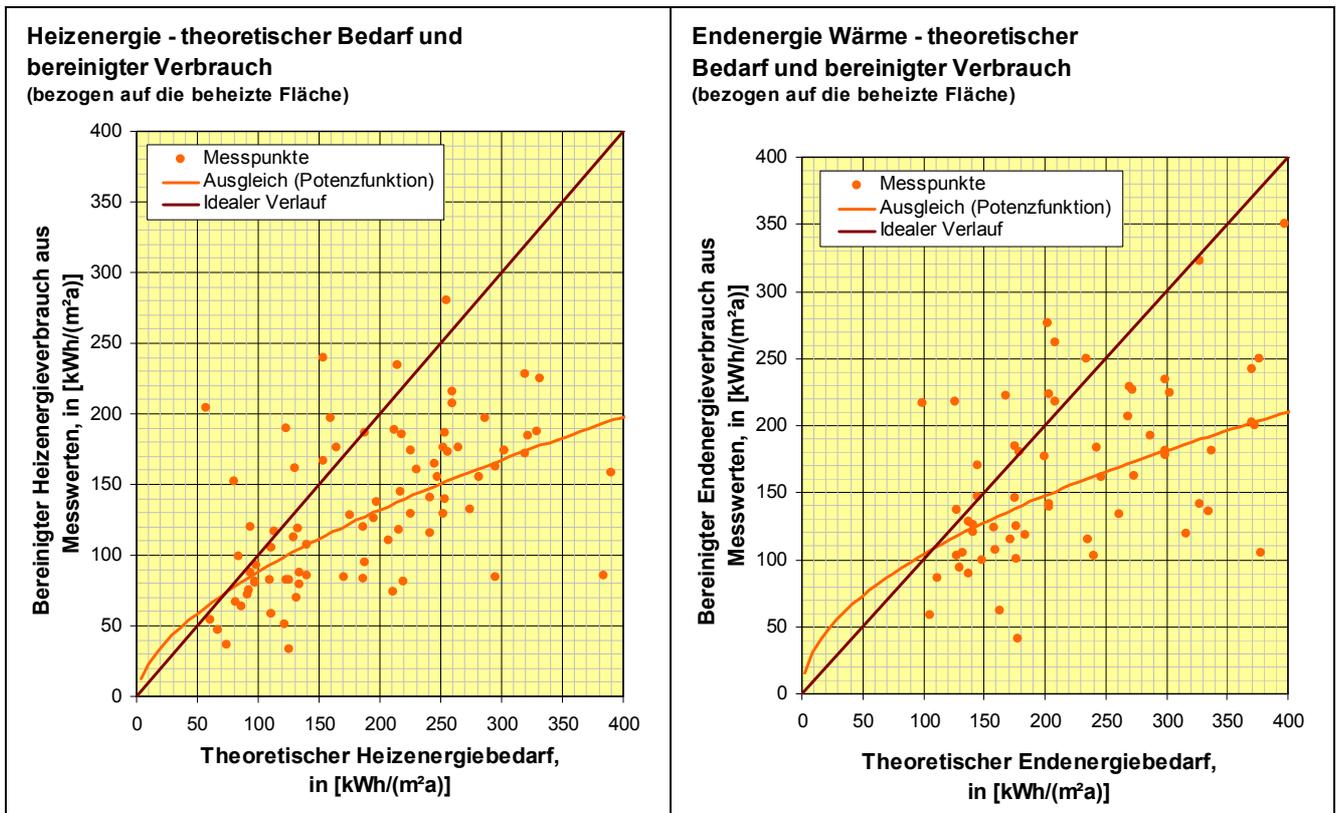


Bild 9 Heizenergie und Endenergie

Ausblick

Das OPTIMUS-Projekt und seine technischen Ergebnisse lassen folgenden kurz-, mittel- und langfristigen Ausblick auf die Optimierung der Heizungsanlagentechnik zu: Langfristig ist davon auszugehen, dass aufgrund der weltweiten Energiesituation die Verbreitung von Passivhäusern und ausschließlich regenerativ versorgter Gebäude (auch in der Modernisierung) zwingend notwendig wird.

Diese Gebäude können nach zwei Grundsatzprinzipien gestaltet sein. Es werden Baukörper derart gedämmt, luftdicht ausgeführt und mit mechanischer Lüftung ausgestattet, dass prinzipiell auf die Pumpenwarmwasserheizung verzichtet werden kann (Passivhausprinzip). Alternative: regenerative Energiequellen sind praktisch ohne Ressourcenverbrauch nutzbar, wobei die konventionelle Heiztechnologie in ihrem Grundprinzip bestehen bleibt (Sonnenenergienutzung, nachwachsende Energieträger, Geothermie). Auch im zweiten Fall wird jedoch die Güte des Baukörpers bedeutend besser sein müssen als in heutigen Bestandsbauten. Eine Reduzierung des Endenergieverbrauchs um mindestens den Faktor 4 wird von verschiedenen Seiten als notwendig erachtet.

Setzt sich das Passivhausprinzip langfristig durch, wird die im Rahmen des Projekts vorgestellte Möglichkeit der Anlagenoptimierung von Warmwasserheizungen durch die Passivhausidee ersetzt. Für die Lüftung und Luftheizung gelten aber prinzipiell dieselben Qualitätsforderungen hinsichtlich Anpassung der Leistung an den Bedarf, hydraulischer Abgleich usw.

Wird es langfristig neben Passivhäusern auch weiterhin Gebäude mit konventioneller Pumpenwarmwasserheizung, jedoch mit regenerativen Wärmeerzeugern (Solar, Biomasse) geben – wovon aus heutiger Sicht mit großem zukünftigen Anteil auszugehen ist – werden die Erkenntnisse des Projekts in Zukunft noch wichtiger. Mit zunehmendem Dämmstandard der Gebäude reagiert das Gesamtsystem zunehmend sensibler auf die Güte und Qualität der Technik. In diesem Fall ist die Optimierung vor allem aus Gründen der Benutzungsqualität aber auch der Ressourcenschonung unverzichtbar.

Kurz- und mittelfristig wird es jedoch in jedem Fall Gebäude geben, die mit einer konventionellen Heizungsanlage (Pumpenwarmwasserheizung mit Heizkörpern, Pumpe und Erzeuger) und konventionellen Energieträgern betrieben werden. Bis also eine der langfristigen Entwicklungen abgeschlossen ist, bietet die OPTIMUS-Heizungsanlagenoptimierung auf jeden Fall die Chance, Energieressourcen zu schonen und Impulse für das Handwerk zu setzen.

Sie wird von der OPTIMUS-Projektgruppe daher unbedingt empfohlen.

3 Grundlagen

Der folgende Abschnitt stellt wichtige Hintergrundinformationen für die technischen Aspekte des OPTIMUS-Projekts zusammen. Das Grundlagenkapitel umfasst neben den technischen Grundlagen (Funktionsweise und Zusammenspiel der Komponenten einer Heizungsanlage) auch die Themen Energiebilanz, Energiedatenbereinigung und Wirtschaftlichkeitsberechnung.

3.1 Technische Grundlagen

3.1.1 Betroffene Technikkomponenten und Funktionsweise

Von der Optimierung sind verschiedene Merkmale und Komponenten einer Heizungsanlage betroffen. Deren wesentliche Eigenschaften und Funktionsweisen werden in diesem Abschnitt zusammenfassend vorgestellt.

Materielle und immaterielle Merkmale

Alle Merkmale einer Heizungsanlage können in materielle und immaterielle Merkmale unterschieden werden. Zu den *materiellen Merkmalen* zählen die Technikkomponenten als Bauteile. Für die Änderung dieser Merkmale einer Anlagentechnik sind i.d.R. Investitionen zu tätigen. Die *immateriellen Merkmale* umfassen dagegen die Planung, Auslegung und Einregulierung einer Technikkomponente (z.B. Kessel und Brenner), die Einstellung der vorhandenen Regelung und Hydraulik etc. gemäß Planberechnungen. Abgesehen von der Arbeitskraft für die Planung und Umsetzung sind diese Merkmale weitgehend nicht investiv beeinflussbar.

Die heutige Planung befasst sich primär mit der Wahl der Technik und ihrer Komponenten, leider immer weniger mit der richtigen Dimensionierung. Die für die Umsetzung der immateriellen Merkmale verantwortliche Ausführung scheidet häufig an fehlenden Planvorgaben. Im Neubau umfasst die Qualitätssicherung beide Arten von Merkmalen. Eine nachträgliche Optimierung im Bestand kann dagegen häufig nur die immateriellen (nicht oder gering investiven) Merkmale verbessern.

Heizkörper

Wichtige Eigenschaften von Heizkörpern als Wärmeübergabeeinrichtungen sind im Rahmen der Optimierung und der damit zusammenhängenden Betrachtungen:

- die Normleistung (nach DIN EN 442 bei 75/65/20 °C)
- die Auslegungsleistung (im konkreten Einzelraum, bei Auslegungsaußentemperatur)
- die Rücklauftemperatur bei einer optimiert ausgelegten Vorlauftemperatur
- der Heizkörpermassenstrom.

Im Bestand liegen die Heizkörperflächen fest. Normheizkörperleistungen werden mit einer Anlagenaufnahme ermittelt, die notwendige Auslegungsleistung ergibt sich nach einer auch im Bestand meist neu zu erstellenden, mindestens überschlägigen Heizlastberechnung des betreffenden Raumes.

Unabhängig davon, ob ursprünglich eine Heizlastberechnung und Heizkörperbemessung vorgelegen hat, muss von einer uneinheitlichen Heizkörperdimensionierung ausgegangen werden. Dies bedeutet, dass von unterschiedlichen Verhältnissen der Heizkörpernormleistung zur Raumheizlast bzw. von uneinheitlichen Rücklauftemperaturen an den Heizkörpern auszugehen ist. Ein Grund dafür ist die nachträgliche bauliche Modernisierung, bei der sich die Transmissionswärmeverluste räumlich unterschiedlich vermindern, in den meisten Fällen jedoch die in der Praxis seit ca. 1980 im Ein- und Mehrfamilienhauswohnbau häufig nicht durchgeführte, exakte Planung und Auslegung.

Die Leistungsregelung von Heizflächen erfolgt durch Anpassung der Vorlauftemperatur und des Massenstroms. Zur Bestimmung der momentanen Wärmeleistung der Heizflächen, der Massenströme und Rücklauftemperaturen werden die zugehörigen Heizkörpergleichungen verwendet. Die Heizkörpergleichungen können graphisch als Heizkörperdiagramm (Bild 10) dargestellt werden. Aus diesem Diagramm lassen sich weitere Aussagen ableiten, z.B. der Effekt, den eine Überversorgung von Heizkörpern mit Heizwasser haben kann.

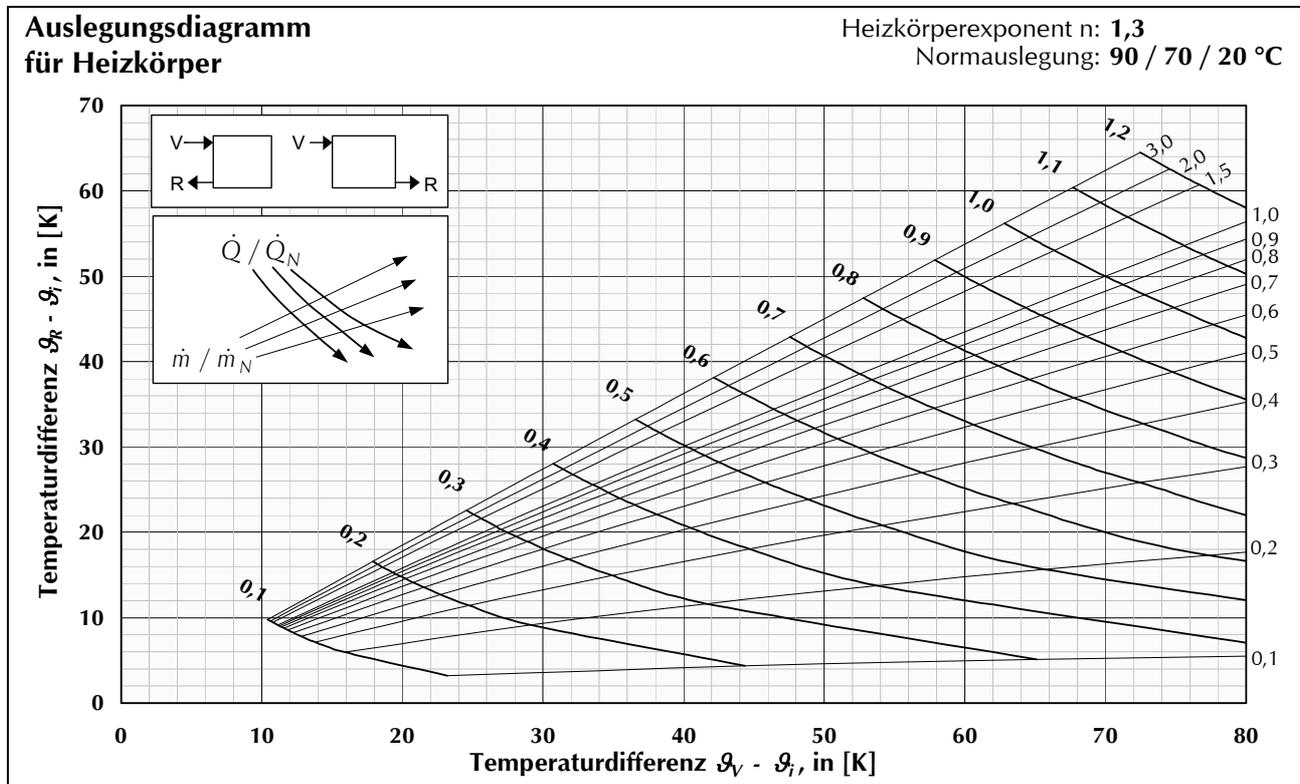


Bild 10 Heizkörperdiagramm

Ein weiterer Kennwert ist der Wärmeübertragerkennwert a , der ein Maß für die Regelgüte der Heizflächen in der Einzelraumtemperaturregelstrecke ist. Er wird mit Hilfe der Auslegungswerte der Vorlauftemperatur ϑ_V , der Rücklauftemperatur ϑ_R und der Raumlufttemperatur ϑ_i gebildet – siehe Gleichung (1).

$$a = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\vartheta_V - \vartheta_i} \quad (1)$$

Thermostatventile

Die dezentrale Regelung erfolgt im Wohnungsbau üblicherweise mit Thermostatventilen (thermostatische Heizkörperventile THKV). Dies sind P-Regler ohne Hilfsenergie mit bleibender Regelabweichung. Die Aufgabe der dezentralen Regelung ist es, den Fremdwärmeanfall zu kompensieren und abweichende Temperatursollwerte zu realisieren. In begrenztem Umfang ist eine Kompensation von Mehr- oder Minderbedarf des Raumes gegenüber der vorgesehenen Heizleistung möglich. Es ist planmäßig nicht die Aufgabe eines THKV, Störgrößen wie eine zu hohe Vorlauftemperatur oder einen schwankenden Differenzdruck auszuregulieren; in der Praxis ist dies jedoch leider häufig die Hauptaufgabe der Thermostatventile.

Wichtige Eigenschaften von Thermostatventilen im Rahmen der Optimierung und der damit zusammenhängenden Betrachtungen sind:

- der Durchflusswert k_v (Herstellerangabe, je nach Voreinstellung mehrere Werte)
- der Proportional-Bereich des Ventils im Betrieb (P-Bereich)
- die Ventilautorität im Zusammenspiel mit dem restlichen Netz

Die das Betriebsverhalten eines THKV bestimmende Ventilautorität a_v ist nach Gleichung (2) definiert. Sie gibt an, welcher Anteil der zentral oder strangweise vorhandenen Druckdifferenz über das Thermostatventil ($\Delta p_{V,100}$) und welcher Anteil über das restliche Netz ($\Delta p_{Netz,100}$) abgebaut wird. Der Kehrwert gibt entsprechend darüber Auskunft, um welchen Faktor der Differenzdruck am THKV im Auslegungsfall ($\Delta p_{V,100}$) beim Schließen maximal ansteigen kann. Die Ventilautorität wird per Definition für den Vollastfall angegeben.

$$a_v = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{V,100} + \Delta p_{Netz,100}} = \frac{\Delta p_{V,100}}{\Delta p_{gesamt,100}} \quad (2)$$

Der Auslegungsregelbereich (P-Bereich) eines THKV charakterisiert die notwendige Raumtemperaturabweichung, damit der projektierte Auslegungsmassenstrom auf Null reduziert wird.

Einzelraumregelkreis

Aus dem Zusammenspiel der Heizfläche, des Thermostatventils und des umgebenden Raums ergibt sich das Regelverhalten des Einzelraumregelkreises. Dieses wird durch die Optimierung der Heizungsanlage – möglichst positiv – beeinflusst. In Tabelle 6 wird das Verhalten des realen Raumtemperaturregelkreises einer typischen (nicht optimierten Heizungsanlage) nachgezeichnet.

Merkmal	Effekt
Heizflächenbemessung	Wegen der großen Heizflächen (z.B. nach einer Modernisierung des Baukörpers) bezogen auf die Raumheizlast ergeben sich geringe notwendige Übertemperaturen.
Vorlauftemperaturregelung	Heizkurven witterungsgeführter Vorlauftemperaturregelungen sind zu hoch eingestellt, was zusammen mit den geringen Übertemperaturen zu einer sehr großen Auskühlung des Heizwassers führt, wenn keine Wärme verschwendet wird.
Netzvolumenstrom	Wegen der großen Heizwasserauskühlung ergeben sich extrem kleine Volumenströme im Netz.
Netzdruckverluste	Wegen der kleinen Volumenströme treten – in den großzügig dimensionierten Bestandsanlagen – nur sehr geringe Druckverluste auf.
Pumpendruckerhöhung	Pumpen sind vielfach überdimensioniert und werden – unabhängig von der Anlagengröße – an der Geräuschgrenze betrieben.
Druckverluste THKV	THKV sind selten voreingestellt oder passend gewählt. Wegen der hohen Vordrücke und Temperaturen ergibt sich eine extreme Drosselung über dem Regelkegel, d.h. bereits im Auslegungsfall sind die THKV praktisch geschlossen.
Ventilautorität	Theoretisch ergeben sich Ventilautoritäten a_v nahe 1,0. Nahezu der gesamte Druck wird über dem Regelkegel abgebaut.
Wärmeübertragerkennwert	Durch die hohen Vorlauftemperaturen und Spreizungen im System ergeben sich theoretisch sehr hohe Wärmeübertragerkennlinien a an den Heizflächen.
Regelstreckenkenlinie des Einzelraumregelkreises	Durch die sehr hohen Ventilautoritäten und Wärmeübertragerkennlinien ergeben sich theoretisch fast lineare Regelstreckenkenlinien. Das bedeutet, dass Hubänderungen am Ventil sich nahezu proportional in Raumtemperaturänderungen widerspiegeln (positiv).
P-Bereich	Wegen der extremen Ventilüberdimensionierung arbeiten die Ventile aber nur im unteren Arbeitsbereich. Es ergeben sich sehr kleine Regelbereiche für den Regler (negativ).
Regelabweichung und Regelverhalten	Trotz der sehr linearen Regelstreckenkenlinie ergibt sich wegen des extrem kleinen Arbeitsbereiches des Thermostatventile nahe dem Schließpunkt ein Auf-Zu-Verhalten (Zweipunktverhalten mit typischer Regeldifferenz von ca. 1 ... 3 K bezogen auf die Raumtemperatur) im realen Betrieb. Der Nutzer versucht vergeblich, die dadurch hervorgerufenen schwankenden Raumtemperaturen durch Sollwertveränderung und/oder Fensterlüftung einigermaßen konstant zu halten.

Tabelle 6 Verhalten des Raumtemperaturregelkreises

Durch die Überversorgung der Heizkörper ist deren Regelfähigkeit stark eingeschränkt. Da die THKV schon im Auslegungszustand fast geschlossen sind, können sie auf den Anfall von Fremdwärme kaum reagieren. Nutzer können mit taktenden THKV nicht umgehen, denn der Sollwert ist

nicht "findbar". Die Betriebsphasen sind so stark schwankend, dass sich keine Beharrung einstellen kann. Der Zusammenhang zwischen Reglereinstellung und Sollwert ist für den Nutzer nicht erkennbar. Thermostatventile werden als "Auf-Zu-Ventile" bedient. Das Takten provoziert einen Mehrverbrauch, wenn die Nutzer als Gegenmaßnahme den Sollwert erhöhen um auf jeden Fall eine Behaglichkeit zu erreichen.

Netzhydraulik

Die Optimierung beeinflusst die Netzhydraulik, insbesondere dadurch, dass ein hydraulischer Abgleich durchgeführt wird. Dieser bewirkt, dass im Auslegungsfall jeder Verbraucher mit dem vorher berechneten Volumenstrom versorgt wird und sich die geplante Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur einstellt.

Der hydraulische Abgleich von Verbrauchern, die hydraulisch untereinander gekoppelt sind, erfolgt durch das Einbringen zusätzlicher dezentraler Widerstände im Netz. Dies können die Widerstände einer Voreinstellung oder einer Rücklaufverschraubung sein. Um einzelne Anlagenteile voneinander zu entkoppeln werden zentral oder bei größeren Anlagen an Strängen dezentral Differenzdruckregler angeordnet.

Der Einsatz zentral angeordneter Überströmventile, z.B. auch für Brennwertthermen zur Aufrechterhaltung eines Mindestvolumenstroms, ist ebenfalls möglich, aber vor allem im Teillastbetrieb ungünstig, weil der Volumenstrom durch Pumpe und Erzeuger künstlich hoch gehalten wird und dadurch die Rücklauftemperaturen für den Kessel steigen; die Brennwertnutzung verschlechtert sich.

Der hydraulische Abgleich funktioniert im Bestand wie bei einem Neubau. Die Ungewissheit des Abgleichs liegt in der Frage, welche Volumenströme im Netz fließen müssen und welche Druckverluste sich daher im vorhandenen, aber in den seltensten Fällen dokumentierten Rohrnetz einstellen.

Die Anpassung bestehender Anlagen nach einer Sanierung erfolgt folgendermaßen: die Raumheizlasten sind zu bestimmen und die vorhandenen Heizkörper aufzunehmen und zu dokumentieren. Mit Hilfe der nach verschiedenen Kriterien sinnvoll festgelegten Vorlauftemperatur sind Rücklauftemperaturen und Massenströme für jeden Heizkörper zu bestimmen. Das Netz muss soweit aufgenommen werden, dass mit den neuen Volumenströmen (überschlägig) die Druckverluste berechnet werden können. Thermostatventile (bzw. deren Voreinstellungen) sind zu bemessen und die Pumpe (bzw. deren Förderhöhe) zu bestimmen.

Umwälzpumpe

Wichtige Eigenschaften von Umwälzpumpen im Rahmen der Optimierung und der damit zusammenhängenden Betrachtungen sind:

- Volumenstrom und Druckerhöhung (nach Anlagenberechnung)
- die notwendige Pumpenleistung
- die Art der Regelung (ungeregelt, mit konstanter oder variabler Förderhöhe)

Im Rahmen der Optimierung wird, sofern möglich, die Förderhöhe der Pumpe an die Anforderungen des Netzes und der Verbraucher angepasst.

Kann die Druckerhöhung der Pumpe nicht oder nur stufig geändert werden, wie bei vielen in Wärmeerzeugern integrierten Pumpen, muss dies bei der Rohrnetzplanung bzw. beim hydraulischen Abgleich berücksichtigt werden. Ein zu hoher Pumpendruck verschlechtert die Regelbarkeit der Raumtemperatur und kann zur Geräuschbildung an den Thermostatventilen führen. Das Netz, evtl. zusätzliche Drossel- und/oder Druckdifferenzregeleinrichtungen und die Thermostatventile müssen bemessen werden. Differenzdrücke höher als 200 mbar an den THKV sind zu vermeiden.



Bild 11 Ungeregelte und geregelte Pumpen

Bei der Optimierung ist das Betriebsverhalten von Pumpen während der Absenckphasen der Heizung ebenfalls zu beachten. Laufen Pumpen während der Absenckzeiten auf der höchsten Stufe, können geplante Energieeinsparungen ggf. nicht erreicht werden. Die verminderte Vorlauftemperatur wird wegen der öffnenden THKV teilweise durch erhöhte Volumenströme kompensiert. Hier ist durch die Optimierung entgegenzuwirken.

Es wird grundsätzlich in "interne Pumpen" und "externe Pumpen" unterschieden (Bild 12). Interne Pumpen sind in den Wärmeerzeuger integriert. Sie werden häufig in konventionellen Wandkesseln bis 40 kW Wärmeleistung eingesetzt (Einfamilienhaus, Zweifamilienhaus), aber auch in Kompaktstationen für Fernwärme. Oftmals sind interne Pumpen nicht an die Anforderungen der Anlage anpassbar und arbeiten mit viel zu hohen Förderhöhen und Leistungen. Zu große Pumpen können zu Geräuschen in der Anlage führen und haben einen unnötig hohen Verbrauch von elektrischer Energie zur Folge.

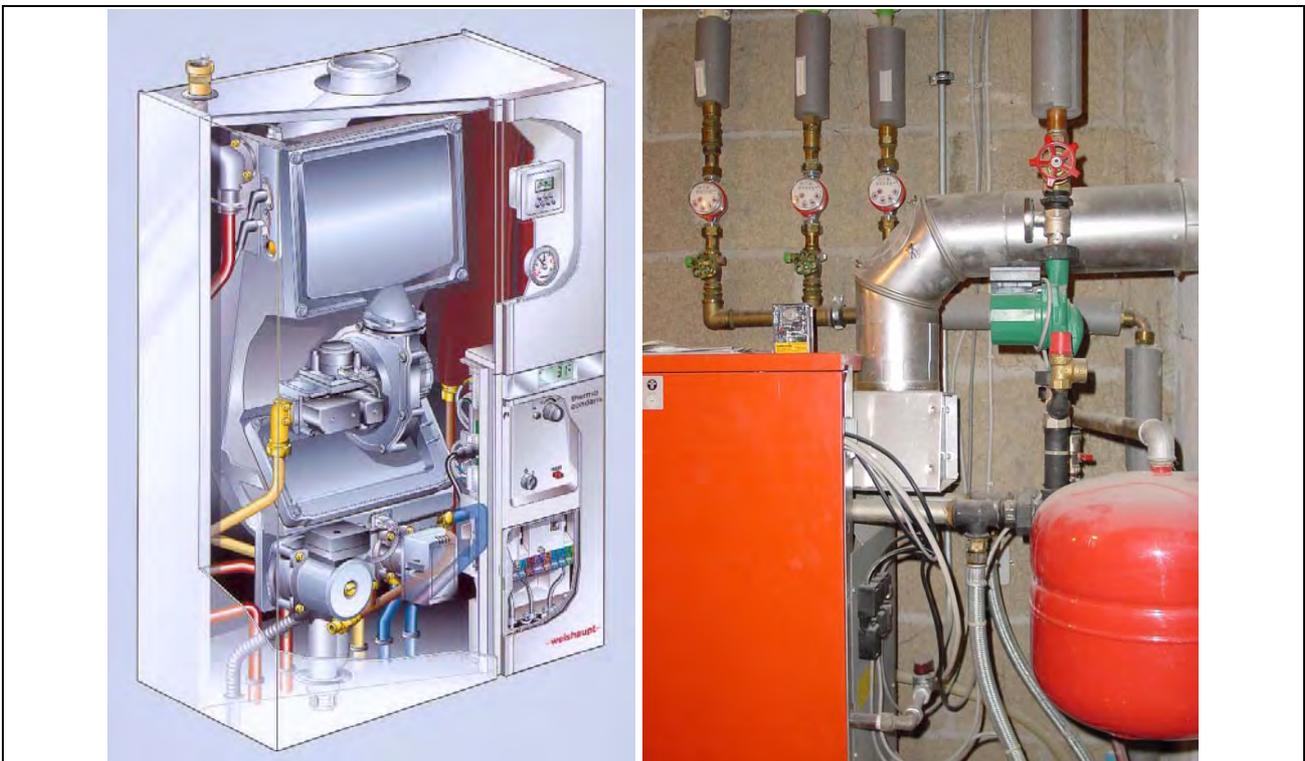


Bild 12 Interne Pumpe und externe Pumpe

Zentrale Regelung

Aufgabe der zentralen Vorlauftemperaturregelung ist, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die dezentrale Regelung eine hohe Regelgenauigkeit erreichen kann. Im Rahmen der Optimierung werden folgende Eigenschaften der zentralen Regelung ggf. angepasst:

- Steilheit der Heizkurve (Faktor, der zwischen der Vorlaufübertemperatur bezogen auf die Raumtemperatur und der Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und minimaler Außentemperatur steht)
- Parallelverschiebung der Heizkurve (ganzjährig mögliche Raumtemperaturanhebung)
- Heizgrenztemperatur zur Anlagenein/-ausschaltung.

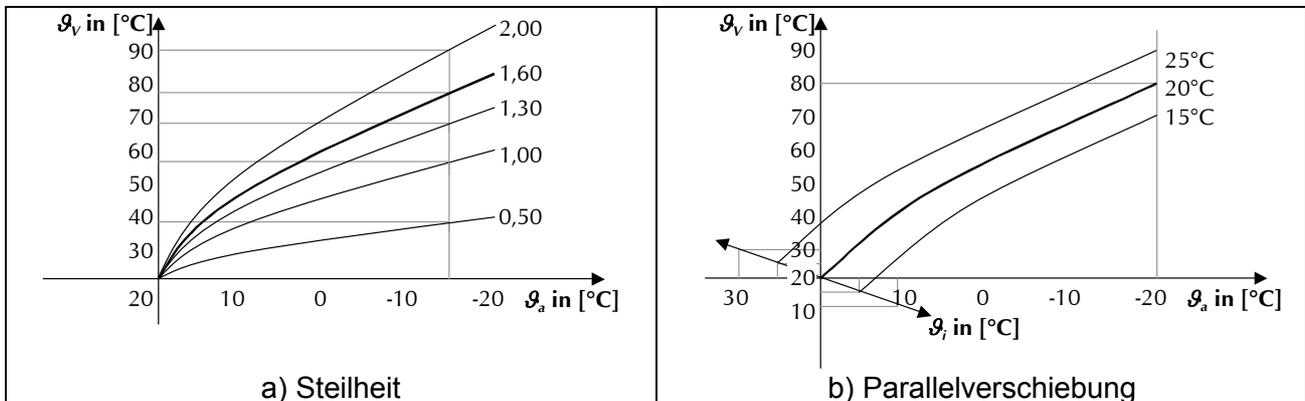


Bild 13 Steilheit und Parallelverschiebung der Heizkurve

Die Vorlauftemperaturregelung erfolgt beispielsweise als Mischerregelung mit einem zentralen Drei- oder Vierwegemischer (meist in Großanlagen), als Primärregelung über den Wärmeübertrager bei Fernwärmesystemen oder allein über die Kesselwasserregelung (Kleinanlagen).

Verteilnetz

Die Vermeidung von Wärmeverlusten des Wärmeverteilnetzes ist ein Hauptaufgabenfeld der Qualitätssicherung. Verteilverluste werden bestimmt durch die Länge, Lage, Dämmung sowie die Betriebstemperaturen und -zeiten der verlegten Rohrleitungen. Wegen der höheren Investitionskosten, die mit einer nachträglichen Dämmung verbunden sind, wurde diese Art der Anlagenoptimierung im Rahmen des OPTIMUS-Projekts nicht näher untersucht.

Kessel, Thermen und Wärmeübergabestationen

Im Rahmen der Optimierung wurden keine Wärmeerzeuger ausgetauscht. Es erfolgt, sofern möglich, lediglich eine Anpassung der Wärmeleistung des Erzeugers an den berechneten Bedarf des Gebäudes.

Kessel nach dem Zwangsdurchlaufprinzip, d.h. Thermen mit geringem Wasserinhalt (Zwangsumlauf- bzw. -durchlaufkessel), benötigen für einen sicheren Betrieb, d.h. um ein Verdampfen des Wassers im Kessel zu verhindern, einen Mindestvolumenstrom oder eine andere regelungstechnische Lösung des Problems. Ein Mindestvolumenstrom (z.B. durch Einbau eines Überströmventils im Kessel oder extern an zentraler Stelle, Einbau eines Dreiwegethermostatventils oder sonstiger Überströmeinrichtungen an einem bestimmten Punkt im Netz, Anschluss des Gerätes an einen differenzdruckarmen/-losen Verteiler, eine hydraulische Weiche oder einen Pufferspeicher) führt in häufig oder dauernd auftretenden Betriebszuständen zu einem Überströmen von (heißem) Vorlaufwasser in den Rücklauf.

Das Überströmen von Vorlaufwasser in den Rücklauf bewirkt eine Verschlechterung der Abgascondensation und erhöht damit die Energieaufwendungen für die Produktion der Nutzwärmemenge. Dies ist eine materielle Kesseleigenschaft, die i.d.R. nicht geändert werden kann. Kessel nach dem Zwangsdurchlaufprinzip weisen in der Praxis häufig integrierte, meist überdimensionierte und nicht einstellbare Pumpen auf. Zum einen wegen der zu überwindenden größeren hydraulischen Innenwiderstände des Kompaktgerätes (Therme), zum anderen wegen der möglichst universellen Einsetzbarkeit (Kombiheizgeräte auch für Trinkwarmwasserbereitung im Durchlaufprinzip) in jeder Anlage. Wärmeerzeuger, die nach dem Zwangsdurchlaufprinzip arbeiten und integrierte Pumpen aufweisen, provozieren damit ggf. einen Mehrverbrauch.

Es herrscht in den nachgeschalteten Anlagen immer ein Überangebot an Heizwasser, das von den Nutzern angenommen und verschwendet werden kann.

Übergabestationen arbeiten nach dem Prinzip der direkten oder der indirekten Wärmeübertragung. Bei der direkten Wärmeübertragung sind Primär- und Sekundärkreis hydraulisch gekoppelt, in indirekten Wärmeübergabestationen sind Primär- und Sekundärkreis durch einen Wärmeübertrager hydraulisch getrennt. In direkt mit Fern- oder Nahwärme versorgten Gebäuden entspricht oftmals die primäre Vorlauftemperatur auch der sekundären. Alternativ kann eine zusätzliche witterungsgeführte Regelung durch eine Beimischschaltung erfolgen. Bei Netzen ohne zusätzliche sekundäre Regelung besteht bei konstant/gleitend betriebenen Versorgungsnetzen besonders in der Übergangszeit die Gefahr eines Verschwendungspotentials (durch überhöhte Vorlauftemperaturen an den Heizflächen). Im Neubau sowie bei Anlagenmodernisierungen und Umstellungen werden heute standardmäßig indirekte Versorgungen mit zwischengeschaltetem Wärmeübertrager installiert. Hier erfordert das Sekundärnetz zwangsläufig eine Pumpe.

Schmutzfilter

Schmutzfilter dienen der Entfernung von Schmutzteilchen aus dem Heizwasser. Im Rahmen der Optimierung wurden Schmutzfilter in mehreren Fällen nachgerüstet.

Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung

Die Energiebilanz von Wohngebäuden wird neben der Heizung ebenso von der Trinkwarmwasserbereitung beeinflusst. Der hierfür notwendige Energieanteil wird im Rahmen des Projekts mit ausgewertet. Eine gezielte Optimierung der Anlagen zur Trinkwarmwasserbereitung erfolgt jedoch nicht.

3.1.2 Verschwendungspotential und Zwangswärmekonsum

Unter dem Verschwendungspotential der Anlagentechnik wird ein erhöhtes Leistungsangebot verstanden. Es ermöglicht bzw. provoziert erhöhte Lüftungs- und Transmissionsverluste bezogen auf einen theoretisch möglichen Idealzustand. Es ist durch die fehlende Qualität der Anlagentechnik in Planung und Ausführung begründet. Hierzu zählen erhöhte Vorlauftemperaturen und/oder Heizwassermassenströme, ggf. zu große Heizflächen und Wärmeerzeuger.

Ein Verschwendungspotential führt nicht automatisch zu einem Energiemehrverbrauch; der Nutzer bestimmt (meist ohne Kenntnis der Konsequenzen), ob er das Potential in Anspruch nimmt oder nicht. Die in der Anlage befindlichen Thermostatventile drosseln im Normalfall das übermäßige Leistungspotential entsprechend, wobei die Regelgüte in Form der Raumtemperaturkonstanz jedoch suboptimal ist, so dass ein Mehrverbrauch mit hoher Wahrscheinlichkeit auftritt. Weil die wenigsten Nutzer beispielsweise THKV richtig bedienen können, ist davon auszugehen, dass eine bereit gehaltene Leistungskapazität z.B. für Aufheizzustände bzw. ein bereitgestelltes Verschwendungspotential potentiell angenommen wird.

Demgegenüber kann sich der Nutzer dem Zwangswärmekonsum, d.h. einem durch die Art der Anlagentechnik vorgegebenen Wärmeüberangebot, nicht entziehen. Ein Zwangswärmekonsum liegt vor, wenn der Fremdwärmeeintrag der Anlagentechnik in den zu beheizenden Raum höher als die notwendige Nutzwärme zur Deckung der Transmissions- und Lüftungsverluste ist. Dies kann beispielsweise in Wohneinheiten mit ungedämmt durchlaufender Einrohrheizung der Fall sein. Aber auch in innenliegenden Bädern und Fluren, die praktisch keine Wärmeverluste aufweisen, führt die Wärmeabgabe durchlaufender Heizleitungen zu unnötiger Raumerwärmung. Im schlimmsten Fall, wenn die betroffenen Räume Überströmzonen oder Abluftzonen für Lüftungsanlagen sind, zum sofortigen Wärmeverlust.

Die entstehenden Wärmeverluste sind in beiden Fällen (Verschwendungspotential und Zwangswärmekonsum) weder aus energetischer noch aus hygienischer Sicht notwendig. Zur Reduzierung des Verschwendungspotentials muss das Wärmeangebot so gering wie möglich sein.

3.2 Grundlagen der Energiebilanzierung

3.2.1 Energiekennwerte

Der Energieverbrauch und die Qualität eines Gebäudes ergeben sich gleichermaßen aus den gebäudeunabhängigen Standortparametern, den Einflüssen des Baukörpers, der Anlagentechnik sowie der Art und Weise der Nutzung. Zum Verständnis der im Rahmen des Projekts durchgeführten Energiebilanzen werden wichtige Energiekennwerte nachfolgend vorgestellt und erläutert.

Bezugsfläche

Zur Bildung flächenbezogener Energiekennwerte werden verschiedene Flächen herangezogen. Zwei Bezugsflächen haben sich – v.a. bei der Bewertung von Wohnbauten – durchgesetzt: die Energiebezugsfläche A_{EB} und die Gebäudenutzfläche A_N .

Die Energiebezugsfläche A_{EB} ist die Summe aller (Netto-) Wohn- bzw. Nutzflächen eines Gebäudes, für deren Nutzung eine Beheizung notwendig ist. Die Gebäudenutzfläche A_N wird dagegen aus dem äußeren Volumen eines Gebäudes V_e , das die beheizten Räume umschließt, berechnet.

Bis auf eindeutig gekennzeichnete Ausnahmen wird im Rahmen des Projekts die Energiebezugsfläche A_{EB} verwendet.

Heizgrenztemperatur und Heizzeit

Die theoretische Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} ist die Außentemperatur, oberhalb der ein Gebäude nicht mehr durch die Heizungsanlage versorgt werden muss. Der solare und innere Fremdwärmeanfall reicht dann aus, um die Wärmeverluste des beheizten Bereiches zu decken. Die Heizzeit t_{HP} (auch Anzahl der Heiztage oder Heizperiode) umfasst die Tage eines Jahres, an denen ein Gebäude durch die Heizungsanlage versorgt werden muss.

Die reale Heizgrenztemperatur und die reale Heizzeit hängen über die Einflüsse der Witterung und des Baukörpers hinaus, stark von der Nutzung sowie der Heizungsregelung ab. Die Heizzeit kann durch entsprechende Reglereinstellungen verlängert werden, wenn die Anlage noch bis in den Sommer hinein Wärme vorhält. Auch ohne eine Heizwärmeanforderung der beheizten Räume kann die Anlagentechnik bis zum Erreichen der praktischen Heizgrenze in Betrieb sein.

Für jedes Gebäude ergeben sich individuelle Werte für die Heizgrenze. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Vereinfachung bei der Verbrauchsuntersuchung kann ein Gebäude je nach Baualtersklasse, Nutzeranforderung und lokaler Witterung näherungsweise einer definierten Heizgrenze (z.B. 10 °C, 12 °C, 15 °C) zugeordnet werden. Im Rahmen des Projekts wird als Heizgrenze 15 °C verwendet. In gekennzeichneten Detailauswertungen wird ggf. eine individuelle Heizgrenze verwendet, die sich aus dem Verlauf der Verbrauchsdaten ergibt.

Mittlere Außentemperatur

Die mittlere Außentemperatur $\vartheta_{a,m}$ in der Heizzeit (oder im Betrachtungszeitraum) hängt von der Heizgrenztemperatur ab. Sie wird als Mittelwert der Tagesmitteltemperaturen bestimmt, wobei nur Tage unterhalb der Heizgrenztemperatur verwendet werden.

Innentemperatur

Als Innentemperatur der beheizten Räume ϑ_i wird die reale Innentemperatur (Empfindungstemperatur) herangezogen. Sie berücksichtigt neben dem Sollwert der Temperatur (ideale Innentemperatur) auch:

- Effekte der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung
- die Güte der realen, mit Regelabweichungen verbundenen Temperaturregelung im Raum im Zusammenspiel mit der zentralen Vorregelung,
- Auswirkungen des Fremdwärmeanfalls.

Typische reale Innentemperaturen für den Wohnbau liegen bei 18 ... 22 °C. Ein für die Heizzeit repräsentativer Wert ist 21 °C, wobei die Werte für das EFH etwas darunter, für das MFH etwas darüber liegen. Dieser Wert enthält alle Effekte der Regelung (Regelabweichungen und eingeschränkter Heizbetrieb) und Fremdwärmenutzung.

Die Effekte der Teilbeheizung sind stark vom baulichen Standard des Gebäudes und der Belegungsdichte abhängig. Wegen der hohen inneren thermischen Kopplung führt die Teilbeheizung in gut gedämmten Gebäuden nur zu einer geringen Auskühlung der Räume.

Belegungsichte

Die Belegungsichte eines Gebäudes (personenbezogene Fläche bzw. Volumen) bestimmt eine Reihe von Energiekennwerten, so z.B. die Ausprägung der räumlichen Teilbeheizung, die Höhe der inneren Fremdwärme, das Lüftungsverhalten, den Wasserverbrauch. Konventionelle Bilanzverfahren gehen von einer mittleren Belegung von 30 ... 35 m²/Person aus. Bei Einzelauswertungen wird im Rahmen des Projekts die reale Belegungsichte berücksichtigt.

Hüllfläche und Kompaktheit des Gebäudes

Die Kompaktheit bestimmt die Transmissionswärmeverluste und damit den Energieverbrauch des Gebäudes maßgeblich mit. Der Kompaktheitsgrad wird mit Hilfe der Hüllfläche eines Gebäudes bezogen auf das Volumen (A/V_{Bezug}) oder auf die beheizte Fläche (A/A_{Bezug}) gebildet. In der Regel wird als Bezugsvolumen das äußere Volumen V_e verwendet.

Die wärmeübertragenden Umfassungsflächen A sowie das äußere Volumen V_e eines Gebäudes können z.B. nach Anhang B der DIN EN ISO 13789 ermittelt werden. Bei der Untersuchung von bestehenden Gebäuden dient i.d.R. das Gebäudeaufmaß vor Ort sowie eine Auswertung von Bauplänen als Basis für eine Bestimmung von Hüllfläche und Kompaktheit.

Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient, Transmissionsheizlast und Transmissionswärmeverlust

Für ein Gebäude kann ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient U_m (auch H_T) der wärmeübertragenden Umfassungsflächen A des beheizten Bereichs angegeben werden. Dieser Mittelwert berücksichtigt auch die unterschiedlichen Temperaturen der außen an das Bauteil grenzenden Medien (Außenluft, unbeheizte Räume, Erdreich usw.) und ggf. den Einfluss von Wärmebrücken. Für den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten gilt somit der Zusammenhang nach Gleichung (3). Trotz der Temperaturabhängigkeit wird der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient vereinfacht als eine reine Gebäudeeigenschaft angesehen.

$$U_m = \frac{\sum_j U_j \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{a,j}) \cdot A_j}{(\vartheta_i - \vartheta_{a,m}) \cdot A} + U_{\text{WB}} = \frac{\sum_j F_x \cdot U_j \cdot A_j}{A} + U_{\text{WB}} \quad (3)$$

Die Transmissionsheizlast H_T des Gebäudes ist das Produkt des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m und der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A des beheizten Bereiches erweitert um den Wärmebrückenverlustkoeffizienten. Der Transmissionswärmeverlust als Energiemenge Q_T ergibt sich durch Multiplikation der Transmissionsheizlast H_T mit der Gradtagszahl G_t .

Luftwechsel, Lüftungsheizlast und Lüftungswärmeverlust

Der Luftwechsel n gibt an, wie oft das beheizte (bzw. als beheizt definierte) Luftvolumen in einer Zeiteinheit durch Außenluft ersetzt wird. Der Luftwechsel ist eine Überlagerung von Fugen- und Fensterlüftung sowie dem Anlagenluftwechsel, wenn eine Lüftungsanlage vorhanden ist. Er ist eine in der Praxis kaum messbare Größe und im Verlauf eines Jahres nicht konstant.

Der allein zum Feuchteabtransport notwendige Luftaustausch ist in den Jahreszeiten verschieden. Bei üblicher Belegungsichte des Gebäudes schwankt er zwischen etwa 0,25 h⁻¹ in den Kernwin-

termonaten und $0,60 \text{ h}^{-1}$ in den Übergangsmonaten. Der Luftwechsel, der zum Abtransport von Atemabgasen (CO_2) aus der Raumluft notwendig ist, hängt vom Aktivitätsgrad der Personen und deren täglicher Anwesenheitsdauer ab. Bei normalem Aktivitätsgrad der Personen kann ganzjährig von einem mittleren personenbedingten Luftwechsel von $25 \dots 30 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{Person})$ ausgegangen werden. Für Raucher muss etwa mit der doppelten Menge gerechnet werden.

In den etablierten Energiebilanzverfahren wird ein *Bedarfsluftwechsel* definiert. Dieser Wert umfasst nicht den ggf. zusätzlich notwendigen Luftwechsel, um nicht nutzbare Fremdwärme aus einem Gebäude abzutransportieren. In der Praxis kann ein realer Luftwechsel definiert werden, der diesen Effekt (Ablüften) mit berücksichtigt.

Die bezogene Lüftungsheizlast H_V des Gebäudes ist das Produkt aus Luftwechsel n , dem belüfteten Volumen V und den Stoffeigenschaften der Luft [Dichte ρ und spezifische Wärmespeicherkapazität c_p typisch: $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$]. Der Lüftungswärmeverlust als Energiemenge Q_V ergibt sich durch Multiplikation der Lüftungsheizlast H_V mit der Gradtagszahl G_t .

Warmwasserverbrauch

Die Warmwassernutzwärme Q_{tw} wird bestimmt von der gezapften Warmwassermenge in einem Zeitabschnitt, der Eintrittstemperatur des Kaltwassers in das Gebäude und der Nutztemperatur des Warmwassers sowie der spezifischen Wärmekapazität. Der durchschnittliche Warmwasserverbrauch liegt bei $600 \dots 700 \text{ kWh}/(\text{Person}\cdot\text{a})$ [31]. Bei der Datenauswertung wird soweit vorhanden auf Messwerte zurückgegriffen.

Innere und solare Fremdwärme

Innere Fremdwärme Q_i tritt ungeregelt auf und entstammt i. A. Wärmequellen, deren Temperatur oberhalb der Raumtemperatur liegt. Zur inneren Fremdwärme zählt die Abwärme von Personen und des elektrischen Energieverbrauchs (Beleuchtung und Geräte) sowie die ungeregelt anfallende Abwärme von Komponenten der Anlagentechnik.

Passive solare Fremdwärme Q_s ist die Folge von Sonneneinstrahlung durch die Gebäudehülle. In einer vereinfachten Bilanz werden nur die transparenten Flächen berücksichtigt. Der solare Fremdwärmeanfall wird durch die Größe, Ausrichtung und den Energiedurchlassgrad der transparenten Flächen sowie von Einflüssen der Verschattung und Verschmutzung bestimmt. Für die Globalstrahlung (Energiemenge, die unter einem bestimmten Höhenwinkel, in einer bestimmten Himmelsrichtung und einer bestimmten Zeit auf eine Fläche auftritt) werden Standardwerte verwendet [26].

Nutzbarkeit von Fremdwärme und Fremdwärmenutzungsgrad

Die momentane Fremdwärmeleistung kann nur bis zur Höhe der momentanen Verlustleistung (bei normalen Temperaturen und Luftwechseln) der beheizten Räume genutzt werden. Darüber hinaus erhöht der Fremdwärmeanfall zunächst die Innentemperatur, dann den Luftwechsel. Im Sinne der Energiebilanz ist ein Fremdwärmeanfall also nicht voll für die Raumheizung nutzbar, d.h. der nicht nutzbare Anteil führt zu Temperaturen und Luftwechseln über das normale Maß hinaus. Der nutzbare Anteil kann über einen Fremdwärmenutzungsgrad (zwischen 0 und 1) definiert werden. Er ist i.A. das Ergebnis von Simulationsrechnungen.

Alternativ kann aber auch ohne diese Größe bilanziert werden, wenn stattdessen die Wärmeverluste mit den realen (überhöhten) Werten für Raumtemperatur und Luftwechsel bestimmt werden. Letztere Vorgehensweise wird bei der Energiedatenauswertung gewählt.

Wärmeabgabe der Heizflächen

Neben den ungeregelt frei werdenden realen Fremdwärmemengen wird nach Gleichung (4) die geregelte Wärmeabgabe der Heizflächen benötigt, um die realen Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung zu decken.

$$Q_{\text{heiz}} = (Q_{T,\text{real}} + Q_{V,\text{real}}) - (Q_S + Q_I)_{\text{real}} \quad (4)$$

Der Heizwärmebedarf nach Gleichung (5) ist in Energiebedarfsbilanzen definiert als die Energiemenge, die zwischen dem Transmissions- und Lüftungswärmebedarf und der nutzbaren Fremdwärme (i.d.R. ohne Anlagentechnikfremdwärme) steht.

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta_F \cdot (Q_S + Q_I) \quad (5)$$

Technische Verluste

Die Endenergie für Heizung (Heizenergie) enthält neben der Nutzenergie (Heizwärmebedarf oder Wärmeabgabe der Heizflächen) zusätzliche Verlustwärmemengen, die technischen Verluste Q_t . Diese umfassen die Wärmeverluste der Verteilung, der Speicherung und der Wärmeerzeugung sowie je nach Bilanzverfahren zusätzlich Wärmeübergabeverluste.

Sie können als absolute Energiemengen bestimmt werden oder zusammengefasst in einem Gesamtnutzungsgrad oder als Gesamtaufwandszahl angegeben werden. Der Gesamtnutzungsgrad ist das Verhältnis der Nutzenergie (Heizwärme) zur Endenergie (Heizenergie). Die Gesamtaufwandszahl ist der Kehrwert des Nutzungsgrades. Beide Größen können auch unter Berücksichtigung der Trinkwarmwasserbereitung bestimmt werden. Die technischen Verluste werden im Folgenden einzeln besprochen.

Wärmeverluste der Wärmeverteilung und -speicherung

Die Wärmeverluste der Wärmeverteilung Q_d und Wärmespeicherung Q_s sind je nach Bilanzverfahren unterschiedlich definiert. Einerseits kann die gesamte Wärmeabgabe der Speicher und Leitungen über einen Zeitraum bestimmt werden. Andererseits kann auch nur der außerhalb des beheizten Bereiches auftretende Wärmeverlust, der nicht zur Raumheizung beiträgt, berechnet werden.

Bei der Berechnung spielen Leitungslängen bzw. Speichervolumina, deren Dämmstandard, das Temperaturgefälle bezogen auf die Umgebung und die Bilanzzeit eine Rolle. Es besteht die Möglichkeit, die Wärmeverluste der Verteilung und Speicherung als Verteilungs- oder Speichernutzungsgrad ggf. auch zusammengefasst anzugeben. Im Rahmen der Auswertungen werden Wärmeverluste der Verteilung und Speicherung (außer bei besonderer Kennzeichnung) nur außerhalb des beheizten Bereichs berechnet.

Wärmeverluste von Erzeugern

Der Prozess der Wärmeerzeugung kann anhand verschiedener Energieeinzelkennwerte beschrieben werden. Eine Möglichkeit ist die Bestimmung von absoluten Wärmeverlusten der Erzeugung Q_g . Die Verluste sind die Differenzenergiemenge zwischen der dem Erzeuger zugeführten und der als Nutzen abgegebenen Energiemenge. Sie können in betriebsbedingte (z.B. Abgasverluste bei Kesseln) und fixe Verluste (z.B. Bereitschaftsverluste bei Kesseln) unterschieden werden.

Üblich ist die Bestimmung eines Wärmeerzeugernutzungsgrades η_g . Dabei wird das Verhältnis aus abgegebener Nutzwärme (Nutzen) und zugeführter Energie (Aufwand) bestimmt. Betrachtungszeitraum für diese Angabe ist üblicherweise ein Jahr. Im Standardfall werden im Rahmen der Auswertung normierte Nutzungsgrade angegeben, darüber hinaus werden die absoluten Verluste anhand des Verfahrens des normierten Aufwands bestimmt.

Hilfsenergien

Hilfsenergien sind elektrische Energien, die unmittelbar mit der Versorgung eines Gebäudes mit Raumwärme und Trinkwarmwasser in Verbindung stehen. Zu den Hilfsgeräten zählen Pumpen, Ventilatoren und elektrisch betriebene Regeleinrichtungen. Sie werden zum wirtschaftlichen und

primärenergetischen Vergleich unterschiedlicher Versorgungssysteme mit herangezogen. Die Bilanz von Hilfsenergien ist Teil der Auswertung.

Primärenergiefaktor, CO₂-Äquivalent und Energieinhalt

In Umweltbilanzen werden die über die Gebäudegrenze fließenden Energien zusätzlich aufgrund ihrer Umweltwirksamkeit bewertet. Dies erfolgt anhand der Menge und Art der Endenergien mit Primärenergiefaktoren bzw. mit CO₂-Äquivalenten. Der Primärenergiefaktor f_p berücksichtigt für jeden Energieträger den Aufwand, der bei seiner Förderung, ggf. Umwandlung und beim Transport bis zum Endverbraucher anfällt. CO₂-Äquivalente sind ein Maß für die Treibhauswirkung eines Energieträgers. Umweltbilanzen sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur am Rande behandelt werden.

Der Energieinhalt wird üblicherweise für chemisch gebundene Energien angegeben: Gas, Öl, Kohle oder Holz. Er kann auf den Brennwert (H_O) oder den Heizwert (H_U) bezogen angegeben sein und wird zur Umrechnung von Energie- in Stoffströme (und damit Geldströme) benötigt. Für alle Kennwerte wird auf Veröffentlichungen des IWU zurückgegriffen [30] [31].

3.2.2 Energiebilanzen

Ziel der Energiebilanz ist i.d.R. die Bestimmung des zugeführten Anteils an *nicht regenerativer Energie*, für dessen Bereitstellung ein Primärenergieträger bzw. ein endlicher Rohstoff verbraucht wird. Anhand von Energiekennwerten lassen sich für ein Gebäude verschiedene Energiebilanzen aufstellen. Nachfolgend werden die für das Projekt wichtigsten Zusammenhänge erläutert.

Wärmeenergie Heizung

Die nach Gleichung (6) definierte Wärmeenergie für Heizung ist in der überwiegenden Zahl der Anlagen eine Messgröße. Es wird die Wärmeabgabe der Heizflächen Q_h erfasst sowie die Wärmeabgabe der Verteilleitungen Q_d nach dem Zähler.

$$\begin{aligned} Q_{\text{Wärme}} &= Q_h + Q_d \\ &= Q_{\text{beheizter Bereich}} + Q_{\text{d,unbeheizter Bereich}} \end{aligned} \quad (6)$$

Je nach Position des Wärmemengenzählers und Lage des Verteilsystems fällt ggf. ein Teil der gemessenen Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereichs an. Die restliche Wärmemenge (und der größte Anteil) ist die dem beheizten Bereich über Heizkörper und Leitungen zugeführte Wärmemenge.

Die dem beheizten Bereich zugeführte Wärmeenergie ergibt sich als Differenz der Wärmeverluste des Gebäudes (Q_T und Q_V) abzüglich der Wärmegewinne Q_{Gewinne} (Personen, Solareinstrahlung, Geräte, Fremdwärme aus dem Trinkwarmwassersystem)

$$Q_{\text{beheizter Bereich}} = Q_T + Q_V - Q_{\text{Gewinne}} \quad (7)$$

Der Einfachheit halber werden (bis auf gekennzeichnete Ausnahmen) die Wärmeverluste der Verteilleitungen im unbeheizten Bereich $Q_{\text{d,unbeheizter Bereich}}$ der Wärmezufuhr in den beheizten Bereich rechnerisch zugeschlagen. Es gilt: $Q_{\text{Wärme}} \cong Q_{\text{beheizter Bereich}}$. Das bedeutet, dass von Wärmemengenzählern des Heiznetzes abgenommene Messwerte gleichgesetzt werden mit der Wärmezufuhr in den beheizten Bereich, unabhängig von der tatsächlichen Lage des Zählers.

Endenergie Heizung

Aus der Wärmeenergie $Q_{\text{Wärme}}$ wird durch Addition der Wärmeerzeugerverluste Q_g bzw. durch Bewertung mit dem Nutzungsgrad η die Endenergie für Heizung Q_H (Heizenergie) berechnet.

$$Q_H = Q_{\text{Wärme}} + Q_g = \frac{Q_{\text{Wärme}}}{\eta} \quad (8)$$

In Anlagen mit elektrischer Warmwasserbereitung wird die Endenergie Heizung Q_H auch direkt gemessen (Gaszähler bzw. Wärmemengenzähler).

Gesamtendenergie

Die Endenergiemengen für Heizung und Trinkwarmwasser ergeben zusammen die Gesamtendenergie.

$$Q = Q_H + Q_{\text{TW}} \quad (9)$$

Primärenergie und CO₂-Bewertung

Die Primärenergie wird aus der Endenergie mit Hilfe der Primärenergiefaktoren berechnet. Analoges gilt für die CO₂-Bewertung. Im Rahmen der Auswertungen werden Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Äquivalent auf Basis der Heizenergiekennwerte bestimmt.

$$\Delta Q_P = f_{P,\text{Wärme}} \cdot \Delta Q_H + f_{P,\text{Strom}} \cdot \Delta Q_{\text{el}} \quad (10)$$

$$\Delta m_{\text{CO}_2} = f_{\text{CO}_2,\text{Wärme}} \cdot \Delta Q_H + f_{\text{CO}_2,\text{Strom}} \cdot \Delta Q_{\text{el}} \quad (11)$$

In beiden Fällen wird sowohl die Endenergie der Wärmeenergien (Q_H) als auch der Hilfsenergien (Q_{el}) bewertet.

3.2.3 Verbrauch- und Bedarfsbilanz

Eine *Energieverbrauchsbilanz* basiert auf einer verbrauchten Energiemenge aus Messdaten. Energieverbrauchsbilanzen werden zur überschlägigen Bewertung bereits bestehender Gebäude angewendet. Gebäude gleicher Art und Nutzung können miteinander verglichen werden, Einsparmaßnahmen können bewertet, entschieden und kontrolliert werden. Sie sind ein Analyse-Instrument (Benchmarking). Eine Witterungsbereinigung auf ein Standardklima und ggf. einen Standardstandort macht Verbrauchsdaten untereinander vergleichbar. Rechnerische Rückschlüsse auf Einzelwärmemengen sind möglich.

Im Gegensatz dazu bewertet die *Energiebedarfsbilanz* zunächst alle Einzelwärmemengen anhand der Charakteristik des Gebäudes und der Anlage sowie auf Basis typischer Nutzungsprofile. Diese Vorgehensweise erlaubt anschließend den Rückschluss auf die Endenergiemenge. Energiebedarfsbilanzen werden vor allem eingesetzt, wenn reale Verbräuche noch nicht vorliegen. Sie ermöglichen die Prognose künftig benötigter Energiemengen, sind ein Planungsinstrument. Energiebedarfswerte verschiedener Berechnungsverfahren differieren stark, vor allem weil die Einflussgrößen unterschiedlich gewichtet werden. Sie sind nur Abschätzungen von Größenordnungen des Verbrauchs, da über den größten Unsicherheitsfaktor, den Nutzer und insbesondere dessen Lüftungsverhalten, nur spekuliert werden kann.

Im Rahmen des Projekts wird die Verbrauchsbilanz bevorzugt verwendet. Auf Basis von Messwerten werden Einsparungen berechnet. Zum Vergleich wird aber für den Großteil der Gebäude auch eine Bedarfsbilanz erstellt. Ein Vergleich beider Verfahren erfolgt in Abschnitt 10.3.

3.3 Grundlagen der Energiedatenbereinigung

Operiert man mit Messdaten für den Heizenergieverbrauch von Gebäuden, die verallgemeinert werden sollen, ist eine Witterungskorrektur der Ergebnisse notwendig. Nur so lassen sich Erkenntnisse (zumindest näherungsweise) auf andere Standorte und Klimaverhältnisse übertragen.

Es gibt zwei gängige Bereinigungsverfahren: die Verbrauchsdatenbereinigung mit den Heizgradtagen oder mit den Gradtagszahlen. Beide Arten dienen der Korrektur der Verbrauchswerte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedingungen (Außentemperatur) auf den Energieverbrauch, führen jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die benötigten Größen werden zunächst erläutert.

Gradtagszahl und Heizgradtage

Die Gradtagszahlen Gt beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Innentemperatur ϑ_i und der Außentemperatur ϑ_a im Verlauf einer Heizperiode t_{HP} . Gradtagszahlen erhalten zur Kennzeichnung üblicherweise zwei Indizes: die Innentemperatur und die Heizgrenze – siehe Gleichung (12).

$$Gt_{\vartheta_{im}, \vartheta_{HG}} = \int_{HP} (\vartheta_i - \vartheta_a) dt = (\vartheta_{i,m} - \vartheta_{a,m}) \cdot t_{HP} \quad (12)$$

Heizgradtage G beschreiben die Summe aller Temperaturdifferenzen zwischen der Heizgrenztemperatur ϑ_{HG} und der Außentemperatur ϑ_a in einer Heizperiode t_{HP} . Heizgradtage werden mit einem Index, der Heizgrenztemperatur, gekennzeichnet – Gleichung (13).

$$G_{\vartheta_{HG}} = \int_{HP} (\vartheta_{HG} - \vartheta_a) dt = (\vartheta_{HG} - \vartheta_{a,m}) \cdot t_{HP} \quad (13)$$

Die Ansätze der Gleichungen (12) und (13) können auch auf andere Zeiträume (z.B. Monate) übertragen werden. Das maßgebliche Zeitintervall ist dann nicht die Heizzeit, sondern die Zahl der Tage (oder Heiztage) pro Monat.

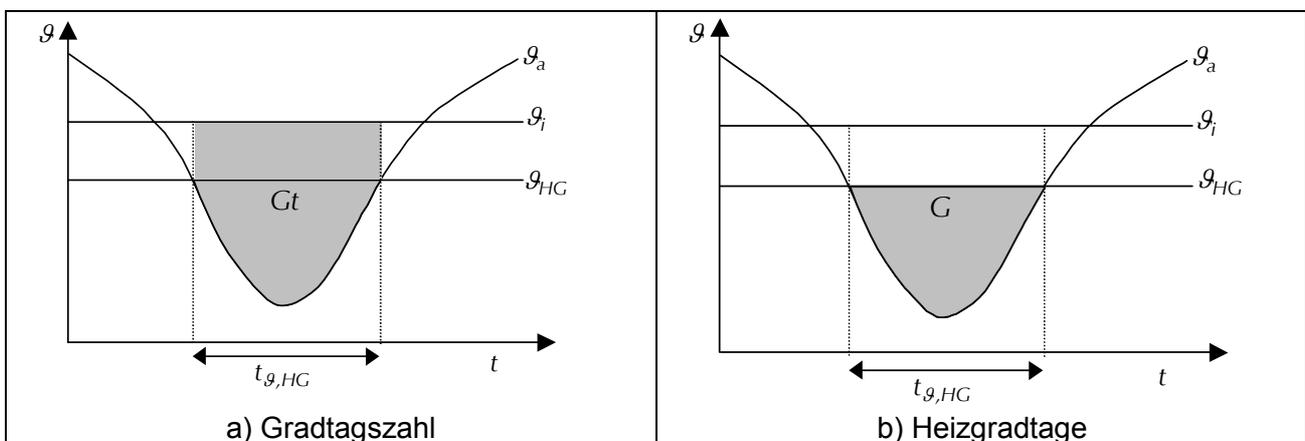


Bild 14 Definition von Gradtagszahl und Heizgradtagen

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 für die Wärmeverluste der Transmission und Lüftung verwendet.

$$(Q_T + Q_V)_{Standard} = (Q_T + Q_V)_{Mess} \cdot \frac{Gt_{Standard}}{Gt_{Mess}} \quad (14)$$

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 Nutzwärmemenge für die Heizung und Lüftung Q_h bekannt ist.

$$(Q_h)_{\text{Standard}} = (Q_h)_{\text{Mess}} \cdot \frac{G_{\text{Standard}}}{G_{\text{Mess}}} \quad (15)$$

Zusätzliche Einflüsse der Witterung auf den Energieverbrauch

Beide Ansätze der Witterungsberichtigung bewerten, dass im Untersuchungsjahr eine andere Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur aufgetreten ist. Abweichungen im Verbrauch, die auf diesen Unterschied zurückzuführen sind, werden korrigiert.

Ein verändertes Lüftungsverhalten der Bewohner in unterschiedlich warmen Jahren sowie die unterschiedliche Solarstrahlung werden nicht korrigiert. In der Praxis zeigt sich jedoch eine starke Abhängigkeit des Luftwechsels von der Außentemperatur bzw. vom Wetter. Energieverbrauch und Heizgradtage sind nicht ideal proportional zueinander. Dieses Problem der Bereinigung führt dazu, dass die Energieverbräuche eines Jahres nicht ideal und vollkommen verlässlich witterungsbereinigt werden können.

Konkretes Vorgehen bei der Verbrauchsberichtigung

Ausgangspunkt der Bereinigung ist der Endenergieverbrauch eines Gebäudes ggf. inklusive der Trinkwarmwasserbereitung. Die Anteile der verbrauchten Energiemengen für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung werden anhand unterschiedlicher Rechenalgorithmen bereinigt.

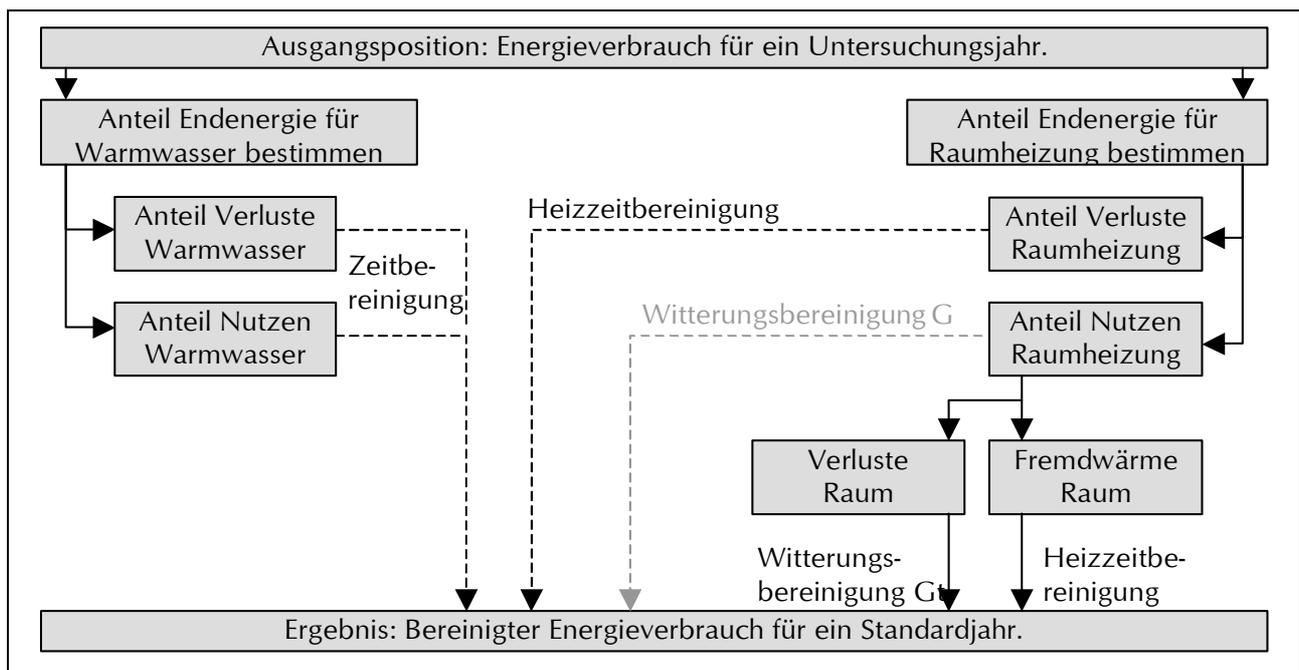


Bild 15 Schematischer Ablauf einer Verbrauchsdatenberichtigung

Aus dem gesamten Energieverbrauch für das Untersuchungsjahr wird der Anteil der Endenergie für die Warmwasserbereitung separiert (im Projekt überwiegend durch Messung). Die Nutz- und Verlustenergien der Trinkwarmwasserbereitung werden anschließend im Verhältnis der Länge des Untersuchungszeitraumes zum gesamten Jahr ausschließlich zeitberichtigt.

Von der verbleibenden Heizenergie (Anteil der Endenergie für Raumheizung) werden die nicht oder kaum witterungsabhängigen technischen Verluste der Raumheizung abgezogen (Erzeugerverluste, Verteilverluste). Diese werden anhand der Heizzeit berichtigt.

Im OPTIMUS-Projekt sind extra Wärmemengenzähler angeordnet, um praktisch nur die witterungsabhängige Wärmezufuhr in den beheizten Bereich (mit einem geringen Anteil Wärmeverluste der Rohrleitungen im Keller) zu messen. Zur Bereinigung dieses Anteils hat man zwei Alternativen:

1. Der verbleibende Nutzen der Heizung wird z.B. mit Hilfe der Heizgradtage G witterungsbereinigt (Verhältnis Heizgradtage im Untersuchungszeitraum zu Heizgradtagen im Standardjahr). So sieht es das Verfahren der VDI 3807 vor.
2. Alternativ können die Verluste der Transmission und Lüftung mit den Gradtagszahlen G_t bereinigt werden. Dazu muss der gesamte Wärmeeintrag in den beheizten Bereich des Gebäudes bestimmt werden. Dies sind die Wärmemengen, die geregelt über die Heizungsanlage im beheizten Bereich abgegeben werden sowie die sonstigen solaren und inneren Fremdwärmemengen (Personen, Geräte und Trinkwarmwasserbereitung) des Untersuchungsjahres. Die Fremdwärmemenge muss in diesem Fall abgeschätzt werden.

Beide Varianten der Bereinigung werden durchgeführt. In jedem Fall muss die Heizgrenztemperatur bekannt sein. Im Standardfall wird von einer Heizgrenze von 15 °C ausgegangen, da diese in der Mehrzahl der untersuchten Häuser anzutreffen ist.

Standardklimadaten

Bei der Bereinigung wird für das Standardklima (bei 15 °C Heizgrenze) von 270 Heiztagen und einer mittleren Außentemperatur von $5,5\text{ °C}$ ausgegangen.

3.4 Auswertung von Verbrauchswerten

Aus monatlich erfassten Verbrauchsmesswerten können weitergehende Erkenntnisse gezogen werden. Dabei wird in die Bewertung von Gebäude und Nutzung einerseits und die Bewertung von Wärmeerzeugern andererseits unterschieden. Nachfolgende Ausführungen gehen davon aus, dass die Zählleinrichtungen wie im Bild 16 gezeigt, in den Anlagen untergebracht sind.

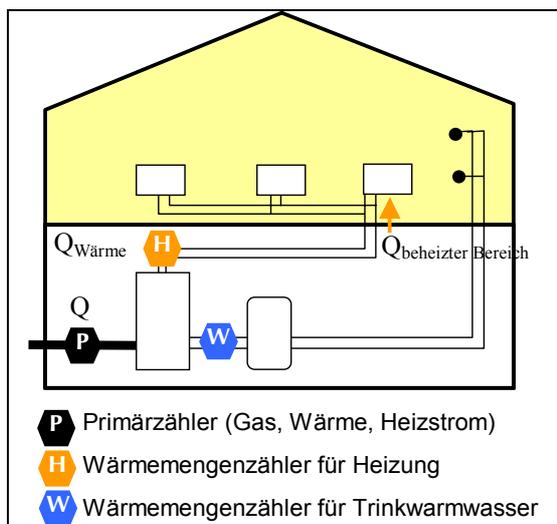


Bild 16 Anordnung der Wärmemengenzähler

Neben einem Primärzähler gibt es zwei Unterzähler für die vom Erzeuger abgegebenen Wärmemengen für Trinkwarmwasser und Heizung. Mit dem Unterzähler für Heizung kann in erster Näherung die dem beheizten Bereich zugeführte Wärmemenge bestimmt werden.

Aus der Differenzbildung zwischen Primärzähler und Unterzählern ergeben sich die Wärmeverluste des Erzeugers. Bei Fernwärmanlagen ist in der Regel einer der beiden Unterzähler nicht vorhanden, so dass die Wärmeverluste des Erzeugers nicht explizit bestimmt werden können

3.4.1 Bewertung von Gebäude und Nutzung

Zur Detailbewertung von Gebäude und Nutzung sind monatliche Messwerte für die Energiezufuhr in den beheizten Bereich notwendig. Im Rahmen des Projekts werden dazu die Werte der Wärmemengenzähler für "Heizwärme" verwendet.

Die aussagekräftigste Darstellungsmöglichkeit monatlicher Messwerte ist das \dot{Q}_g -Diagramm nach Bild 17. Die mittlere monatliche Heizleistung, die sich aus den Verbrauchsdaten in der Messzeit ergibt, wird über der mittleren Außentemperatur aufgetragen. Die aufgetragene Leistung ergibt sich aus dem Verbrauch (kWh/Zeitintervall) bezogen auf die Heizzeit (Stunden/Zeitintervall). Diese Auftragung ist sinnvoll, da Messintervalle bei manueller Ablesung unterschiedlich lang sind.

Aus der Extrapolation der Verbrauchswerte in der Kernheizzeit (etwa November bis März) können eine theoretisch erreichbare Heizgrenze, eine maximal notwendige Leistung sowie das Verhältnis von Fremdwärme zu Verlusten abgeschätzt werden.

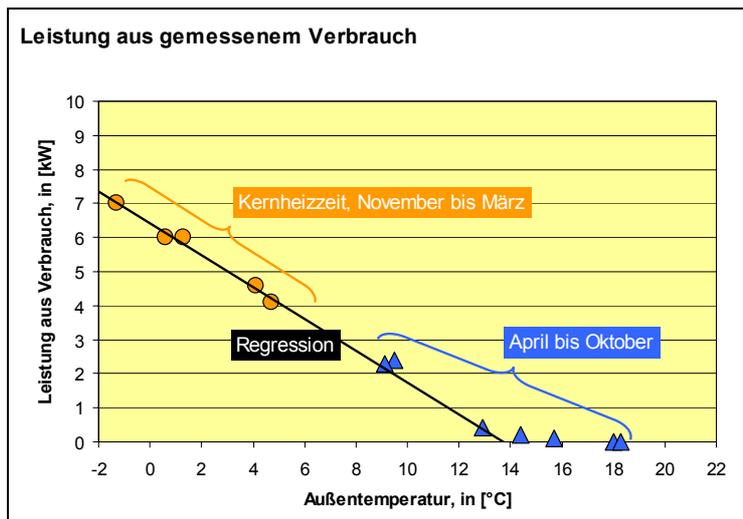


Bild 17 Auftragung der Messwerte mit Regressionsgerade

In das Diagramm nach dem in Bild 17 gezeigten Schema werden alle Messpunkte eingetragen. Für die Messpunkte in den sogenannten Kernheizmonaten November bis März (bei denen die mittlere Außentemperatur unter 6 ... 8°C liegt) streuen die Datenpunkte meist nur wenig um eine einfach zu ermittelnde Regressionsgerade. Die anderen Verbrauchsmessungen der Monate April bis Oktober sind zunächst als zusätzliche Messpunkte zu verstehen.

Die notwendigen Wetterdaten erhält man am kostengünstigsten im Internet [6]. Hierbei sei besonders auf den kostenlosen Service des IWU, Darmstadt hingewiesen (www.iwu.de).

Interpretation und Erläuterungen zum Messdatenverlauf

Die Steigung der Geraden im Diagramm entspricht dem bezogenen Wärmeverlust aus Transmission und Lüftung (= bezogene Heizlast in W/K). Diese Größe wird mit H bezeichnet. Je schlechter die Dämmqualität eines Gebäudes und/oder je höher der mittlere Luftwechsel desto höher die Steilheit der Geraden und desto größer ist H . Wichtig für weitergehende Überlegungen ist die Tatsache, dass die Steigung der Regressionsgeraden von einer mittleren Raumtemperatur unabhängig ist. Die Größe H kann aus dem Diagramm einfach abgelesen werden.

Die Größe kann aber auch nach Gleichung (16) berechnet werden. In bedarfsorientierten Energiebilanzverfahren wird hierzu recht kostenintensiv und zeitaufwendig die Gebäudegeometrie (einzelne Hüllflächen A_i zur Gesamthüllfläche A sowie das Gebäudevolumen V) aufgenommen, Wärmedämmstandards (U_i) zu einem mittleren U_m -Wert unter Berücksichtigung von Temperaturkorrekturen abgeschätzt und Luftwechsel (n) angenommen.

$$H = H_T + H_V = U_m \cdot A + n \cdot V \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \quad (16)$$

Die Frage, warum die Regressionsgerade nicht durch die Raumtemperatur von z.B. 20°C verläuft, erläutert Bild 18. Da die Wärmeverluste eines Gebäudes durch Transmission und Lüftung proportional der Innen-/Außentemperaturdifferenz sind, müsste theoretisch bis zur Raumtemperatur ge-

heizt werden (Bild 18a). Dies wäre in einem Gebäude ohne jegliche innere Wärmequellen und bei Vernachlässigung solarer Wärmegewinne richtig.

In der Realität tritt Fremdwärme auf. In der Kernheizzeit November bis Februar/März ist sie darüber hinaus näherungsweise konstant und führt damit zu einer Parallelverschiebung der Heizlastkurve (Bild 18b). Die Steigung der Geraden ändert sich dabei nicht.

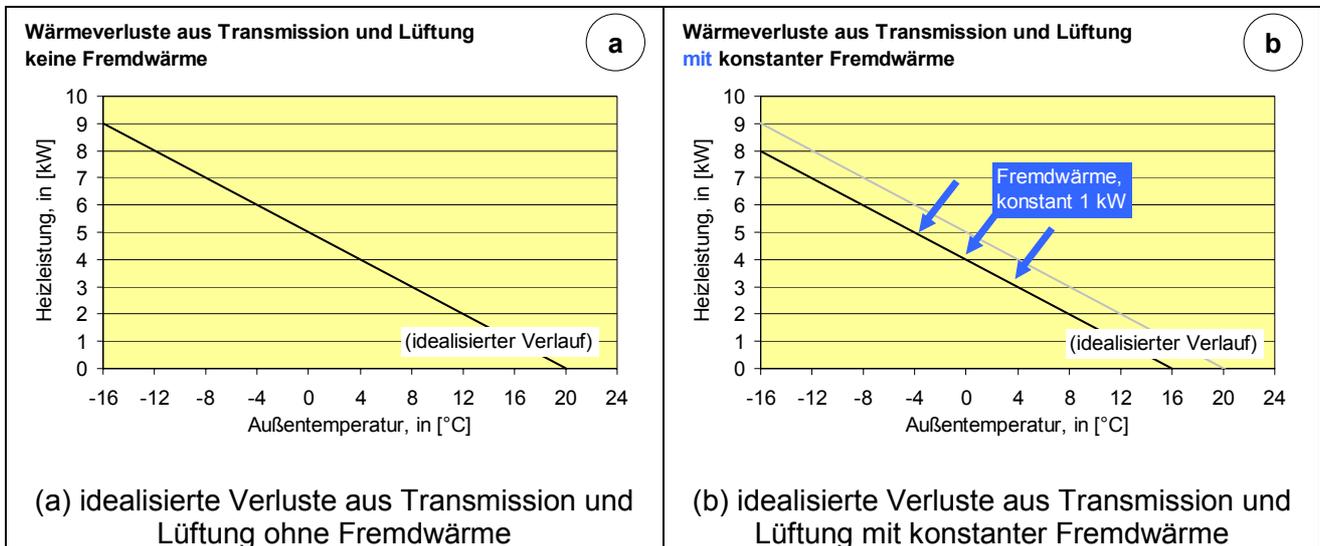


Bild 18 Verlauf der Heizleistung

In der Übergangszeit sind die Verbrauchswerte sehr viel stärker dem Einfluss des Nutzerverhaltens unterworfen. Sie liegen i.d.R. nicht mehr so eindeutig auf der "Kernheizzeit-Regressionsgeraden", sondern streuen mehr. Es gibt zwei Tendenzen:

1. In den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst entsteht durch die höheren Solareinstrahlungen eine erhöhte mittlere Fremdwärmeleistung, die theoretisch sogar zu einer niedrigeren Heizgrenztemperatur führen müsste. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell unter der "Kernheizzeit-Regression" (Bild 19a).
2. Da in den Übergangszeiten aus den verschiedensten Gründen aber häufig viel stärker gelüftet wird, kann jedoch auch der gegenteilige Effekt auftreten, die Heizgrenztemperatur verschiebt sich zu höheren Werten. Die Verbrauchswerte liegen tendenziell über der "Kernheizzeit-Regression" (Bild 19b).

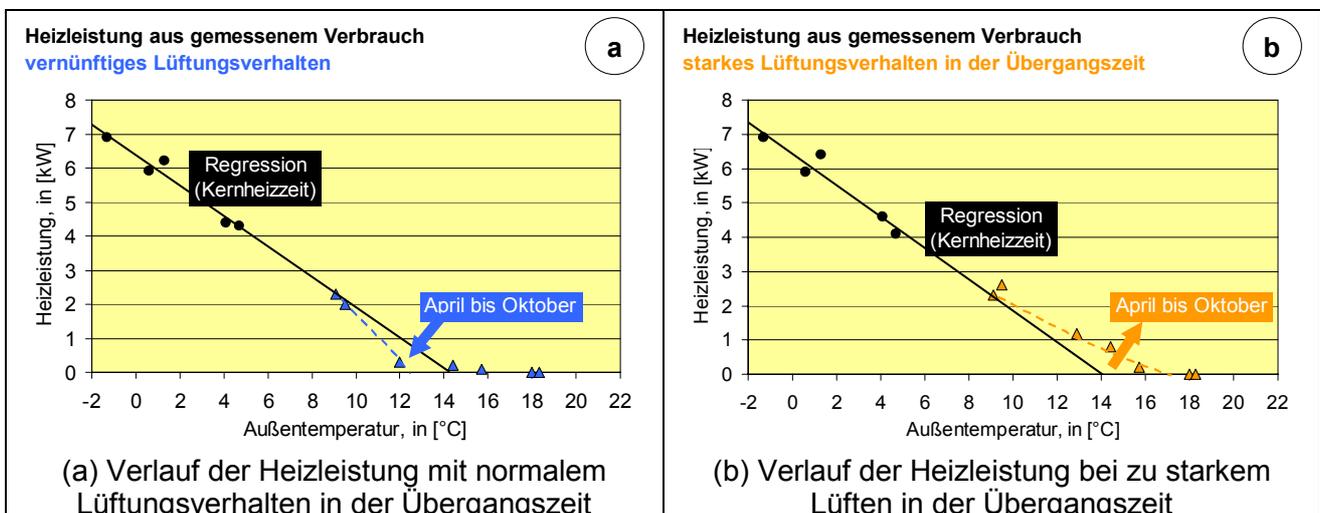


Bild 19 Verlauf der Heizleistung

Heizgrenze und maximale Leistung

Eine theoretisch erreichbare Heizgrenze kann aus dem Messdatenverlauf nach Bild 17 abgeschätzt werden. Die Bestimmung der Heizgrenze aus Messdaten erfolgt auch bei Auftragung der Endenergie (unter Berücksichtigung technischer Verluste außerhalb des beheizten Bereiches) noch hinreichend genau.

Aus der Parallelverschiebung der Regression durch die Raumtemperatur (umgekehrtes Vorgehen wie in Bild 18b) ergibt sich eine Gerade, welche die Verluste ohne Fremdwärme nachbildet. Aus dieser kann bei der minimalen Außentemperatur die maximale Heizlast abgelesen werden. Hierdurch können in einfacher Art und Weise Anschlussleistungen von Fernwärmeanschlüssen aber auch die notwendige Kesselleistung nach einer Kesselerneuerung praktisch ermittelt werden.

Mehrverbrauch in der Übergangszeit

In diesem Diagramm eingetragene Messpunkte für die Übergangszeit liefern einen Hinweis, ob im Frühjahr oder Herbst Wärme abgelüftet wird.

Die zusätzlich eingetragenen Leistungen der Monate in der Übergangszeit liegen im Beispiel Bild 19(b) deutlich höher als der Trend der Kernheizzeit. Dies spricht für einen Mehrverbrauch durch Ablüften. Da die bezogene Transmissionswärmeleistung H_T in Kern- und Übergangszeit annähernd gleich sind, muss auf erhöhte Lüftung geschlossen werden. Blicke der Luftaustausch annähernd gleich, müsste die Kurve in der Übergangszeit sogar noch steiler abfallen und die Heizgrenze früher erreicht sein, denn der solare Fremdwärmeeintrag steigt in der Übergangszeit.

Abschätzen der Fremdwärmemenge ohne Messung

Die Messdaten der Kernheizzeit liefern eine Möglichkeit, die Höhe der Fremdwärme abzuschätzen. Die aus den Messwerten extrapolierte Heizgrenze ist die Außentemperatur, ab der eine aktive Beheizung nicht mehr notwendig wäre.

Das bedeutet, die Zufuhr von Wärme in den beheizten Bereich $Q_{\text{Wärme}}$ ist nur unterhalb der Heizgrenze ϑ_{HG} notwendig – Gleichung (17). Die bezogene Transmissions- und Lüftungsheizlast H_{T+V} wird oberhalb der Heizgrenze allein durch die innere und solare Fremdwärme Q_{I+S} (incl. Anteilen aus der Trinkwarmwasserbereitung) gedeckt – Gleichung (18).

$$H_{T+V} \cdot (\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_a) \cdot t = Q_{\text{Wärme}} \quad (17)$$

$$H_{T+V} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{\text{HG}}) \cdot t = Q_{I+S} \quad (18)$$

$$Q_{I+S} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_{\text{HG}}}{\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_a} \cdot Q_{\text{Wärme}} \quad (19)$$

$$Q_{T+V} = Q_{\text{Wärme}} + Q_{I+S} \quad (20)$$

Aus dem bekannten Messwert für die Wärmezufuhr in den beheizten Bereich $Q_{\text{Wärme}}$ kann mit Gleichung (19) die Fremdwärmemenge (bzw. die mittlere Fremdwärmeleistung) und mit Gleichung (20) die Summe aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten in der Kernheizzeit abgeschätzt werden. Dieser Ansatz ist eine wichtige Grundlage für die weitere Bereinigung mit Gradtagszahlen.

Nachbildung des Verbrauchsverlaufs

Zusammenfassend kann über den Verlauf der Regressionsgeraden im \dot{Q}, ϑ -Diagramm gesagt werden: die Steigung der Ausgleichsgeraden entspricht der bezogene Gesamtheizlast H_{T+V} . Aus den Messwerten bzw. der linearen Regression lassen sich real vorhandene mittlere Luftwechsel bei Kenntnis der U-Werte (Beeinflussung der Steigung) sowie Fremdwärmeleistungen und Innentemperaturen (Parallelverschiebung der Ausgleichsgeraden) in der Kernheizzeit bei Kenntnis der jeweils anderen Größe ermitteln.

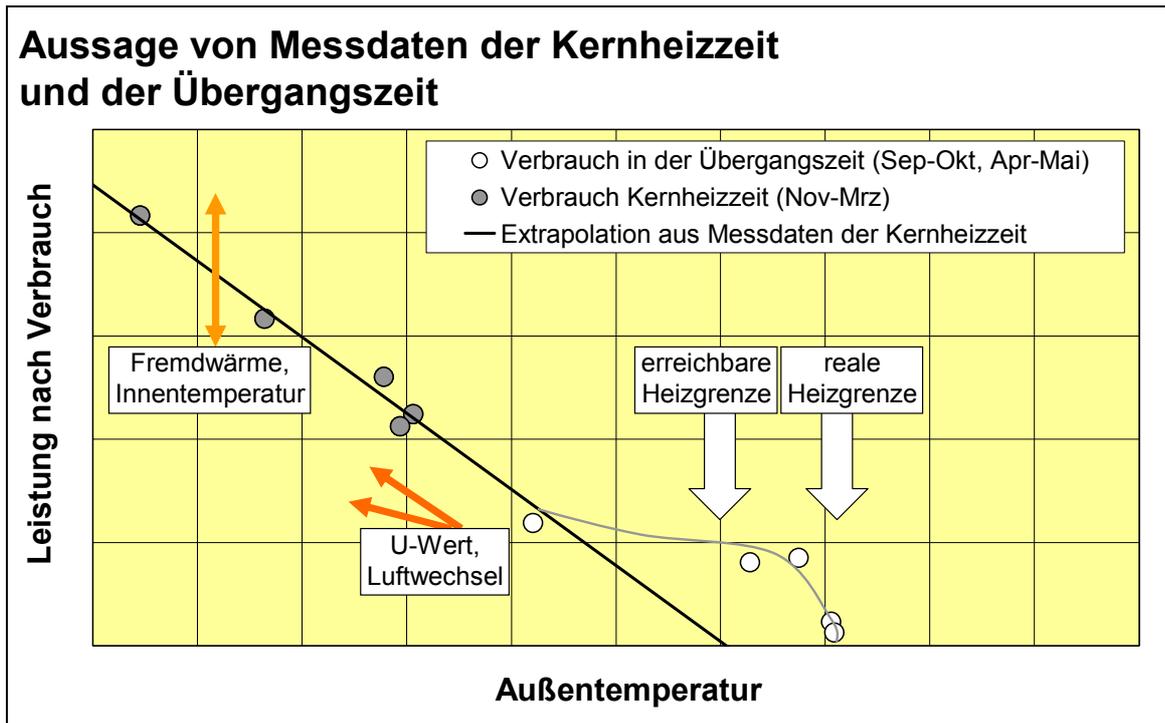


Bild 20 Aussage monatlicher Messdaten

Die Ermittlung von Energiekennwerten aus den Verbrauchsdaten heraus ist eine Nachbildung des Verbrauchsverlaufs. Dies kann wie folgt erfolgen. Zunächst wird die Gleichung (21) aufgestellt. Ziel ist, die freien Parameter dieser Gleichung für die Kernheizzeit so festzulegen, dass die Kurve der realen Messergebnisse möglichst genau nachgebildet wird.

$$\dot{Q}_{\text{intern}} = (\vartheta_i - \vartheta_a) \cdot (U_m \cdot A + n \cdot \rho \cdot c_p \cdot V) - \dot{Q}_{\text{I+S}} \quad (21)$$

Die Größen ϑ_a , $\rho \cdot c_p$ (Stoffwerte der Luft), die Hüllfläche A und das Luftvolumen V des Gebäudes werden als bekannt vorausgesetzt. Ein mittlerer Luftwechsel und der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient, d.h. die Veränderung der bezogenen Last H_{T+V} , bestimmen die Steilheit der Kurve. Eine Variation der Innentemperatur oder der Fremdwärmeleistung verschiebt die Ergebniskurve \dot{Q}_{intern} parallel nach oben und unten. Es lassen sich also jeweils Paare " ϑ_i und $\dot{Q}_{\text{I+S}}$ " sowie " n und U_m " finden, für welche die nachgebildete Leistungskurve genau deckungsgleich mit der Linie (Regressionsgeraden) der Messwerte liegt.

Ist jeweils eine der Größen eines Paares hinreichend genau bekannt, kann auf den anderen Wert geschlossen werden. Kann also z.B. die Innentemperatur – durch Messung oder aus anderen Untersuchungen – recht genau abgeschätzt werden, ergibt sich die Fremdwärmeleistung aus dem Messwerten und umgekehrt. Gleiches gilt für den Luftwechsel n und den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U_m . Die für die Kernheizzeit ermittelten Werte können Aufschluss über die Verhältnisse in der Übergangszeit und über mögliche Einsparpotentiale geben.

Die beschriebenen Schritte der Verbrauchsauswertung werden an ausgewählten Objekten des Projekts nachvollzogen.

3.4.2 Bewertung von Wärmeerzeugern

Zur Detailbewertung von Wärmeerzeugern sind (möglichst) monatliche Messwerte für die Energiezufuhr und –abfuhr eines Wärmeerzeugers notwendig. Im Rahmen des Projekts werden dazu die Werte der vor und nach einem Erzeuger installierten Zähler verwendet (siehe auch Zähleranordnung nach Bild 16).

Verlustkennwerte

Mit den im OPTIMUS-Projekt installierten Messeinrichtungen lassen sich in vielen Anlagen alle wichtigen Kennwerte fossil beheizter Wärmeerzeuger ableiten. Alternativ zur heute üblichen Bewertung von Wärmeerzeugern mit Nutzungsgraden oder Aufwandszahlen kann dazu das Verfahren des "normierten Energieaufwands" [33] verwendet werden. Basis des Verfahrens sind gemessene Nutzenergieabgaben (Output) und Endenergiemengen (Input) der Wärmeerzeuger.

Die Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl als Funktion der Auslastung ergibt stark gekrümmte Verläufe – vor allem im Bereich geringer Auslastungen des Wärmeerzeugers (Bild 21a und b).

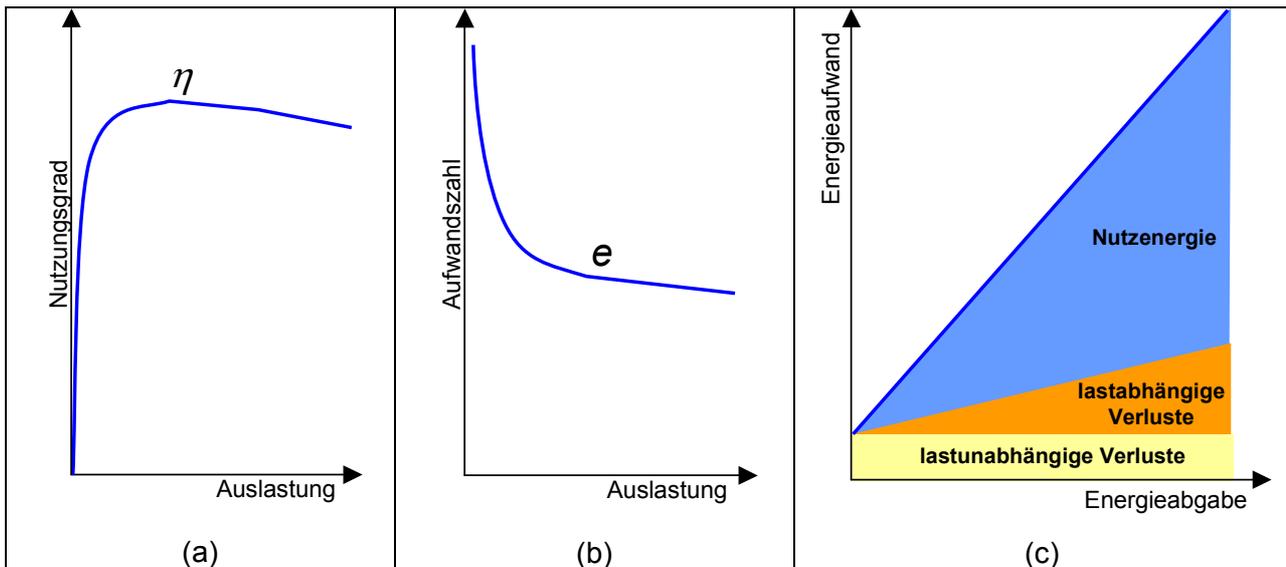


Bild 21 Nutzungsgrad (a), Aufwandszahl (b), Energieaufwand (c)

Die wichtigsten Verlustkennwerte von Heizkesseln sind Abgas- und Abstrahlungsverluste sowie Verluste der inneren Auskühlung. Die Kennwerte können zu Verlusten während des Betriebs (Abgas- und Abstrahlungsverluste) und Betriebsbereitschaftsverlusten (Auskühlung und Abstrahlungsverluste) zusammengefasst werden.

Es gibt verschiedene Darstellungsformen für die Verlustkennwerte, gebräuchlich sind der Nutzungsgrad η und die Aufwandszahl e beide aufgetragen über der Kesselauslastung. Beide Kennwerte sind bezogene Größen, d.h. sie geben keine Auskunft über die absolute Höhe der Verluste.

Stellt man die Verluste in der Form "Energieaufwand" über "Energieabgabe" dar, ergeben sich in erster Näherung lineare Auftragungen (Bild 21c). Die lastabhängigen Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste) nehmen linear mit der Nutzenergieabgabe (= Belastung) des Kessels zu, während die lastunabhängigen Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste) praktisch nicht von der Belastung abhängen.

Erstellung des Diagramms

Will man das Diagramm des "normierten Energieaufwands" anhand von Messwerten erstellen, reichen praktisch 2 Messpunkte aus, um die Gerade zeichnen zu können – ein klarer Vorteil gegenüber der Darstellung des Nutzungsgrades oder der Aufwandszahl. Mit weiteren Messwerten (mehrere Monate) gewinnt die Auswertung zusätzlich an Sicherheit.

Es werden für den Kessel somit zunächst die absoluten Wärmemengen (Input, Output) für den Erzeuger erfasst. Monatliche Messwerte eignen sich dafür. Anschließend werden die Messwerte nach Gleichung (22) und (23) normiert.

Dazu werden sowohl die monatlich gemessene Feuerungswärmemenge Q_{Feuerung} (Brennstoffverbrauch mal Brennwert) als auch die Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} (Wärmemengenzählerwerte) des untersuchten Wärmeerzeugers auf die maximal mögliche Energieabgabe (Produkt aus Kessel-nennleistung \dot{Q}_K und Zeit eines Monats t_B) bezogen.

$$w_{\text{auf}} = \frac{Q_{\text{Feuerung}}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad (22)$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot t_B} \quad (23)$$

Die beiden entstehenden Größen sind der normierte Energieaufwand w_{auf} und die Kessel-Auslastung β . Alle Monatswerte werden in ein Diagramm eingetragen und durch eine Ausgleichs-gerade verbunden, siehe Bild 22.

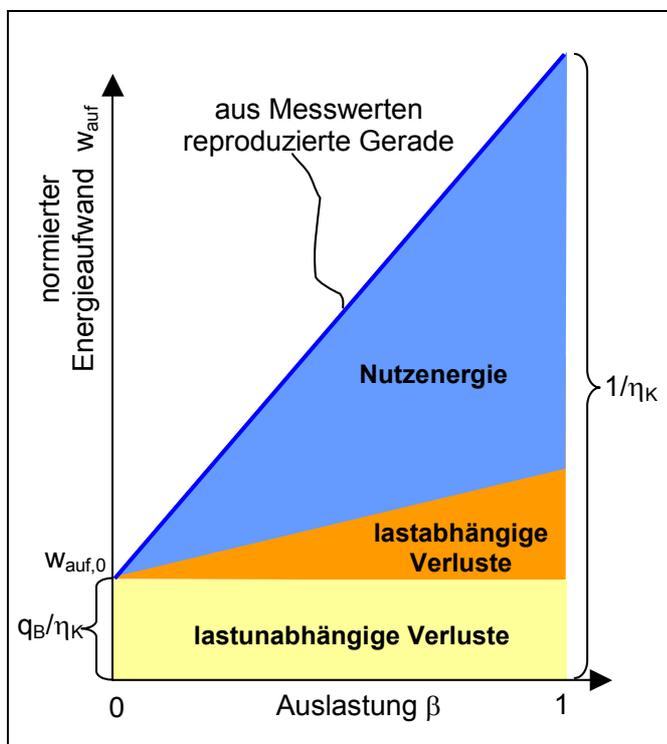


Bild 22 Ermittlung bekannter Kennwerte

Die Auftragung kann auch für andere Arten von Wärmeerzeugern, z.B. Fernwärmestationen, erfolgen. Die lastabhängigen Verluste sind entsprechend dort praktisch null.

Ermittlung bekannter Kennwerte

Aus der Geraden nach Bild 22 können anschließend sehr einfach bekannte Energiekennwerte ermittelt werden. Der Kesselwirkungsgrad im Betrieb η_K ergibt sich beispielsweise bei einer Auslastung von 100 % ($\beta = 1$). Er wird nach Gleichung (24) aus dem normierten Energieaufwand bei Voll-last $w_{\text{auf}}(\beta = 1)$ bestimmt.

$$\eta_K = \frac{\text{Kesselleistung}}{\text{Feuerungsleistung}} = \frac{1}{w_{\text{auf}}(\beta = 1)} \quad (24)$$

Den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse nennt man den normierten Energieaufwand bei Null-last $w_{\text{auf},0}$. Aus dieser Kenngröße kann nach Gleichung (25) der mittlere Betriebsbereitschaftsverlust berechnet werden.

$$q_B = \eta_K \cdot W_{\text{auf},0} \quad (25)$$

Mit Hilfe des normierten Energieaufwands w_{auf} kann auch der mittlere Nutzungsgrad η_a bestimmt werden. Es wird zunächst die Energiemenge Q_{Nutz} bestimmt, die der Kessel im Verlauf eines Standardjahres abgeben muss. Mit Hilfe der Gleichung (26) wird dann eine mittlere Belastung β_m des Erzeugers berechnet. Dazu wird die benötigte Nutzenergieabgabe des Kessels Q_{Nutz} (ggf. mit Warmwasserbereitung) durch die Kesselnennleistung \dot{Q}_K und die Heiztage t (oder Tages eines Jahres) geteilt.

$$\beta_m = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot t} \quad (26)$$

Für die sich ergebende Belastung β_m wird der normierte Energieaufwand $w_{\text{auf},m}$ aus dem Diagramm (Bild 22) bestimmt. Und nach Gleichung (27) der mittlere Nutzungsgrad berechnet.

$$\eta_a = \frac{\beta_m}{w_{\text{auf},m}} \quad (27)$$

Die beschriebenen Schritte der Erzeugerbewertung werden an ausgewählten Objekten des Projekts nachvollzogen.

3.5 Grundlagen Wirtschaftlichkeitsberechnung

Da die Qualität eines Gebäudes den Energieverbrauch auf mehrere Jahre festlegt, muss eine dynamische Berechnung erfolgen, mit der Preissteigerungen und zeitliche Unterschiede im Anfall der Kosten und Erlöse berücksichtigt werden können. Ein mögliches Gesamtkostenverfahren ist im Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung LEG des hessischen Umweltministeriums [22] publiziert. Die dort beschriebene dynamische Gesamtkostenbilanz basiert auf der heute häufig eingesetzten Kapitalwertmethode. Sie wird zur Bewertung der Optimierung im Rahmen des Projektes verwendet.

Jahresgesamtkosten

Bilanziert werden die annuitätisch bestimmten Kapitalkosten K_i , die mittleren jährlichen Energiekosten $K_{e,m}$ sowie die mittleren jährlichen Wartungs- und Unterhaltskosten $K_{u,m}$ während einer definierten Nutzungsdauer. Sie ergeben zusammen die mittleren Jahresgesamtkosten K_a .

$$K_a = K_i + K_{e,m} + K_{u,m} \quad (28)$$

Kapitalkosten

Unter den Kapitalkosten K_i werden die Zahlungen für Tilgung und Zinsen des eingesetzten Kapitals verstanden. Sie ergeben sich aus den Investitionskosten zzgl. aller anfallenden Verwaltungskosten, Versicherungskosten usw. Vermindert werden die Investitionskosten um Zuschüsse und Subventionen sowie alle steuerlichen Absetzungs- und Abschreibungsmöglichkeiten. Soll eine Qualitätssicherung bewertet werden, dann umfassen die Investitionskosten nur den Anteil der Kosten, welcher der QS tatsächlich zuzuschreiben sind (Zusatzkosten).

Die Investitionskosten I_0 werden mit Hilfe des Annuitätsfaktors $a_{p,n}$ auf jährlich gleich hohe Raten über den Betrachtungszeitraum n verteilt. Zusätzlich wird bei einer Mischinvestition jede Einzelinvestition mit einem Faktor für Ersatzbeschaffung $f_{p,s,m,n}$ bewertet. Der Annuitätsfaktor $a_{p,n}$ wird durch den Kapitalzinssatz p für Fremd- oder Eigenkapital (ggf. inklusiv vorhandener Zinsvergünstigungen, z.B. durch private oder staatliche Förderprogramme) bestimmt.

$$K_i = \Sigma(I_0 \cdot a_{p,n} \cdot f_{p,s,m,n}) \quad (29)$$

$$a_{p,n} = \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}} \quad (30)$$

In Mischinvestitionen, d.h. bei Investitionen mit unterschiedlich langen Nutzungsdauern wird die innerhalb des Betrachtungszeitraumes notwendige Ersatzbeschaffung für die kürzerlebigen Komponenten durch den Faktor $f_{p,s,m,n}$ berücksichtigt. Bei der Bestimmung des Faktors werden der Betrachtungszeitraum n , die gegenüber n kürzere Nutzungsdauer m , der Kapitalzinssatz p und die jährliche Preissteigerung der Anlagenkosten s_a für die zu ersetzende Komponente berücksichtigt.

$$f_{p,s,m,n} = 1 + \left(\frac{1+s_a}{1+p} \right)^m \cdot \frac{1 - (1+p)^{-(n-m)}}{1 - (1+p)^{-m}} \quad (31)$$

Bei Mischinvestitionen entspricht der Betrachtungszeitraum n der Gesamtinvestition der längsten Nutzungsdauer m aller vorhandenen Komponenten. Wenn Betrachtungszeitraum n und Nutzungsdauer m gleich lang sind, dann gilt: $f_{p,s,m,n} = 1$.

Energiekosten

Die mittleren Energiekosten $K_{e,m}$ im Betrachtungszeitraum werden aus den Endenergiemengen je nach Energieträger Q_E und dem mittleren zu erwartenden Energiepreis $k_{e,m}$ bestimmt. Wird die Wirtschaftlichkeit einer Qualitätssicherungsmaßnahme untersucht, ist für Q_E nur die durch die Optimierung eingesparte Energiemenge einzusetzen.

$$K_{e,m} = \Sigma(Q_E \cdot k_{e,0} \cdot m_e) = \Sigma(Q_E \cdot k_{e,m}) \quad (32)$$

Der mittlere Energiepreis $k_{e,m}$ ist das Produkt des Energiepreises zum Zeitpunkt der Investition $k_{e,0}$ und einem Mittelwertfaktor der Energiepreisverteuerung m_e . Dieser wird von drei Faktoren bestimmt: der jährlichen Teuerungsrate der Energie s_e , der Länge des Betrachtungszeitraumes n und von der Höhe des Kalkulationszinssatzes p .

$$m_e = \frac{1+s_e}{p-s_e} \cdot \left(1 - \left(\frac{1+s_e}{1+p} \right)^n \right) \cdot a_{p,n} = \frac{1+s_e}{p-s_e} \cdot p \cdot \frac{(1+p)^n - (1+s_e)^n}{(1+p)^n - 1} \quad (33)$$

Wartungs- und Unterhaltskosten

Die Kosten für Wartung und Unterhalt können aus Wartungsverträgen entnommen werden oder aufgrund von Herstellerangaben, Erfahrungswerten oder Richtlinien abgeschätzt werden. Es gibt dabei z.B. die Möglichkeit, die Wartungskosten als prozentualen Wert auf die Investition abzuschätzen. Aus den Kosten für Wartung und Unterhalt zum Zeitpunkt der Investition $K_{u,0}$ werden mit dem Mittelwertfaktor der Verteuerung m_u die mittleren Kosten im Betrachtungszeitraum $K_{u,m}$ bestimmt.

$$K_{u,m} = \Sigma(K_{u,0} \cdot m_u) \quad (34)$$

Der Mittelwertfaktor der Verteuerung der Wartung und des Unterhaltes (allgemein der Instandhaltung, ohne Instandsetzung) m_u bestimmt sich analog dem Ansatz für m_e nach Gleichung (33). Anstelle der Teuerungsrate für Energie s_e ist die jährliche Teuerungsrate für Unterhaltskosten s_u einzusetzen.

4 Objektwahl und Messgeräteausstattung

Nachfolgend wird erläutert, nach welchen Gesichtspunkten die am OPTIMUS-Projekt teilnehmenden Gebäude ausgewählt wurden, wie die eigentliche Objektwahl ablief und welche Gebäude letztlich bis zum Projektende betreut und untersucht wurden. Die Ausstattung der Gebäude und Anlagen mit Messeinrichtungen wird beschrieben, die resultierenden Kosten zusammengestellt.

4.1 Objektwahl

4.1.1 Auswahlkriterien für geeignete Gebäude

Die Festlegung von Auswahlkriterien für die Gebäude erfolgte wie im erweiterten Manuskript für den Förderantrag vom Februar 2001 beschrieben. Ursprünglich sollten folgende Gebäude- und Anlagenkombinationen untersucht werden:

"Das Untersuchungs- und Erhebungsdesign sieht folgende Kriterien bei der Auswahl der entsprechenden Gebäudeobjekte vor: Für eine ‚sichere‘ Aussage zum Einfluss der Planungs- und Ausführungsqualität (Schwerpunkt Hydraulischer Abgleich) auf den Heizenergieverbrauch sollten mindestens 10 Anlagen einer Kategorie über zwei Heizperioden hinsichtlich ihres Verbrauchs für Heizung (Wärmemengenzähler) und Warmwasser (Wasser- oder Wärmemengenzähler) sowie für elektrische Hilfsenergien durchgemessen werden.

Einfamilienhaus								Mehrfamilienhaus							
Bestand				Neubau				Bestand				Neubau			
Öl/Gas		Fernwärme		Öl/Gas		Fernwärme		Öl/Gas		Fernwärme		Öl/Gas		Fernwärme	
<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>	<u>o.</u>	<u>m.</u>

Legende: o. = ohne Qualitätssicherung; m. = mit Qualitätssicherung

Da auf die verschiedenen Untersuchungen der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel zurückgegriffen werden kann, sind nur für die unterstrichenen Kategorien Messeinrichtungen vorzusehen, d. h. für 70 Anlagen."

Diese Planung wurde noch im Rahmen der Projektbeantragung präzisiert. Es ergibt sich danach eine feinere Aufteilung der Gebäudealtersgruppen:

- Gebäude und Anlagen vor 1978
- Gebäude und Anlagen 1978 bis 1994
- Gebäude und Anlagen im Neubau (ab 1995 bis EnEV inkl. des sog. Niedrigenergiestandards)
- Gebäude und Anlagen im Ultraniedrigenergiehaus-, Dreiliterhaus- und Passivhausstandard.

Dies vervielfältigt die Objektklassen auf 32. Dabei ist zu bemerken, dass ggf. nicht zu jeder Klasse eine derartige Vielzahl von Objekten untersucht werden kann, so dass statistische Sicherheit erlangt wird. Für einige dieser Klassen – v. a. für die letztgenannte – wird die Untersuchung eine exemplarische, die Kerninformationen der statistisch sichereren Untersuchungen werden jedoch sicherlich auch auf andere Objektklassen übertragbar sein.

Diskussion der Kriterien zu Projektbeginn

Nach Projektbeginn wurde im Einvernehmen aller Projektbeteiligten die Gruppe der „Ultra-Niedrigenergiehäuser, Dreiliterhäuser und Passivhäuser" für die Untersuchung als nicht praktikabel angesehen. Folgende Begründung wurde gegeben: in dieser Gruppe befinden sich in Deutschland nur sehr wenige Objekte, die überwiegend in begleiteten Projekten geplant und gebaut wurden. Durch die Intensive Begleitung bei Planung und Bau dieser Gebäude weisen diese Gebäude eine sehr hohe Qualität auf. Die Gebäude und Ihre Anlagentechnik sind daher für den Gebäudebestand in Deutschland als nicht repräsentativ anzusehen, demzufolge können auch Aussagen in

Bezug auf Energieeinsparung durch Qualitätssicherung nicht auf andere Gebäude übertragen werden.

Weiterhin wird auf die Untersuchung von Gebäuden mit Solartechnik - die vielfach ebenfalls in dieser letzten Altersgruppe zu finden ist - zunächst verzichtet. Solartechnik stellt immer noch einen Sonderfall dar und ist nicht typisch für die in Deutschland vorhandene Gebäudestruktur. Weiterhin wäre die messtechnische Überwachung von Gebäuden mit Solartechnik mit einem ungleich höheren finanziellen Aufwand verbunden, der im Rahmen der gegebenen Projektmittel nicht finanzierbar wäre.

Daneben wurde vor allem auch die Frage erörtert, ob auch Wandkessel mit eingebauter Umwälzpumpe ausgewählt werden sollten. Diese Geräte sind nur bedingt geeignet, mit einer elektronisch geregelten Pumpe betrieben zu werden. Vor diesem Hintergrund wäre eine Optimierung der Heizungsanlage also nur eingeschränkt oder mit größerem Kostenaufwand möglich. Der momentane Stand der Technik bringt es aber mit sich, dass eben diese erwähnten Wandkessel sehr stark am Markt vertreten sind und ihre Anzahl in Zukunft wohl eher noch stark zunehmen wird. Ein Nichteinbeziehen dieser Anlagentypen würde daher entgegen der real vorzufindenden Anlagentechnik verlaufen. Alle Beteiligten kamen daher schließlich zu der Überzeugung, diese Geräte im Rahmen des Projektes zu berücksichtigen.

Endgültige Kriterien für die Gebäudeakquise

Nach der Vorplanung wurden anhand der nachfolgend zusammengestellten Kriterien die teilnehmenden Gebäude akquiriert.

- es muss sich um reine Wohngebäude handeln
- maximal 18 Wohneinheiten (in dem gemessenen Gebäudeteil)
- der Energieverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasser muss einzeln und separat für dieses Gebäude durch Wärmemengenzähler erfassbar sein
- Gebäude mit Kessel oder Fernwärmeanschluss
- keine Fußbodenheizung, keine Solartechnik, Zweirohrheizung
- im kompletten Untersuchungszeitraum dürfen keine Änderungen am Gebäude, der Anlagentechnik und bei der Nutzungsart vorliegen

Der Zustand der Qualitätssicherung in der Anlage war zu Projektbeginn unbekannt.

4.1.2 Kampagnen zur Objektakquise

Die am Projekt teilnehmenden Gebäude wurden auf verschiedene Art akquiriert: ein Teil der Einfamilienhäuser hat bereits an einem früheren DBU-Projekt ("Brennwertkessel") teilgenommen, andere Gebäude wurde durch Verteilung von Informationsbroschüren auf Tagungen (Wohnungswirtschaft) bzw. über Kontakte zu Wohnbaugesellschaften und Stadtwerken angeworben. Die dabei verteilten Informationsunterlagen befinden sich im Anhang.

Wilhelmshaven

Die Akquise in Wilhelmshaven erfolgte zum größten Teil durch direkte Ansprache von Kunden der Innungsbetriebe. Neben den privaten Hausbesitzern konnten drei große Bauvereine bzw. Baugesellschaften zur Teilnahme gewonnen werden:

- Bauverein Rüstringen, Störtebekerstraße 1, 26382 Wilhelmshaven
- Spar- und Baugesellschaft, Grenzstraße 29-35, 26382 Wilhelmshaven
- Wohnungsbaugesellschaft JADE, Lessingstraße 2, 26382 Wilhelmshaven.

Es wurden ausführliche Gespräche mit den Kunden geführt und für Information und Aufklärung gesorgt. Neben der direkten Ansprache erfolgt auch ein Aufruf in der Wilhelmshavener Zeitung. In Wilhelmshaven besteht keine Möglichkeit, Gebäude mit Fernwärmeversorgung anzuwerben.

Bereich Wolfenbüttel, Braunschweig, Wolfsburg, Hannover

Bei der Akquise der Gebäude in den o. g. Bereichen handelte es sich überwiegend um mit Fernwärme versorgte Ein- und Mehrfamilienhäuser.

Bei den fernwärmeversorgten Mehrfamilienhäusern (Wohnbaugesellschaft Nibelungen, Braunschweig sowie Stadtwerke Wolfsburg und Wohnbaugesellschaft Neuland, Wolfsburg) erfolgte eine Begrenzung der Größe auf maximal 18 Wohneinheiten. Hierdurch wird sichergestellt, dass trotz begrenzter finanzieller Mittel möglichst viele Gebäude am Projekt teilnehmen können. Um dennoch Gebäude berücksichtigen zu können, welche mehr als 18 Wohneinheiten aufweisen, wurden bei Gebäuden dieser Größe einzelne Teilstränge stellvertretend messtechnisch erfasst.

Ein Teil der Einfamilienhäuser in der Region wurden aus dem DBU Projekt "Brennwertkessel" angeworben. Die in diesen Fällen bereits vorhandene Messtechnik kann im OPTIMUS-Projekt weiter genutzt werden.

Bremen

Da sich Engpässe in der Akquise fernwärmebeheizter Objekte abzeichneten, wurde die Suche zusätzlich in Bremen aufgenommen. Die Suche nach Einfamilienhäusern wurde durch Verteilung eines Schreibens direkt in fernwärmeversorgten Gebieten der gesuchten Altersklassen aufgenommen. Parallel dazu wurde ein Kontakt zur Bremer Wohnungsbaugesellschaft Gewoba hergestellt.

4.1.3 Gewählte Gebäude

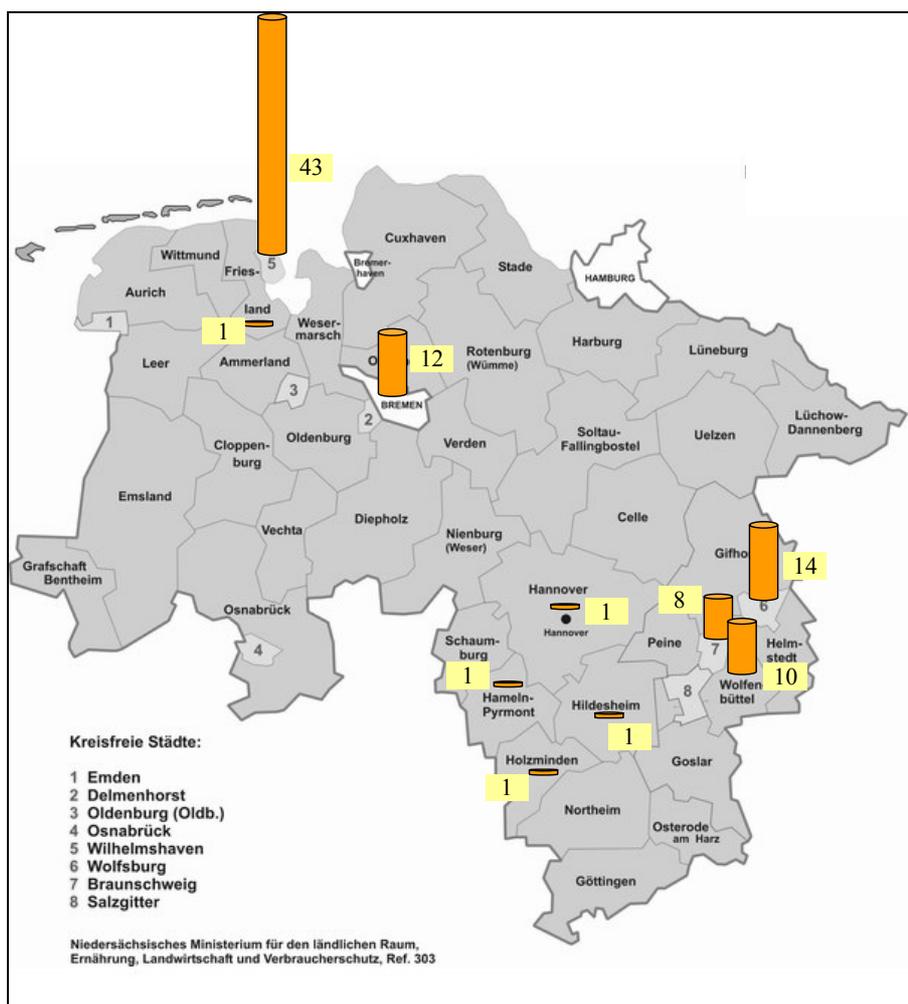


Bild 23 Standorte der angeworbenen Gebäude (incl. später ausgeschiedenen)

Insgesamt konnten 92 Gebäude für das Projekt angeworben werden. Die in der Studie betrachteten Gebäude befinden sich im Raum Norddeutschland in den Regionen Wilhelmshaven, Bremen, Hannover, Wolfenbüttel, Braunschweig und Wolfsburg. Die Gebäudestandorte (nach Landkreisen) zeigt Bild 23.

Die Klassifizierung der Gebäude nach den drei wesentlichen Merkmalen: Baualter, Gebäudetyp und Art der Energieversorgung zeigt Tabelle 7. Der Schwerpunkt der Baualtersklassen liegt bei den ältesten Gebäuden, da hier die größten Einsparpotentiale durch Optimierung erwartet wurden.

Baualtersklasse	EFH			MFH			Alle		
	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle
1: älter als 1978	18	8	26	15	6	21	33	14	47
2: 1978-1994	7	2	9	4	7	11	11	9	20
3: neuer als 1994	13	4	17	2	6	8	15	10	25
alle	38	14	52	21	19	40	59	33	92

Tabelle 7 Klassifizierung der akquirierten Gebäude nach wesentlichen Merkmalen

Mehrere Gebäude sind im Laufe der Projektbearbeitung ausgeschieden. Gründe dafür sowie die endgültige Zusammenstellung der Gebäude befinden sich im nächsten Abschnitt.

Hinweise zu den Baualtersklassen

Die Gebäude wurden anhand ihres Baualters einer bestimmten Altersklasse zugeordnet. Dies erfolgte unabhängig von einer evtl. nachträglich vorgenommenen Teilmodernisierung.

Baualtersklasse 1 umfasst die Baujahre vor 1978, d.h. Gebäude, die vor Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung erstellt wurden. Zur Baualtersklasse 3 zählen dagegen alle Gebäude, die nach Wärmeschutzverordnung von 1995 bzw. EnEV erstellt wurden. Entsprechend umfasst die 2. Baualtersklasse die Gebäude mit dazwischen liegenden Baujahren.

Hinweise zur Energieversorgung

Die Energieversorgung der im OPTIMUS-Projekt betrachteten Gebäude erfolgt mit Fernwärme oder Gas bzw. Ölkessel. Gas- und Ölversorgung werden beispielsweise bei der Kennwertbildung zusammengefasst betrachtet, da unter den Gebäuden nur zwei ölbeheizte Mehrfamilienhäuser vorhanden sind.

Gebäudeschlüssel

Die Bezeichnung der Gebäude erfolgt nach einem anonymisierten Gebäudeschlüssel. Eine Erläuterung der Kürzel zeigt Bild 24.

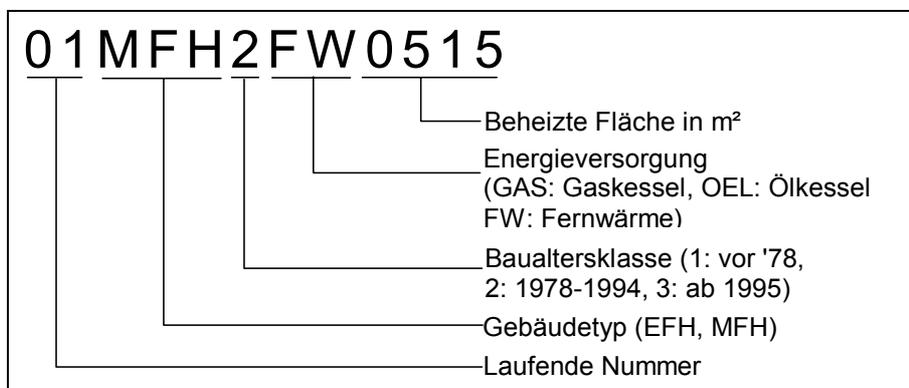


Bild 24 Gebäudeschlüssel

4.1.4 Während der Laufzeit ausgeschiedene Gebäude

Im Verlauf der Projektbearbeitung sind mehrere Gebäude (06EFH, 08EFH, 11EFH, 15EFH, 16EFH, 17EFH, 29EFH, 40EFH, 53MFH, 54MFH, 72MFH, 75MFH, 85EFH, 87EFH, 93EFH, 95EFH und 97EFH) aus der energetischen Untersuchung teilweise oder vollständig ausgeschieden. Folgende Gründe können dafür angegeben werden:

- es fehlen Messwerte aus der zweiten Messperiode, z.B. weil der Nutzer kein Interesse mehr an der Teilnahme hat (9)
- es fehlen Messwerte aus der ersten Messperiode (4)
- bauliche Änderungen, daher sind Energiekennwerte nicht auswertbar (1)
- anlagentechnische Änderungen, daher sind Energiekennwerte nicht auswertbar (1)
- die Zählermessdaten sind nicht plausibel bzw. Zähler defekt (1)
- es konnte bei Projektbeginn kein Termin für die Aufnahme vereinbart werden (1)

Für insgesamt drei dieser Gebäude (08EFH, 93EFH und 95EFH) kann gar keine energetische Auswertung durchgeführt werden, für die anderen 14 Gebäude kann nur eine Messperiode ausgewertet werden. Für die vergleichende OPTIMUS-Untersuchung des Energieverbrauchs zweier aufeinander folgender Messperioden kommen diese 17 Gebäude nicht in Betracht.

Die Klassifizierung der verbleibenden 75 energetisch auswertbaren Gebäude mit zusammen etwa 35.000 m² beheizter Fläche zeigt Tabelle 8.

Baualtersklasse	EFH			MFH			Alle		
	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle
1: älter als 1978	15	7	22	13	6	19	28	13	41
2: 1978-1994	6	1	7	4	7	11	10	8	18
3: neuer als 1994	8	2	10	0	6	6	8	8	16
alle	29	10	39	17	19	36	46	29	75

Tabelle 8 Klassifizierung der energetisch auswertbaren Gebäude nach wesentlichen Merkmalen

4.1.5 Resonanz in der Öffentlichkeit

Ein zum Projektauftritt und auch zur Gebäudeakquise in Wilhelmshaven veröffentlichter Artikel (Bild 25) führte zu ungeahnter Resonanz in der Öffentlichkeit. Bei den großen Wohnbaugesellschaften in Wilhelmshaven – die bis dahin eine gute Geschäftsbeziehung zur Innung Wilhelmshaven pflegten – gingen etliche verärgerte Anrufe von Mietern ein. Sie fühlten sich wegen der vorhandenen "nicht optimalen Technik" und somit zu hoher Energiekosten betrogen.

Keine der großen Wilhelmshavener Wohnbaugesellschaften wollte nach der Veröffentlichung des Artikels noch am Projekt teilnehmen. Es bestanden Bedenken, die Mieter legten eine Teilnahme falsch aus: die Gebäude und Anlagen seien schlecht.

Nach klärenden Gesprächen wurden diese Bedenken ausgeräumt und später fast 50 Gebäude in Wilhelmshaven als Projektteilnehmer gewonnen.

Handwerk Vorreiter für Energieeinspar-Projekt

Heizungsbauer beteiligen sich an Qualifizierungsmaßnahme

Wohnungsheizungen arbeiten in der Regel nicht effektiv genug. Somit wird zuviel an Gas, Öl oder Kohle verbraucht, die Leute schicken ihr Geld buchstäblich unnütz durch den Schornstein.

15 bis 30 Prozent, davon ist Prof. Dr. Dieter Wolf, Leiter des Instituts für Heizung- und Klimatechnik an der Fachhochschule Wolfenbüttel, überzeugt, könnten eingespart werden. Ein Mittel wäre, dass in Neubauten optimierte konventionelle Heizungsanlagen eingebaut bzw. Altanlagen nachgebessert werden.

Der andere Hebel setzt beim besseren Gebrauch an: Die Heizungen müssten besser eingestellt und bedient werden. Wolff sieht das Heizungsbauerhandwerk und die Heizungsnutzer in der Pflicht. Die Argumente des Wolfenbütteler Professors haben die Wilhelmshavener Heizungsbauer-Meister überzeugt. Obermeister Eckhard Stein, der in Wolfenbüttel studierte, und seine Innungskollegen stellten sich deshalb als Partner für das Projekt „Optimus“ (Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energiesparpotenzialen) zur Verfügung.

30 Wohngebäude, darunter sowohl Einfamilienhäuser als

auch größere Mehrfamilienhäuser, stehen zwei Jahre lang unter Beobachtung. Während der kommenden Heizperiode wird festgestellt, wieviel Energie zurzeit verbraucht wird. Im Sommer nächsten Jahres werden die Heizungsanlagen optimiert und während des folgenden Winters optimal bedient. Anschließend werden die Werte beider Versuchsjahre miteinander verglichen.

Für die Ergebnisse wird man sich deutschlandweit interessieren. Weil weniger Energieverbrauch eine Entlastung der Umwelt ergibt, fördert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt das Projekt durch die Übernahme der Hälfte der Kosten. Derzeit verbrauchen die Deutschen 60 Prozent ihrer Primärenergie für die Heizung und Warmwasserbereitung.

Der Verbrauch soll sich nach dem Willen des Gesetzgebers verringern. Zum 1. Februar trat die Energieeinsparverordnung in Kraft, die den Druck für Hausbesitzer, in Wärmedämmung und bessere Heizungstechnik zu investieren, erhöht hat.

Da dem Heizungsbauerhandwerk und seiner besseren Qualifizierung eine entscheidende Rolle beim Erreichen des Energie-Einsparzieles zugemessen wird, sind die Forschungsgruppe Praxisna-

he Berufsbildung an der Universität Bremen und die Berufsbildenden Schulen II Aurich mit im Projekt-Boot. Technischer Sachverstand wird zudem von einem der weltweit größten Pumpenhersteller, WILO aus Dortmund, beige-steuert.

Für den Kunden mache sich die Wahl einer optimalen Heizungsanlage oder die nachträgliche Verbesserung bezahlt, versichert Hoppe.

Drei Faktoren sind es in der Regel, die laut Hoppe zur Energieverschwendung führen: der oftmals unterlassene hydraulische Abgleich mit dem Effekt, dass die Heizungsanlage gegen physikalische Gegebenheiten anarbeitet, die Überdimensionierung der Heizungsflächen und elektronisch nicht regelbare Pumpen, die unnützer Weise ständig volle Leistung fahren.

„Heizungsanlagen müssen auch im Handwerk künftig stärker als System und weniger in seinen einzelnen Komponenten begriffen werden“, meinte Peter Gwildies, Geschäftsführer der Kreishandwerkerschaft, und lobte die Innovationsbereitschaft.

Durch Wärmedämmung oder die Nutzung von Solarenergie kann der Primärenergieverbrauch zusätzlich erheblich gesenkt werden. Das jedoch ist nicht Gegenstand der Untersuchung. si

Bild 25 Auszug aus Wilhelmshavener Zeitung vom 31.08.2002

4.2 Messgeräteausstattung

91 der am Projekt teilnehmenden Häuser wurden neben den vorhandenen Zählern mit zusätzlichen Messeinrichtungen ausgestattet. Diese ermöglichen im besten Fall eine getrennte Bewertung der verbrauchten Energiemengen für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung, des Wärmeerzeugers und der Hilfsenergien.

Ausgewertet werden:

- primäre Gaszähler für Heizung (ggf. mit Trinkwarmwasserbereitung)
- primäre Wärmemengenzähler (ggf. mit Trinkwarmwasserbereitung)
- Wärmemengenzähler für die Heizwärme
- Wärmemengenzähler für die Trinkwarmwasserwärme
- Stromzähler für den Verbrauch des Technikstroms.

4.2.1 Lage der Zähler

Je nach Art der Versorgung des Gebäudes mit Gas, Öl oder Fernwärme ergeben sich verschiedene Arten der Zähleinrichtungen. Die im Projekt vorkommenden Möglichkeiten zeigt Bild 26.

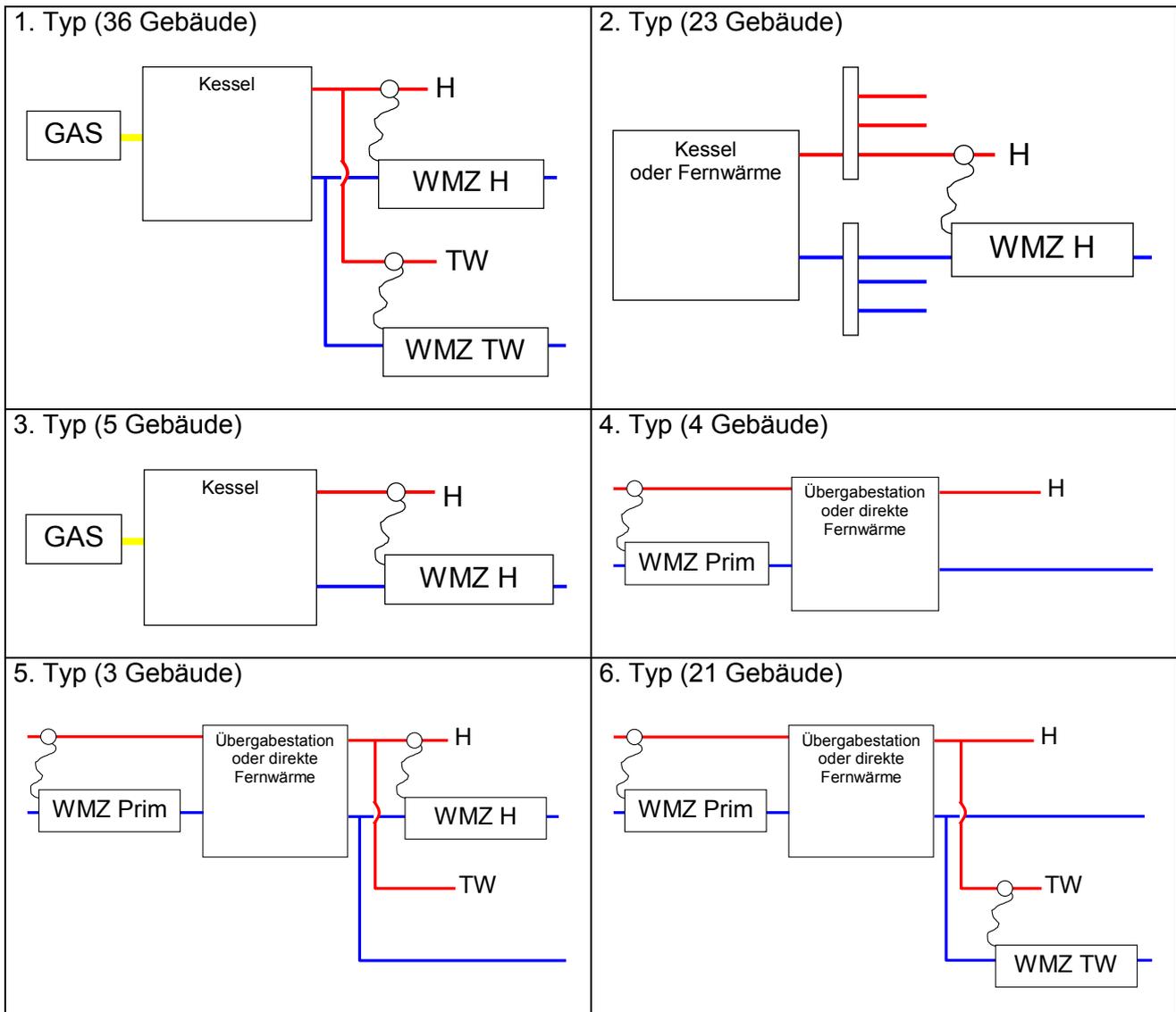


Bild 26 Lage der Zähler

1. Typ

In den nach diesem Typ ausgestatteten 36 Gebäuden werden die zugeführte Gasmenge sowie die Wärmeabgaben des Kessels für Heizung und Trinkwarmwasser getrennt erfasst. Dies ermöglicht sowohl die getrennte Bewertung des beheizten Bereichs (Wärmeabgabe für Heizung) als auch die Berechnung der Effizienz des Wärmeerzeugers.

2. Typ

In 23 Gebäuden wird nur die Heizwärme (Wärmeabgabe des Erzeugers für Heizung) messtechnisch ausgewertet. Dies betrifft beispielsweise die Mehrfamiliengebäude, in denen nur ein Heizwärmestrang (Teilgebäude) messtechnisch erfasst wird, weil die Gebäude insgesamt zu groß waren.

Des Weiteren sind nach diesem Typ auch 8 Etagenwohnungen ausgestattet worden. Zunächst wurde für diese acht Anlagen vorgesehen, die Energie für die Heizung und auch die Warmwasserversorgung getrennt zu erfassen. Im Verlaufe der Ausrüstung mit den Wärmemengenzählern zeigte sich aber, dass die Erfassung der Energie für die Trinkwarmwassererzeugung nur möglich ist, wenn die Anlagen mit viel Aufwand umgebaut werden. Es wurde daher entschieden, die Trinkwarmwasserversorgung in diesen Anlagen nicht zu erfassen.

Andere Daten (z.B. Gaszähler) werden in diesen Gebäuden nicht ausgewertet, aber teilweise trotzdem erfasst. Weil nicht alle Wärmeabgaben der Wärmeerzeuger bekannt sind, ist keine Effizienzbewertung der Wärmeerzeuger möglich.

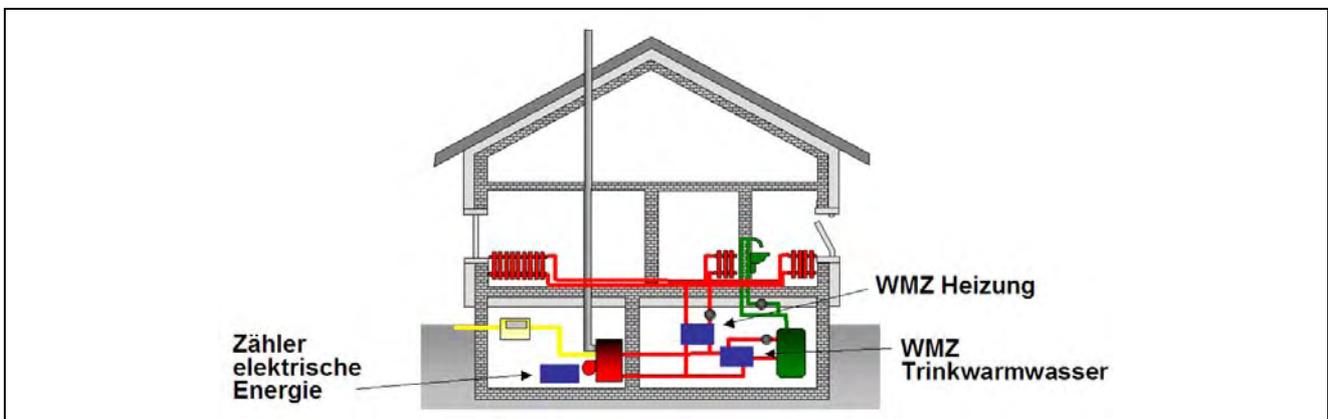


Bild 27 Wärmemengenzähler und Elektrozähler

3. Typ

Die 5 nach diesem Typ ausgestatteten Gebäude weisen keine zentrale Trinkwarmwasserbereitung mit dem Kessel auf. Sie sind beispielsweise mit dezentral elektrischer Warmwasserbereitung ausgestattet. Hier kann die Effizienz des Kessels bestimmt werden.

4. Typ

In 4 mit Fernwärme versorgten Gebäuden mussten keine Zähler nachgerüstet werden. Weil sie mit dezentraler Warmwasserbereitung ausgestattet sind, erfasst der Primärzähler bereits die Heizwärme (incl. eines geringen Anteils für die Verluste der Übergabestation).

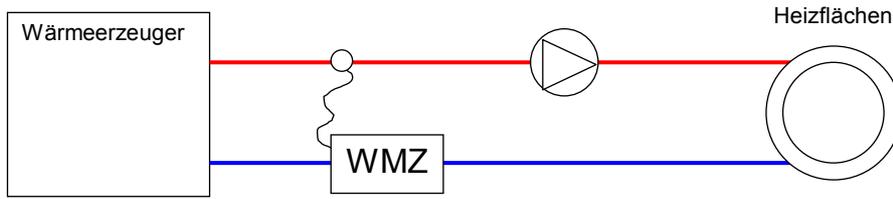
5. Typ

In 3 Gebäuden mit Fernwärmeanschluss wird neben der Primärenergie noch der Anteil für die Heizung separat gemessen. Durch Differenzbildung kann die Trinkwarmwasserwärme ermittelt werden (incl. eines geringen Anteils für die Verluste der Übergabestation).

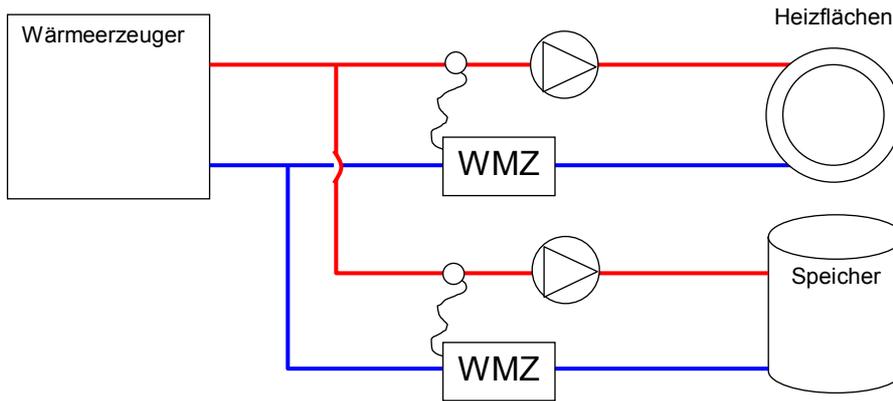
6. Typ

In 21 Gebäuden mit Fernwärmeanschluss wird neben der Primärenergie noch der Anteil für die Trinkwarmwasserbereitung separat gemessen. Durch Differenzbildung kann die Heizwärme ermittelt werden (incl. eines geringen Anteils für die Verluste der Übergabestation). Für die mit Kessel ausgestatteten Gebäude zeigt Bild 28 die genaue Einbaulage der sekundären Wärmemengenzähler – je nachdem ob Anlagen ohne Mischerkreis, mit Drei- oder Vierwegemischer ausgestattet sind.

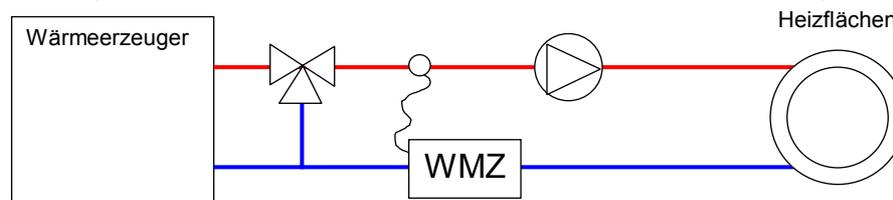
a) Anlage ohne Mischerkreis und ohne zentrale Trinkwarmwasserbereitung



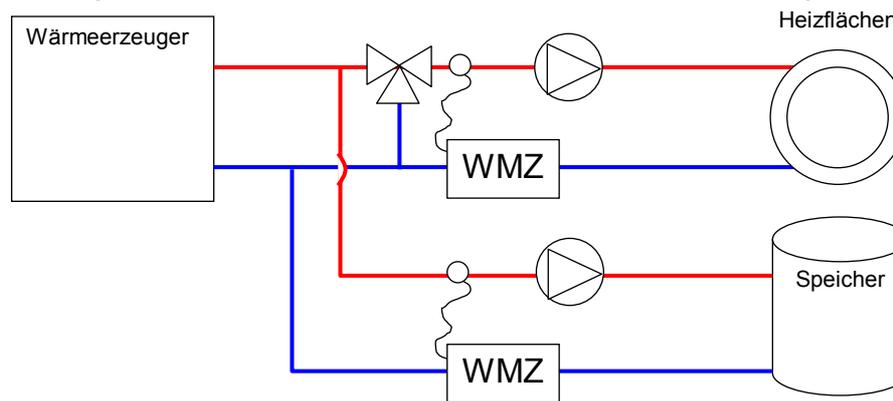
b) Anlage ohne Mischerkreis und mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung



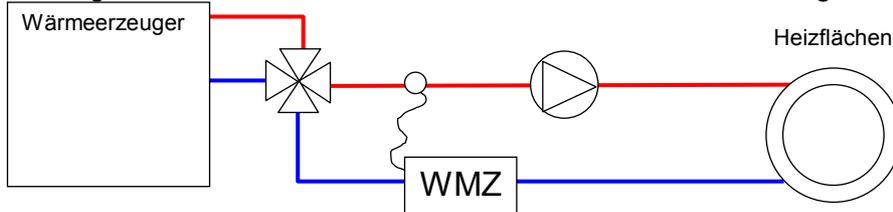
c) Anlage mit Dreiwegemischer und ohne zentrale Trinkwarmwasserbereitung



d) Anlage mit Dreiwegemischer und mit zentraler Trinkwarmwasserbereitung



e) Anlage mit Vierwegemischer und ohne zentrale Trinkwarmwasserbereitung



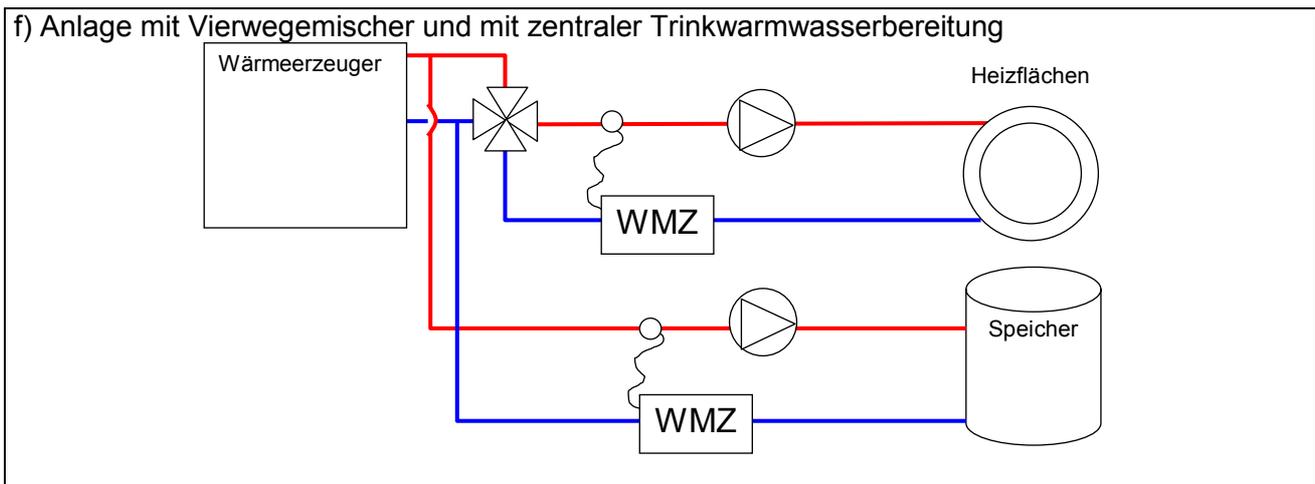


Bild 28 Lage der sekundären Wärmemengenzähler

Elektrozähler

In insgesamt 81 Anlagen wird der Stromverbrauch der Anlagentechnik messtechnisch erfasst. Darunter ist zu verstehen:

- Stromverbrauch der Umwälzpumpe
- Stromverbrauch der Speicherladepumpe
- Stromverbrauch der Zirkulationspumpe
- Stromverbrauch des Wärmeerzeugers (Regelung, sonstige Antriebe)

Die Erfassung der genannten Anteile ist je nach Anlage individuell, je nachdem mit welchem Aufwand die Zähler installiert werden konnten. Bei Kompaktgeräten (Kessel und Übergabestationen) können nur Gesamtstromverbräuche erfasst werden. In Großanlagen werden überwiegend nur die Pumpenstromverbräuche gemessen.

4.2.2 Anzahl und Kosten der Zähler

Insgesamt können für die in Tabelle 9 zusammengestellten Zähler Messdaten ausgewertet werden. Die primären Zähleinrichtungen der Versorgungsunternehmen wurden selbstverständlich für die Datenerfassung genutzt.

In den Anlagen, die aus dem ebenfalls von der DBU geförderten "Brennwertprojekt" übernommen wurden, konnten bereits installierte Wärmemengen- und Elektrozähler übernommen werden.

	auswertbare Zähler	für das Projekt nachinstalliert
Gaszähler	57	0
Primärzähler Fernwärme	28	0
Wärmemengenzähler Heizwärme	67	97
Wärmemengenzähler Trinkwarmwasser	59	
Elektrozähler	81	74

Tabelle 9 Zähleranzahl und Kosten

Die Beschaffung der Messgeräte erfolgt in der Mehrzahl über die Innung Wilhelmshaven, da dieser das günstigste Angebot vorlag.

Für die nachträgliche Ausstattung der Gebäude in Bremen und Wilhelmshaven wurden die Zähler von der Innung in Wilhelmshaven beschafft und von Heizungsbauunternehmen vor Ort installiert.

In Wolfsburg wurden die Wärmemengenzähler von den Energieversorgungsunternehmen gekauft und installiert. Dafür möchte sich die OPTIMUS-Projektgruppe noch einmal herzlich bedanken.

Die typischen Kosten für einen Wärmemengenzähler sind:

- Zähler: 125 ... 160 € (Größe 1,0 bis 2,5)
- Einbau: ca. 150 € (je Zähler)

Die durchschnittlichen Kosten für einen Elektrozähler betragen:

- Zähler: ca. 40 €
- Einbau: ca. 40 €

Damit ergeben sich für das Projekt Gesamtkosten für die Ausstattung mit Messeinrichtungen von etwa **18.000 €**. Diese Kosten sind für das Projekt jedoch fiktiv, da wie oben schon beschrieben, Eigenleistungen bzw. kostenlose Fremdleistungen Dritter erbracht wurden. Der Zählereinbau in Wilhelmshaven (Arbeitskosten) wird zum Beispiel als Eigenleistung der Innung verstanden.

Die genauen Gesamtkosten (wie sie bei einem vollen Werkvertrag entstanden wären), können daher nicht angegeben werden. Für künftige Projekte sind die Zahlen als Anhaltswerte zu verstehen.

4.3 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Aus der Auswahl von Gebäuden bleibt als Erkenntnis für künftige Projekte die Empfehlung, deutlich mehr Projektzeit dafür einzuplanen. Die Akquise von Gebäuden sollte mindestens 6 Monate vor Beginn der Messung gestartet werden. Die Zählerausstattung sollte mindestens 2 Monate vor Messbeginn eingeleitet werden, damit Probleme vor Ort beseitigt werden können, bevor die ersten Messdaten erfasst werden.

Im Zusammenhang mit der Zählerinstallation kann für künftige Projekte empfohlen werden, möglichst nur Speicherwärmemengenzähler (Zähler mit Monatsspeicherwerten) zu verwenden. Diese erleichtern die spätere Datenerfassung und sind heute ohne Aufpreis erhältlich.

5 Datenerfassung und Archivierung

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die im Rahmen des OPTIMUS-Projekts genutzten Möglichkeiten der Datenerfassung und Datenarchivierung für Gebäude- und Anlagenmerkmale sowie Verbrauchsdaten. Auch die Herkunft und Aufbereitung weiterer Messdaten, z.B. der Wetterdaten und Brennwerte werden erläutert.

5.1 Datenbank

Im Januar 2003 wurde damit begonnen, einen Katalog von Gebäude- und Anlageeigenschaften zusammenzustellen, der alle benötigten Daten für die spätere Optimierung als auch für die wissenschaftliche Auswertung der Gebäude enthält.

Um die Vielzahl von Informationen sinnvoll nutzen zu können, wurde eine Datenbank aufgebaut, in der alle Informationen zu den OPTIMUS-Gebäuden strukturiert abgelegt werden. Die Datenbank ermöglicht das einfache Gegenüberstellen beliebiger Informationen und schafft so die Grundlage für die Untersuchung verschiedenster Einflüsse und gegebenenfalls Wechselwirkungen auf den Energieverbrauch der Gebäude.

Da für knapp 100 Gebäude sowohl monatliche Energiemessdaten als auch verschiedenste Gebäude- und Anlagenparameter erfasst wurden, entschieden sich die Bearbeiter für die Datenarchivierung mit dem Programm Access von Microsoft. Es bietet sowohl größeren Speicherplatz als auch geeignetere Strukturierungs- und Sortierfunktionen als beispielsweise Microsoft Excel.

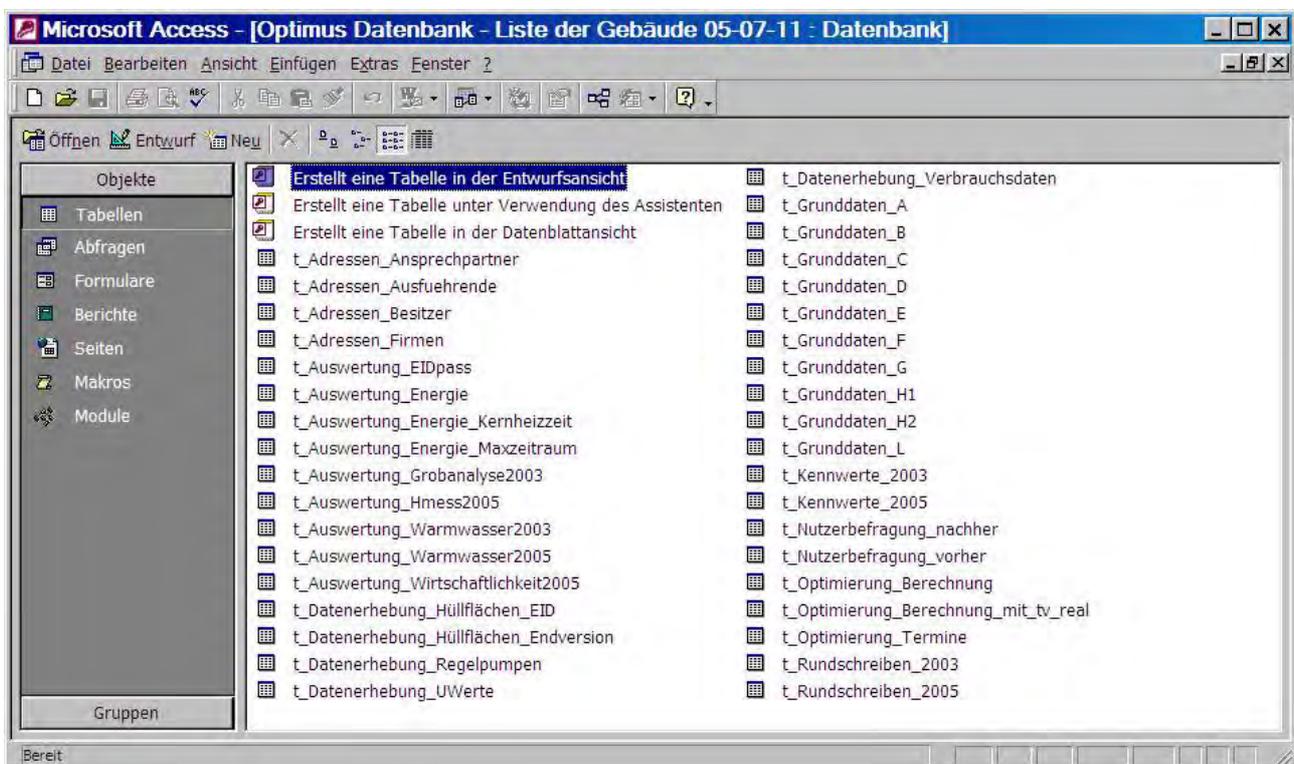


Bild 29 Tabellenansicht der Datenbank

Struktur

Die Datenbank basiert auf einer Sammlung von Tabellen (Bild 29), die miteinander verknüpft werden können. Für das OPTIMUS-Projekt ist der Verknüpfungsp parameter der vergebene Gebäudeschlüssel. Er ist in jeder Tabelle enthalten.

In jeder der angelegten Tabellen finden sich in Zeilen angeordnet die einzelnen (einzeiligen) Gebäudedatensätze. In den Spalten einer Tabelle werden die zugehörigen Merkmale angegeben. Die Tabelle lässt sich beliebig sortieren, ohne dass die Zuordnung von Merkmalen zu Gebäuden verloren geht (Bild 30).

Bei der Erstellung der Datenbank bzw. der Eingabe der Daten wurde darauf geachtet, kein Merkmal (Postleitzahl, Adressen, Art des Erzeugers...) doppelt in die Tabellen einzugeben. Dies schützt davor, bei eventuellen Änderungen Daten an mehreren Stellen korrigieren zu müssen. Somit wird langfristig "Datenmüll" vermieden.

Geb_id	m² Fenster in	m² Dachfenster	m² DE an Spit	m² oberste Ges	m² Dachschräg	m² Flachdach	m² Innenwand	m² Außenwän	m
01MFH2FW_0515	132.9					279.6		319.1	
02EFH1FW_0132	21.8			65.6				51.3	
03EFH1FW_0177	24.4	0.9		13	64		28.8	52.5	
04MFH3FW_0685	117.6					254.2		459.1	
05EFH1FW_0158	28.4			13	64.9		28.8	43	
06EFH3FW_0130									
07EFH1FW_0097	19.5			58.8				79.2	
08EFH3FW_									
09MFH2FW_0745	124.8					307.9		602	
10MFH2FW_0745	124.8					307.9		602	
11EFH1GAS0189	43.6	1.9		3.5	115.3		35.3	172.5	
12EFH1GAS0215	31.7			119.5				110.2	
13EFH3GAS0143	47			39.1	37.1			148.5	
15EFH3GAS0162	35.3		50		44			101.7	
16EFH1GAS0149	28.2		50.6		50.6			154.8	
17EFH3GAS0178	21.8	0.9		37.4	41.4			122.2	
18EFH1GAS0123	35.4			112.9			5.9	62.8	
19EFH3GAS0149	18.6		3		62.5			25.4	
20EFH1GAS0153	34.1					96.9	29.9	121.1	
21EFH3GAS0205	50.7		45.8		61.2			129.5	
22EFH1GAS0146	30.6	1		99.3				192.2	
23EFH2GAS0191	35.6			54.4	138.4			70.3	
24EFH1GAS0204	43.7			23.1	49.3		27.7	148.3	
25EFH3GAS0114	27.5				77.1			172.7	

Bild 30 Beispiel für eine Tabelle in der Datenbank

In der Datenbank sind neben den Tabellen auch sogenannte "Abfragen" vorhanden (Bild 31). Sie sind ein elegantes Mittel, eine Auswahl von Gebäudemerkmalen zusammenzustellen, die ursprünglich nicht in derselben Tabelle abgelegt sind.

Abfragen verknüpfen die Spalten einer oder mehrerer vorhandener Tabellen in einer neuen Tabelle. Die Werte werden dabei nicht kopiert; sie behalten den Bezug zur Originaltabelle. So kann man beispielsweise die Adresse eines Gebäudes mit der Art der Temperaturregelung verknüpfen, auch wenn diese Daten in zwei unterschiedlichen Tabellen abgelegt sind (Bild 32).

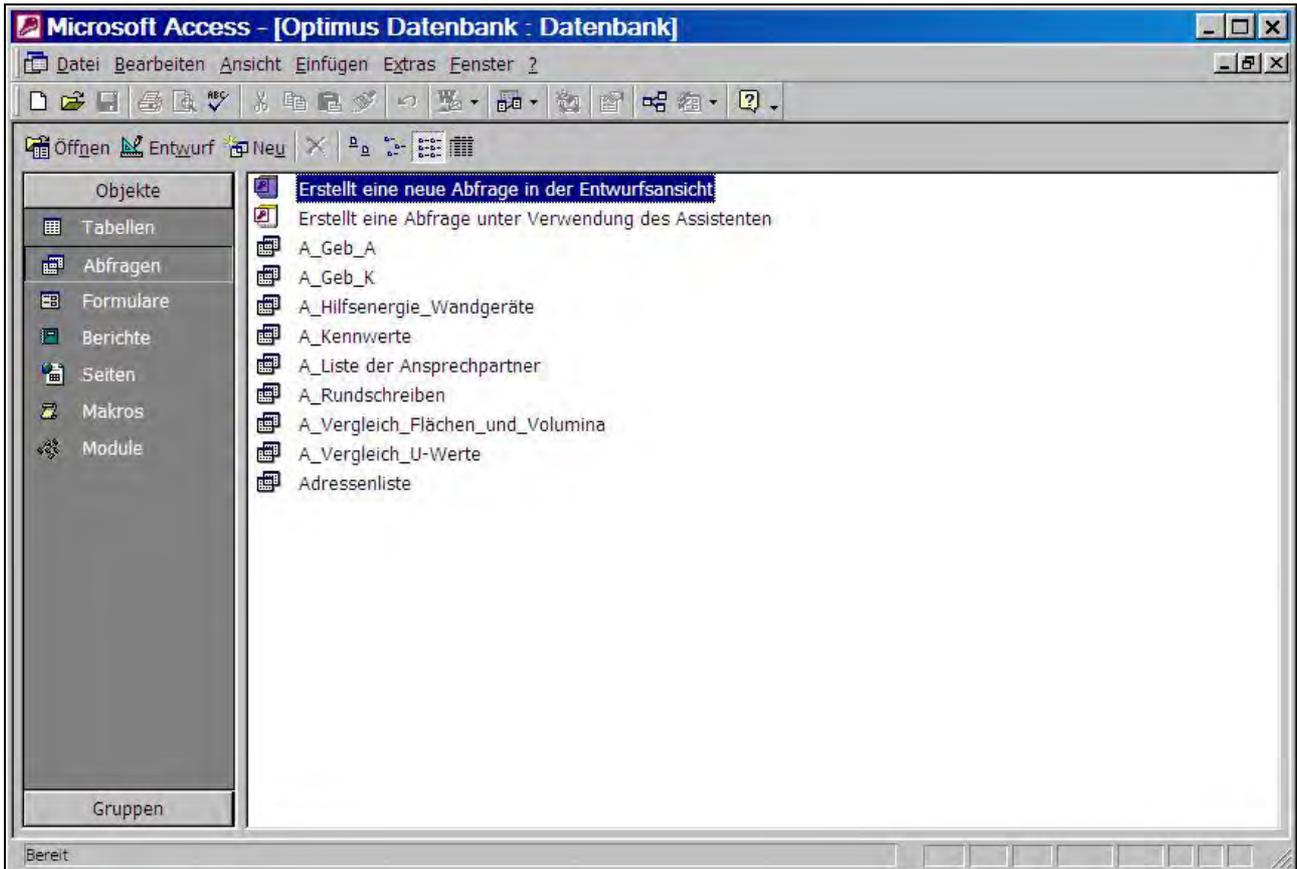


Bild 31 Abfragenansicht der Datenbank

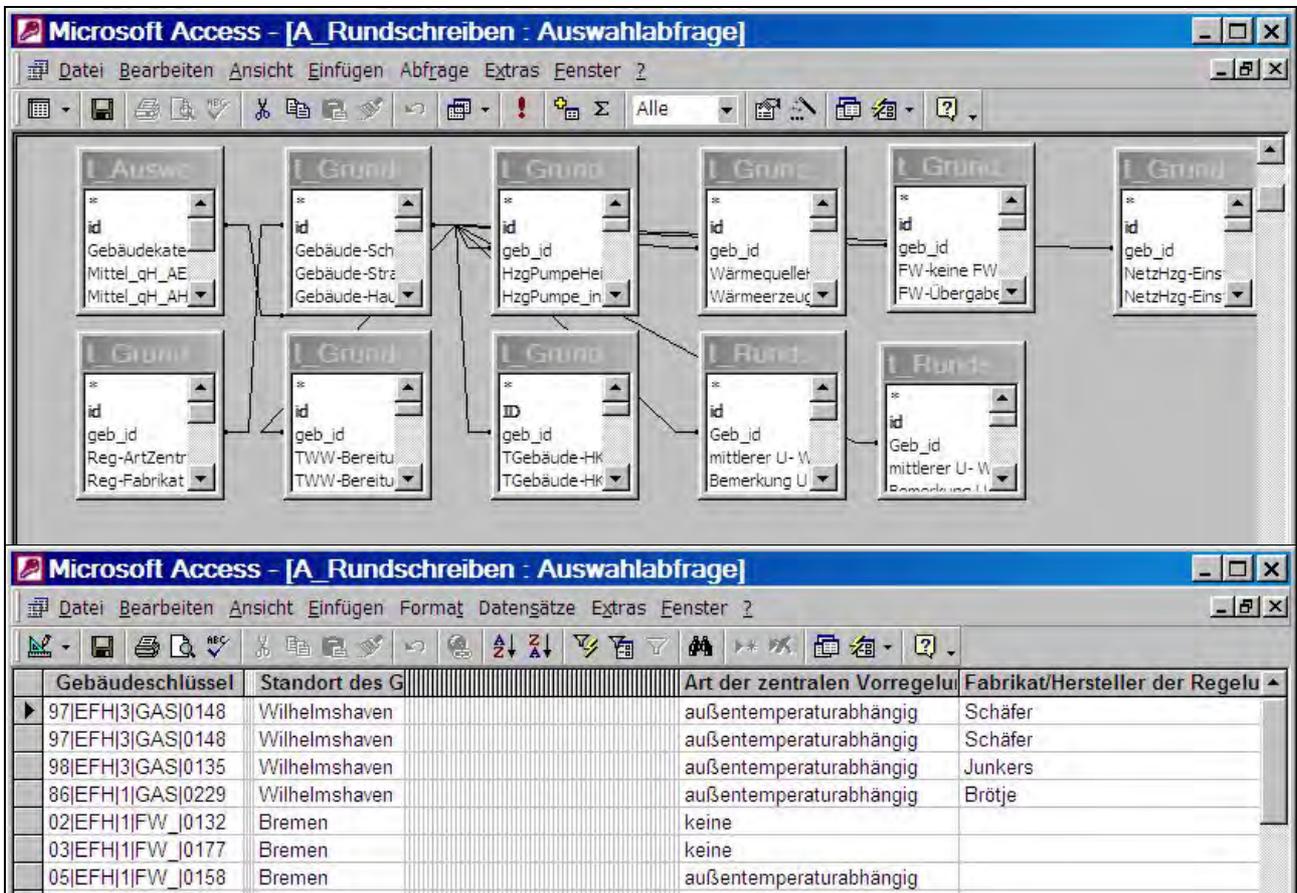


Bild 32 Beispiel für eine Abfrage in der Verknüpfungss- und der Normalansicht

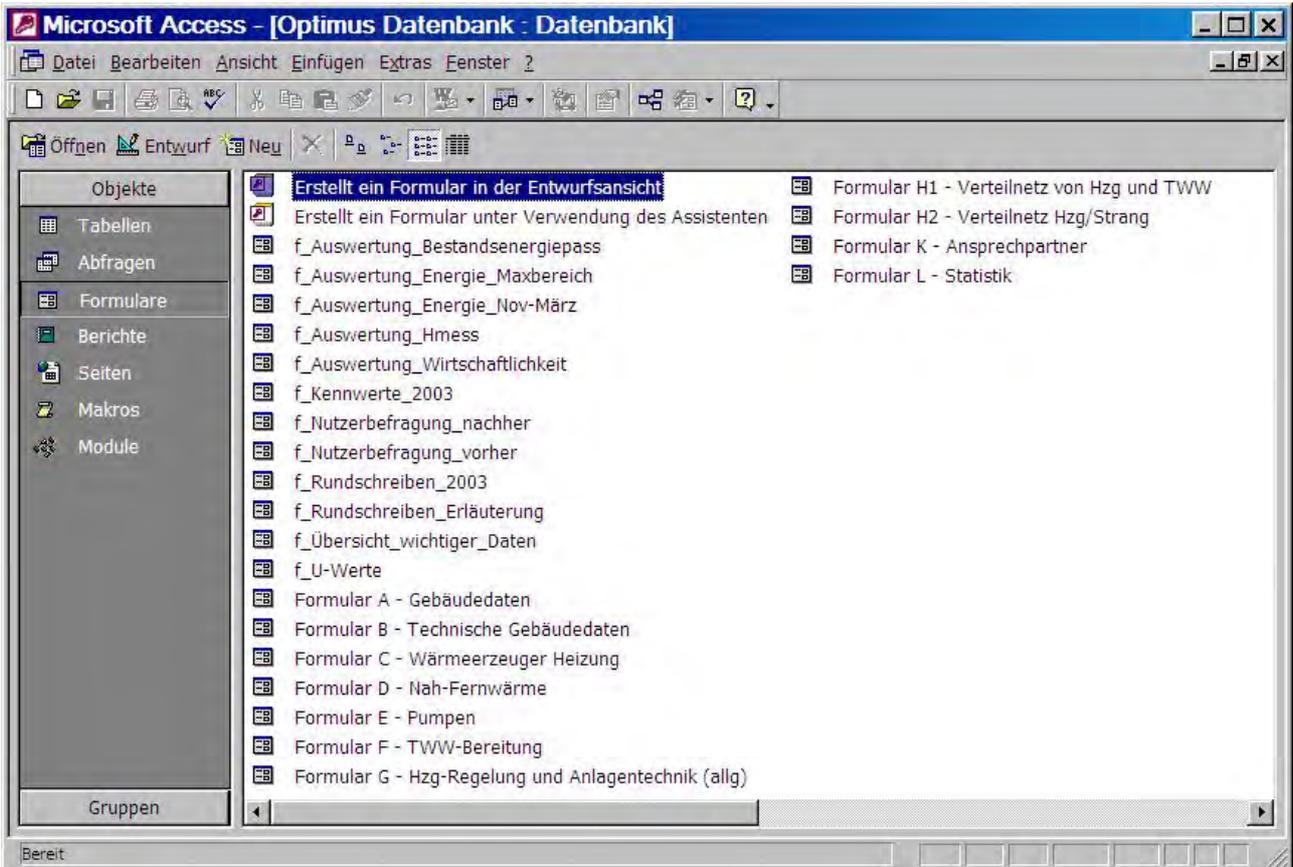


Bild 33 Formularansicht der Datenbank

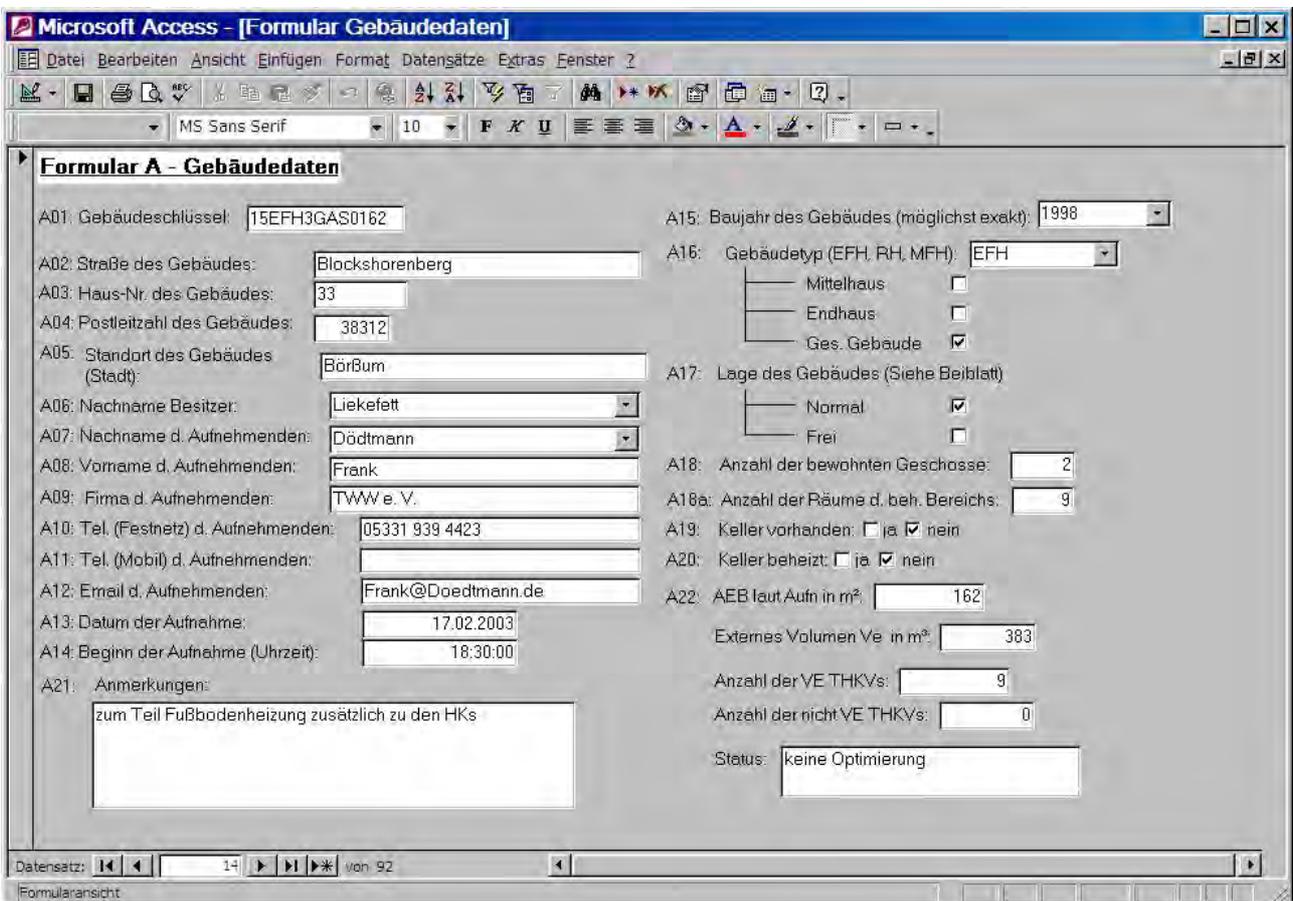


Bild 34 Ansicht des Formulars A in der Datenbank

Eine weitere Art der Darstellung der Datensätze der Tabellen sind sogenannte "Formulare". Sie bieten die Möglichkeit beliebige Einträge aus den Tabellen der Datenbank datensatzweise übersichtlich anzusehen. Im Projekt wurden eine Reihe von Formularen erstellt, u.a. auch die Aufnahmeformulare A bis L für die Gebäude (Bild 33).

Bild 34 zeigt das Formular A zur Gebäudeaufnahme beispielhaft. In diesem Formular finden sich alle Daten eines Gebäudes wieder die in der zugehörigen Tabelle A in einer Zeile abgelegt sind. Das Formular kann zum Durchblättern aller eingetragenen Gebäude verwendet werden. Werden in dieses Formular Eingaben gemacht, werden diese in die Tabelle A eingetragen. Ein Formular kann demnach auch als benutzerfreundliche Oberfläche der Datenbank angesehen werden.

Eine Leerversion der Formulare A bis L wurde für die Bestandsaufnahme ausgedruckt und an die Aufnehmenden verteilt. Nach Abschluss der Bestandsaufnahme wurde eine Kopie der Aufnahmeformulare von den Handwerkern an die FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) verschickt. Das Eingeben in die Datenbank war anschließend zwar zeitintensiv, aber übersichtlich, weil die ausgefüllte Kopie und die Programmoberfläche identisch aussahen.

Inhalte der Datenbank

In den etwa 35 erstellten Tabellen sind knapp 70.000 Datenpunkte verfügbar. Schätzungsweise zwei Drittel davon sind tatsächlich mit Werten belegt.

Folgende Inhalte umfasst die Datenbank:

- Adressdaten (Ansprechpartner, Ausführende, Besitzer, Firmen)
- Tabellen mit Grunddaten für Gebäude, Nutzung, und Anlage (Formulare A bis L der Bestandsaufnahme)
- Tabellen mit weiteren Daten aus der Datenerhebung (Verbrauchswerte, Hüllflächen, U-Werte, Detailkennwerte für Regelpumpen)
- Tabellen mit der Nutzerbefragung (vor und nach der Optimierung)
- Tabellen mit Ergebnissen der Auswertung (Energieauswertung Heizung, Trinkwarmwasser, Wärmeerzeuger, CO₂-Emissionen u.a.) der Grobanalyse 2003 und der Endauswertung 2005
- Tabellen mit den Daten der Optimierung (Datum der Optimierung, berechnete Heizlasten, optimale Vorlauftemperaturen, Einstellwerte der Pumpen usw.)
- Tabellen mit weiteren 2003 und 2005 erhobenen Kennwerten (Kompaktheitsgrade, Wohnungsgröße, minimale Pumpenleistung usw.)
- Auswahl von Daten für die Rundschreiben an die Gebäudebesitzer (2003 nach der Grobanalyse und 2005 als Gebäudeendbericht)

Eine detaillierte Darstellung befindet sich im Anhang.

5.2 Energiedatenerfassung

Die Datenerfassung aller Messwerte erfolgte durch Ablesen der installierten Zähler. Als Ablesepersonal fungierten:

- bei vielen EFH die Gebäudeeigentümer
- Hausmeister (z.B. in Bremen)
- Stadtwerke (z.B. in Wolfsburg)
- Handwerksunternehmen (z.B. in Wilhelmshaven und Braunschweig).

Die durch Zählerablesung erfassten Daten wurden etwa einmal monatlich in ein Messprotokoll (Bild 35, Bild 36) eingetragen und per Fax, Brief oder Email übermittelt. Darüber hinaus wurden mehrfach während der Projektlaufzeit die Wärmemengenzähler mit Speicherfunktion abgelesen.

Straße: Hausnummer: PLZ und Ort:	Projekt: "Optimus" gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU	BITTE FAXEN AN: 05331 / 939-4402		
Bitte tragen Sie in die Liste die Zählerstände jeweils am Anfang jeden Monats ein.				
Datum	WMZ primärseitig (gesamtes Gebäude) in MWh	WMZ der Heizung in MWh	WMZ für Trinkwarmwasser in MWh	Stromzähler für Anlagentechnik in kWh
11.2002				
12.2002				
01.2003				
02.2003				
03.2003				
04.2003				
05.2003				
06.2003				
07.2003				
08.2003				
09.2003				
10.2003				
11.2003				
12.2003				
Beispiel:				
02. 04.1999	133345,7000	46556,1230	2879,7888	3456,7
01. 05.1999	133643,8662	46788,1446	2913,2276	3498,8
Kooperation: Innung Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung, Bremen		Berufsbildende Schulen II, Leer WILO GmbH TWW e.V. an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel		

Bild 35 Messprotokoll Fernwärme und Ölversorgung

Straße: Hausnummer: PLZ und Ort:	Projekt: "Optimus" gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU	BITTE FAXEN AN: 05331 / 939-4402		
Bitte tragen Sie in die Liste die Zählerstände jeweils a m A n f a n g jeden Monats ein.				
Datum	Gaszähler (gesamtes Gebäude) in m³	WMZ der Heizung in MWh	WMZ für Trinkwarmwasser in MWh	Stromzähler für Anlagentechnik in kWh
11.2002				
12.2002				
01.2003				
02.2003				
03.2003				
04.2003				
05.2003				
06.2003				
07.2003				
08.2003				
09.2003				
10.2003				
11.2003				
12.2003				
Beispiel:				
02. 04.1999	33345,7	6556,1230	2879,7888	3456,7
01. 05.1999	33643,8	6788,1446	2913,2276	3498,8
Kooperation: Innung Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung, Bremen		Berufsbildende Schulen II, Leer WILO GmbH TWW e.V. an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel		

Bild 36 Messprotokoll Gasversorgung

Speicherzähler

Die im Projekt nachträglich installierten Wärmemengenzähler wiesen überwiegend eine monatliche Speicherfunktion auf. So konnten zum Stichtag (1. des Monats 0:00 Uhr) rückwirkend 12 Monatswerte ausgelesen werden. Insgesamt sind 66 Zähler mit Speicherfunktion vorhanden. Die verwendeten Gas- und Elektrozähler weisen keine Speicherfunktion auf.

Die monatlichen Verbrauchsdaten werden an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel in Excel-Datenblättern gesammelt. Durch die zentrale Datenaufnahme ist gewährleistet, dass fehlende und/oder nicht korrekte Messwerte schnell erkannt und ggf. geeignete Maßnahmen getroffen werden können.

5.3 Wetterdaten

Für die verallgemeinerte energetische Bewertung der Gebäude müssen Energieverbrauchswerte witterungsbereinigt werden (vgl. auch Abschnitt 3.3). Aus Gründen der Genauigkeit wurden dazu im Rahmen der OPTIMUS-Auswertungen tägliche Wetterdaten verwendet.

The screenshot shows the DWD website interface. At the top, there are navigation links: Services + Leistungen, Wetter + Klima, Wir über uns, Forschung + Entwicklung, Technische Infrastruktur, and Zusammenarbeit + Kooperationen. Below this is a search bar and the DWD logo. The main content area is titled 'Ausgabe der Klimadaten: Tageswerte'. It lists available information: 'Übersicht der Elemente in den Tageswertdaten' and 'Informationen zum Qualitätsniveau der Daten'. A dropdown menu is set to '10338 Hannover-Langenhagen' with an orange arrow pointing to it. Below the dropdown is a table of weather data for station 10338. The table has columns for various weather parameters: STAT, JJJJMMDD, QN, TG, TN, TM, TX, RFM, FM, FX, SO, NM, RR, EM. The 'TM' column is highlighted with an orange box. The data rows show values for different dates, with the 'TM' values ranging from -5.1 to 2.1.

STAT	JJJJMMDD	QN	TG	TN	TM	TX	RFM	FM	FX	SO	NM	RR	EM
10338	20050308	1	-0.8	0.5	2.1	3.8	95.0	3.0	8.4	0.0	7.7	0.4	1010.9
10338	20050307	1	-15.4	-10.1	-1.9	2.1	96.0	3.0	9.3	0.0	6.8	0.2	1010.9
10338	20050306	1	-16.7	-9.2	-4.9	-0.8	80.0	2.0	8.9	4.2	4.0	0.0	1012.2
10338	20050305	1	-13.7	-7.2	-4.1	-1.0	83.0	3.0	9.6	1.7	4.7	0.0	1002.3
10338	20050304	1	-14.9	-9.1	-4.7	0.6	83.0	2.0	5.3	4.3	5.7	0.0	1005.9
10338	20050303	1	-9.1	-6.0	-2.1	-0.4	91.0	2.0	8.0	0.1	7.0	0.3	1004.8
10338	20050302	1	-3.6	-3.2	-1.7	0.5	82.0	2.0	7.4	0.0	7.6	3.2	997.5
10338	20050301	1	-6.3	-5.0	-3.0	-1.5	75.0	4.0	13.3	0.0	7.4	0.2	1000.2
10338	20050228	1	-14.1	-11.3	-5.9	-2.4	80.0	3.0	10.3	1.0	5.0	0.0	1014.0
10338	20050227	1	-11.8	-9.0	-5.1	-2.1	76.0	3.0	12.7	7.4	2.2	0.0	1014.7

Bild 38 Tageweise Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes

Die mittleren Tagesaußentemperaturen verschiedener Standorte in Deutschland stellt der Deutsche Wetterdienst DWD kostenfrei zur Verfügung, vgl. Bild 38. Unter der Vielzahl der angegebenen Messwerte (Temperaturen, Luftfeuchte, Sonnenschweindauer usw.) wird die Größe "TM" angegeben. Sie ist die Temperatur in 2 Metern Höhe über dem Erdboden, gebildet als Mittelwert aus 24 Terminwerten.

	Station 10338 Hannover-Langenhagen	Station 10224 Bremen	Station 10200 Emden-Flugplatz
Gebäudestandorte	WF, BS, H, HM, HI, WOB, HOL	HB	WHV

Tabelle 10 Zuordnung der Gebäude (Kreise) zu Wetterstationen

Die Gebäude werden, da nicht für jeden Standort Wetterdaten verfügbar sind, zur nächstgelegenen bzw. zu einer typischen Wetterstation zugeordnet. Die in Tabelle 10 wiedergegebene Zuordnung der Gebäude(-standorte) zu den Stationen wurde getroffen.

5.4 Brennwerte

Die Verbrauchsdatenauswertung der gasversorgten Gebäude erfolgt brennwertbezogen. Die zur Umrechnung des Gasverbrauchs notwendigen Brennwerte wurden dazu von den Versorgungsunternehmen erfragt.

Für die Gebäude an den Standorten Börßum, Braunschweig, Cremlingen, Delligsen, Denkte, Dorstadt, Sarstedt, Weidehohl und Wolfenbüttel konnten von der Avacon AG – Salzgitter (BVG- Energiedatenservice Gas) monatliche Brennwerte erfragt werden. Die durchschnittlichen Brennwerte in Wilhelmshaven und Sande lieferte die GEW Wilhelmshaven GmbH.

Die Projektbeteiligten möchten sich an dieser Stelle bei Frau Bosse und Herrn Sobirey (Avacon) sowie bei Herrn Ammen (GEW Wilhelmshaven GmbH) herzlich für die Kooperation bedanken

5.5 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Für künftige, größere Messprojekte empfiehlt es sich, die gesammelten Daten in Form einer Datenbank – wie Microsoft Access – abzulegen. Mathematische Berechnungen müssen zwar bei dieser Datenbank weiterhin mit einem Rechenprogramm – wie Microsoft Excel – gemacht werden, die Datenbank bietet aber insgesamt den Vorteil:

- dass jede aufgenommen Größe (z.B. Kesselleistung) nur einmal in der Datenbank abgelegt wird; es sind aus einer Grunddatenmenge beliebige Zusammenstellungen möglich, wobei Daten nur verknüpft, aber nicht kopiert werden; das beugt "Datenschrott" vor
- dass mit einem Programm gleichzeitig Aufnahmeblätter erzeugt werden als auch in diese Maske die aufgenommenen Datensätze eingetragen werden.

Energiedatenerfassung

Bei der Energiedatenerfassung durch Nutzer trat in einzelnen Fällen das Problem auf, dass das Ablesedatum nicht korrekt eingetragen wurde. Da die Nutzer direkt am 1. des Monats vergessen hatten abzulesen, holten sie dies ein paar Tage später nach und "logen" das Datum auf den 1. zurück. Dies fiel bei der Energiedatenauswertung auf. Nach Rücksprache mit den Nutzern gaben diese ihre Manipulation zu.

Sie hatten ein schlechtes Gewissen gehabt, weil im Datenformular stand "Bitte tragen Sie in die Liste die Zählerstände jeweils am Anfang jeden Monats ein", siehe Bild 39.

Es gab sogar den Fall, dass Nutzer einen Ablesetermin ganz vergessen hatten und die Messwerte für den sich ergebenden Zweimonatszeitraum einfach "nach Gefühl" auf die beiden Monate verteilten. Sie dachten sich die vergessenen Zählerstände aus.

Auch dies führte zunächst zu Verwirrungen bei der Datenauswertung, da der Verbrauch nicht zur Witterung passte. Auch hier gab der Nutzer auf Nachfrage die Manipulation zu.

Wenn es also auf das genaue Ablesedatum ankommt, es aber prinzipiell egal ist, ob am 1. eines Monats, am 5. oder an irgend einem anderen Tag abgelesen wird, muss dies im Messformular deutlich gemacht werden. Die Messdatenformulare sind zum Beispiel wie in Bild 40 zu gestalten.

Straße: Hausnummer: PLZ und Ort:		Gebäudeschlüssel:	Projekt: "Optimus" gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU	BITTE Senden AN: Fax: 05331 939 4402 Email: fh-optimus@web.de	
Bitte tragen Sie in die Liste die Zählerstände jeweils a m A n f a n g jeden Monats ein.					
Datum	Gaszähler (Heizung + evt. TWW) in m ³	WMZ für Heizung in kWh	WMZ für Trink- warmwasser in kWh	Wasserezähler für TWW- Bereitung in m ³	Stromzähler für Anlagentechnik in kWh

Bild 39 Messformular in erster Ausführung

Name (Geb.Nr.) Straße u. Nr. Ort:		Projekt: "Optimus" gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU	BITTE FAXEN AN: 05331 / 939-4402		
Bitte lesen Sie etwa einmal pro Monat die Zähler ab! Vermerken Sie bitte das g e n a u e Ablesedatum – Vielen Dank!					
Datum	Gaszähler (gesamtes Gebäude) in m ³	WMZ der Heizung in MWh	WMZ für Trinkwarmwasser in MWh	Stromzähler für Anlagentechnik in kWh	

Bild 40 Messformular in zweiter Ausführung

Wetterdaten

Zum Umgang mit Wetterdaten für detaillierte Energieanalysen wird aus den Erkenntnissen des OPTIMUS-Projekts die Empfehlung ausgesprochen, die Tageswerte des Deutschen Wetterdienstes zu verwenden. Daraus können für beliebig lange Messintervalle mit einfachen Tabellenkalkulationen alle Kennwerte (mittlere Außentemperatur, Anzahl der Heiztage, Gradtagszahlen usw.) selbst generiert werden. Nur dann ist die Zählerablesung praktisch zu beliebigen Zeitpunkten möglich und man ist nicht auf die Ablesung am 1. des Monats angewiesen.

6 Dokumentation des vorhandenen Zustands

Basis einer fundierten Entscheidung bezüglich der Optimierungsmaßnahmen sowie der wissenschaftlichen Auswertung der Projektergebnisse ist die umfassende Erfassung der Gebäude-, Anlagen- und Energieverbrauchsdaten. Die Erfassung der Gebäude- und Anlagendaten erfolgte mit Hilfe von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) erstellter Datenblätter und einer von der FPB entwickelten Nutzerbefragung. Alle Daten wurden in so genannten Hausordnern gesammelt und dokumentiert. Zur übersichtlichen Nutzung der Daten wurde zudem eine rechnergestützte Datenbank angelegt.

Der nachfolgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Vorbereitung der Gebäudeaufnahme sowie die Termine vor Ort. Der Hausordner als wichtiges Dokument für den Handwerker, den Kunden und die wissenschaftliche Begleitung wird vorgestellt. Letztlich wird der Status der aufgenommenen Gebäude und Anlagen wiedergegeben. Anhand der erstellten Statistiken werden der Energieverbrauch und die Notwendigkeit der Optimierung erläutert.

6.1 Vorbereitung der Gebäudeaufnahme

6.1.1 Handbuch zur Gebäudeaufnahme

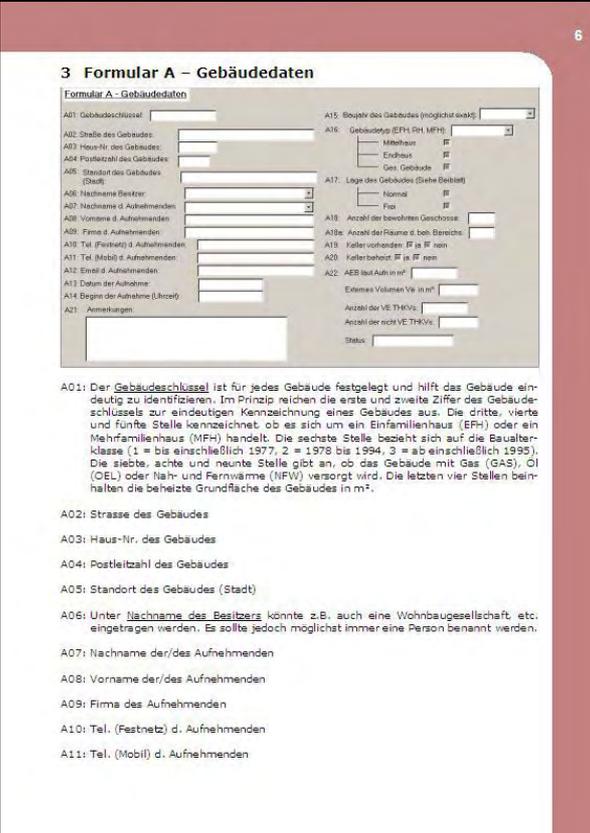
Vor Beginn der Gebäudeaufnahme wurden von den Mitarbeitern der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) – u.a. im Rahmen von zwei Studienarbeiten [23] – die notwendigen, zu erfassenden Daten zusammengestellt. Hierbei wurde berücksichtigt, dass sowohl die Optimierung der Anlagentechnik auf Basis der erhobenen Daten möglich sein sollte als auch eine Energiebilanzierung.



Handbuch zur Datenaufnahme und Programmberechnung im Optimus-Projekt

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Abschnitt I	Handbuch zur Bestandsaufnahme	S. 03 – 17
Abschnitt II	Optimierung mit dem Softwareprogramm	S. 18 – 25
Abschnitt III	Hilfen	S. 26 – 42



6

3 Formular A – Gebäudedaten

Formular A - Gebäudedaten

A01: Gebäudeschlüssel	A15: Baujahr des Gebäudes (möglichst exakt)
A02: Straße des Gebäudes	A16: Gebäudetyp (EFH, MFH)
A03: Haus-Nr. des Gebäudes	Mehrfamilienhaus <input type="checkbox"/>
A04: Postleitzahl des Gebäudes	Einfamilienhaus <input type="checkbox"/>
A05: Standort des Gebäudes (Stadt)	Ges. Gebäude <input type="checkbox"/>
A06: Nachname Besitzer	A17: Lage des Gebäudes (siehe Beiblat)
A07: Nachname d. Aufnehmenden	Normal <input type="checkbox"/>
A08: Vorname d. Aufnehmenden	Flach <input type="checkbox"/>
A09: Firma d. Aufnehmenden	A18: Anzahl der bewohnten Geschosse
A10: Tel. (Festnetz) d. Aufnehmenden	A19a: Anzahl der Räume d. bwh. Bereichs
A11: Tel. (Mobil) d. Aufnehmenden	A19: Keller vorhanden: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
A12: Email d. Aufnehmenden	A20: Keller beheizt: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
A13: Datum der Aufnahme	A22: AEB laut Aush in m ²
A14: Beginn der Aufnahme (Jahr)	Ermittelte Volumen V _h in m ³
A21: Anmerkungen	Anzahl der VE-TMVA
	Anzahl der nicht-VE-TMVA
	Status

A01: Der Gebäudeschlüssel ist für jedes Gebäude festgelegt und hilft das Gebäude eindeutig zu identifizieren. Im Prinzip reichen die erste und zweite Ziffer des Gebäudeschlüssels zur eindeutigen Kennzeichnung eines Gebäudes aus. Die dritte, vierte und fünfte Stelle kennzeichnen, ob es sich um ein Einfamilienhaus (EFH) oder ein Mehrfamilienhaus (MFH) handelt. Die sechste Stelle bezieht sich auf die Baualterklasse (1 = bis einschließlich 1977, 2 = 1978 bis 1994, 3 = ab einschließlich 1995). Die siebte, achte und neunte Stelle gibt an, ob das Gebäude mit Gas (GAS), Öl (ÖEL) oder Nah- und Fernwärme (NFVW) versorgt wird. Die letzten vier Stellen beinhalten die beheizte Grundfläche des Gebäudes in m².

A02: Strasse des Gebäudes

A03: Haus-Nr. des Gebäudes

A04: Postleitzahl des Gebäudes

A05: Standort des Gebäudes (Standort)

A06: Unter Nachname des Besitzers könnte z.B. auch eine Wohnbaugesellschaft, etc. eingetragen werden. Es sollte jedoch möglichst immer eine Person benannt werden.

A07: Nachname der/des Aufnehmenden

A08: Vorname der/des Aufnehmenden

A09: Firma des Aufnehmenden

A10: Tel. (Festnetz) d. Aufnehmenden

A11: Tel. (Mobil) d. Aufnehmenden

Bild 41 Deckblatt und Auszug des Handbuchs zur Gebäudeaufnahme

Um die Bestandsaufnahme möglichst einfach und kostengünstig durchführen zu können, wurden Formblätter entwickelt, auf denen die abgefragten Informationen durch Ankreuzen bzw. durch textliche Beschreibung eingetragen werden können. Bevor die Formulare zur Bestandsaufnahme den Fachhandwerkern übergeben wurden, wurde ihre Praxistauglichkeit bei insgesamt 26 von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) durchgeführten Bestandsaufnahmen evaluiert und durch Anpassungen weiter verbessert. Die Formblätter werden in Abschnitt 6.3.1 detailliert beschrieben.

Für die ausführenden Fachhandwerker wurde ein Handbuch zur Gebäudeaufnahme zusammengestellt. Es enthält auf 15 Seiten die Aufnahmeformulare A bis L sowie Raum- und Hüllflächenblatt als Kopiervorlage sowie die entsprechenden Erläuterungen. Unter anderem sind auch nützliche Hilfsmittel, z.B. Erkennungsmerkmale für Hersteller und Typ von voreinstellbaren Thermostatventilen, enthalten. Bild 41 zeigt den aktuellen Stand des Deckblatts sowie einen Auszug mit Erläuterungen zum Formular A.

Das Handbuch liegt dem Bericht im Anhang als Datei bei.

6.1.2 Beschaffung von Messgeräten

Bereits vor der Gebäudeaufnahme zeichnete sich ab, dass die Optimierung der Heizungsanlage eine überschlägige Heizlastberechnung aller Räume umfassen würde. Da für diese Berechnung alle wärmeübertragenden Außenflächen jedes einzelnen Raumes erfasst werden müssen, stand früh fest, dass eine messtechnische Unterstützung der Gebäudeaufnahme unerlässlich sein würde.

Am 24.02.2003 schaffte das TWW daher 8 Laser-Entfernungsmessgeräte der Firm Leica (Disto classic, 5. Generation, Art. No. 729528) an. Die Geräte im Wert von knapp 3500 € wurden zur Gebäudeaufnahme an die ausführenden Handwerker verliehen. Sie ermöglichten zeit- und kostensparende Längen-, Flächen und Volumenmessung.



Bild 42 Laser-Entfernungsmessgerät

6.1.3 Schulung des Aufnahmepersonals

Die an der Bestandsaufnahme beteiligten Handwerker wurden in einer speziellen Schulung auf diese Aufgabe vorbereitet. In der halbtägigen Schulung wurde vermittelt, welche Eigenschaften der Anlagentechnik und des Baukörpers wie genau erfasst werden müssen. Die Datenerfassung sollte so genau wie möglich, aber nicht detaillierter als nötig erfolgen.

Um zu erreichen, dass alle an der Bestandsaufnahme beteiligten Fachhandwerker die benötigten Informationen in gleicher Weise aufnehmen, wurde am 11. März 2003 in Hannover eine gemeinsame Schulung der beteiligten Fachhandwerker durchgeführt. Dabei wurden auch die Hausordner (siehe Abschnitt 6.3) an die Handwerker übergeben.

Nach der Vorstellung des OPTIMUS-Projekts und seiner Ziele wurden die Fachhandwerker von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) in den Umgang mit den Formularen zur Bestandsaufnahme eingewiesen. Zusätzlich wurde ihnen das Handbuch mit Hinweisen für die Bestandsaufnahme übergeben.



Bild 43 Schulung zur Bestandsaufnahme in Hannover

6.1.4 Handbuch zur Bauteilbestimmung

In der zweiten Hälfte des Projekts wurden eine Reihe von Gebäuden ein zweites Mal aufgesucht, um Unklarheiten bezüglich der Verbrauchsdaten zu klären, eine erneute Nutzerbefragung durchzuführen oder die zu Beginn erfassten Daten zu komplettieren.

In diesem Zusammenhang wurde auch eine Reihe von Baukonstruktionen der Außenbauteile noch einmal detaillierter untersucht. Zur besseren Bestimmung der U-Werte für Außenwände, Dächer, Decken, Fenster und Bodenplatten erstellte die FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) ein weiteres Handbuch als Arbeitshilfe. Das Handbuch zur Bestimmung von Außenbauteilen liefert:

- wichtige Hinweise, wie die Güte von Außenbauteilen schnell erfasst werden kann,
- entsprechende Fragebögen für die Begehung vor Ort,
- Diagramme, mit denen aus den vor Ort erhobenen Daten die U-Werte bestimmt werden können.

Auszüge zeigt Bild 44. Das Handbuch wurde in etwa 30 nachträglichen Begehungen verwendet. Es liegt dem Bericht im Anhang als Datei bei.

Handbuch zur Bestimmung von Außenbauteilen



Abschnitt I Aufnahme S. 03 – 25

Abschnitt II überschlägige U-Wertbestimmung S. 26 – 40

Abschnitt III Baustoffdaten S. 41 – 47

Dicke einer Dämmschicht

Man unterscheidet Außen- und Innendämmung. Bei zweischaligem Mauerwerk gibt es Kerndämmung.

Ist eine Innendämmung vorhanden, wissen die Mieter meist Bescheid, da oft keine Bilder, Möbel usw. an den Außenwänden befestigt werden dürfen/können. Oft sind Heizkörper auch nicht direkt an der Wand, sondern vor der Wand auf Konsolen befestigt. Die Dicke der Innendämmung kann man z.B. bestimmen, indem man an einer unauffälligen Stelle (z.B. direkt unter dem Fensterbrett) mit einer Hadel o.ä. in die Dämmschicht sticht. Außerdem klingen Wände mit Innendämmung in der Regel hohl beim Anklopfen.

Die Dicke einer Außendämmung, die als Wärmedämmverbundsystem ausgeführt ist, lässt sich oft von außen am unteren Dämmabschluss (Sockel) erkennen.

Alle innenliegenden Dämmschichtdicken (Kerndämmung) kann man nicht von außen erkennen. Hier hilft der Blick von oben (bei nicht ausgebautem Dachgeschoss) sowie Temperaturmessungen.



Zuordnung zu U-Werten

Typische Außenwände	typischer Erstellungszeitraum	U-Wert (W/m²K)	Zeichnung
Eichenfachwerk mit Lehmausfachung, innen vollfachig, außen nur Gefache verputzt	vor 1918	1,90	
Eichenfachwerk mit Feldsteinmauerwerk, innen verputzt	vor 1918	2,48	
Eichenfachwerk mit Lehmausfachung, innen verputzt, außen verschindelt	vor 1918	1,90	
Vollziegelmauerwerk 38 cm	vor 1948	1,70	
Vollziegelmauerwerk 38-51 cm	vor 1948	1,38	

10 Fragebogen

Allgemeines

Alter des Gebäudes?

Außenwände

Jahr der letzten Sanierung?

Massive einschalige Wand? Massive mehrschalige Wand? Fachwerkwand?

Gesamtdicke der Wand?

Material der Wand oder der Gefache

Ziegel (Vollziegel, Lochziegel)	<input type="checkbox"/>	Bims- oder Leichtbetonsteine (Vollsteine, Lochsteine, Gasbeton)	<input type="checkbox"/>	Hohlsteine (Schlacke, Kalktuff, Ziegelsplittbeton)	<input type="checkbox"/>
Stahlbeton (Plattenbau)	<input type="checkbox"/>	Kalksandstein (Vollsteine, Lochsteine)	<input type="checkbox"/>	Feldsteine	<input type="checkbox"/>
Lehm und Lehmmaterialien	<input type="checkbox"/>	Holz (Natur, Platten)	<input type="checkbox"/>	Natursteine	<input type="checkbox"/>

Dicke der Dämmung? Innen-dämmung Außen-dämmung Kern-dämmung

Erfahrungen der Nutzer mit Bohrstaub?

Temperaturmessung

Außentemperatur	.....	Innentemperatur	.....
Oberfläche außen	.....	Oberfläche innen	.....

Fenster

Alter der Fenster?

Kastenfenster

Art der Verglasung? Isolierverglasung Wärmeschutzverglasung

Anzahl der Scheiben Einscheiben Zweischeiben Dreischeiben

Rahmenmaterial? Holz Metall Kunststoff

abgelesener U-Wert

Obere Geschossdecke

Jahr der letzten Sanierung?

Art der Decke Holzbalkendecke Stahlsteindecke Stahlbetondecke

Gesamtdicke der Geschossdecke?

Dämmschichtdicke? Dämmung von unten Dämmung von oben

Erfahrungen der Nutzer mit Bohrstaub?

Temperaturmessung

Außentemperatur	.....	Innentemperatur	.....
Oberfläche außen	.....	Oberfläche innen	.....

7 Erdreichberührte Flächen

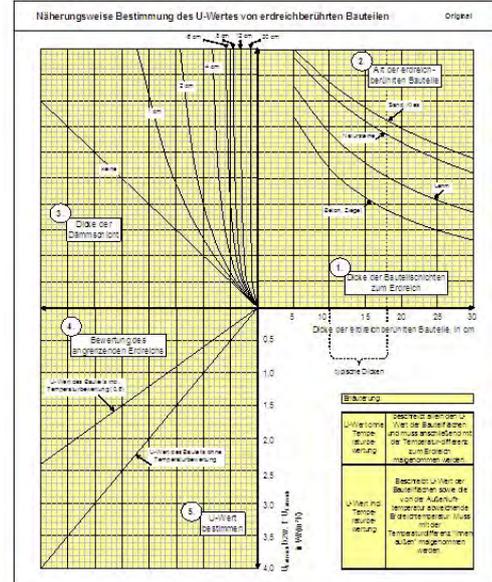


Bild 44 Auszüge aus dem Handbuch zur Bauteilbestimmung

6.2 Vor-Ort-Termine

Nach der Akquise der 92 Gebäude und der Erstellung der Aufnahmeformulare wurden die Gebäude innerhalb weniger Wochen zwischen Februar 2003 und Mai 2003 komplett erfasst. Dabei konnte auch auf die Hilfe von studentischen Mitarbeitern an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel zurückgegriffen werden.

Erste Vor-Ort-Termine

Während der ersten Begehung wurden der Gebäudeaufbau und die Anlagentechnik entsprechend der erarbeiteten Formulare erfasst. Darüber hinaus wurden Baupläne und vorhandene technische Berechnungen kopiert sowie Fotos der Gebäude und wichtiger Komponenten aufgenommen (Bild 45). Diese dienten u.a. dazu, später vereinfachte Anlagenschemata zu zeichnen oder die Komponenten hinsichtlich ihrer Druckverluste einzustufen.

Es wurden insgesamt etwa 850 Bilder aufgenommen.



Bild 45 Fotos von zwei aufgenommenen Heizungskellern

Spätere Vor-Ort-Termine

Die in der letzten Phase des Projekts zwischen August und Dezember 2004 durchgeführten Gespräche und Besichtigungen der Gebäude vor Ort dienten der Komplettierung der Daten. So wurden in etwa 60 Besuchen:

- fehlende Anlagendaten ergänzt,
- Messdaten hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft (korrekter Zählereinbau, Nutzerbefragung hinsichtlich Änderungen des Verhaltens oder Störungen),
- fehlende Gebäudemaße vermessen und die Außenbauteile hinsichtlich ihrer U-Werte ergänzt,
- eine erneute Nutzerbefragung zur Zufriedenheit durchgeführt und
- Messdaten aus Zählern rückwirkend für ein Jahr ausgelesen.

6.3 Hausordner

Alle im Rahmen des Projekts für ein Haus aufgenommenen Informationen wurden in einem Hausordner – siehe Bild 47 – gesammelt. Während des Projekts diente dieser Hausordner als Arbeitsgrundlage für die Fachhandwerker und die wissenschaftliche Begleitung. Im Vorfeld der Bestandsaufnahme wurden insgesamt 93 Hausordner von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) zusammengestellt.

<p>Hausordner</p>  <p>Projektpartner</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Innung Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven ○ Berufsbildende Schulen in Leer ○ FPB an der Universität Bremen ○ TWW e.V. an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel ○ Wjg GmbH in Dortmund <p>gefördert von der:</p>  <p>Erläuterung der Symbole</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ von den Optimus-Partnern bereitgestellte Dokumente ● vom Fachhandwerksunternehmen erhobene Daten und zusammengestellte Dokumente 	01	<p>Allgemeine Informationen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Optimus stellt sich vor ○ Projektablaufschema
	02	<p>Allgemeine Planungshilfen</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tipps und Tricks zur Anlagenoptimierung ○ Muster-Vorlage: Formulare A bis L ○ Muster-Vorlage: Raumdatenblatt
	03	<p>Erfassung der vorhandenen Objektdaten</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Gebäudepläne (Grundrisse, Schnitte, ...) ● Installationspläne (Heizung, Lüftung, Warmwasser, ...) ● Heizlastberechnung und Heizkörperdimensionierung (nach DIN 4701-1) ● Wärmeschutznachweis (Gebäudepässe, Energiepässe, ...) ● Rohrnetzberechnung ● Schornsteinfegerprotokoll
	04	<p>Aufnahme des Ist-Zustands von Gebäude und Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Formular A bis L ● Raumdatenblatt ● Systemcheckliste
	05	<p>Nutzerverhalten</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Nutzerbefragung vor der Optimierung
	06	<p>Messung 1. Jahr (vor der Optimierung)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Übersicht der Messdaten des 1. Jahres (Zählerstände) ○ Energiebilanz des 1. Jahres
	07	<p>Optimierung</p> <ul style="list-style-type: none"> ○/● Übersicht möglicher Verbesserungsvorschläge ● Modifikationscheckliste (umgesetzte Verbesserungsvorschläge) ● Dokumentation der durchgeführten Arbeiten und der neuen Plandaten (hyd. Abgleich, Regler, Thermostatventile, ...) in einer Fachunternehmererklärung
	08	<p>Messung 2. Jahr (nach der Optimierung)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Übersicht der Messdaten des 2. Jahres (Zählerstände) ○ Energiebilanz des 2. Jahres
	09	<p>Endbericht für Gebäude</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Kurzbericht mit Kurzbeschreibung des Ist-Zustandes, Fotos, vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen, umgesetzten Optimierungsmaßnahmen, Aussagen zur Energiebilanz (vorher - nachher), Aussagen zum Nutzerverhalten
	10	<p>Sonstiges</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ● ●

Bild 46 Inhaltsverzeichnis des Hausordners



Bild 47 Hausordner

Der zum Projektende vollständig gefüllte Hausordner enthält (siehe auch Bild 46):

- allgemeine Informationen zum OPTIMUS-Projekt,
- Planungs- und Arbeitshilfen, z.B. ausgefüllte Mustervorlagen für die Gebäudeerfassung,
- die Dokumentation des Ist-Zustand für das Gebäude in Form der ausgefüllten Aufnahmeformulare für das Gebäude und die Raumdatenblätter,
- Kopien von Plänen, Berechnungen, Skizzen der Anlage, Produktunterlagen u.ä.,
- Nutzerbefragungen,
- Zählerstände und Energiebilanzen für die gesamte Projektlaufzeit,
- die Optimierungsberechnung der Anlage,
- einen zusammenfassenden Endbericht für das Gebäude

Die Ordner wurden im Verlauf des Projekts von den Fachbetrieben bzw. von den OPTIMUS-Partnern mit Daten über Gebäude und Anlage gefüllt. Nach Abschluss des Projekts wird der Hausordner an die Gebäudebesitzer übergeben werden.

6.3.1 Formulare

Die im Rahmen der ersten Gebäudeaufnahme für alle Gebäude ausgefüllten Formulare werden nachfolgend erläutert.

Formular A nach Bild 48 enthält die Adressdaten für das Gebäude sowie den aufnehmenden Fachhandwerker. Es werden wesentliche Gebäudemerkmale, wie Baujahr und Gebäudetyp, Anzahl der beheizten Geschosse und die beheizte Fläche erfasst.

Formular B nach Bild 49 enthält die Daten zur nachträglichen Wärmedämmung des Gebäudes, zu Fenstern und Türen sowie der Heizkostenerfassung. Mit den Daten zur Dämmung und zu den Fenstern kann der U-Wert der Außenbauteile abgeschätzt werden. Die äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs $A_{Hüll}$ ist die äußere Umhüllungsfläche des beheizten Bereichs. Diese wird benötigt, um Gebäude mit verschiedenen Geometrien dennoch bezüglich Ihres Energieverbrauchs vergleichen zu können. Sie wird auf einem separaten Blatt (Bild 59) ermittelt.

Mit Hilfe des Formulars C nach Bild 50 werden für die mit Gas oder Öl versorgten Gebäude die Merkmale des Kessels, Brenners und Schornsteins erfasst. Die Mehrzahl der erfassten Daten dient der statistischen Auswertung des Ist-Zustands der OPTIMUS-Gebäude.

Bild 51 zeigt Formular D zur Beschreibung von Systemen zur Nah- und Fernwärme. Die vom Versorger bereitgestellten bzw. einzuhaltenden Temperaturen geben Aufschluss darüber, welche Vor- und Rücklauftemperaturen in der Hausanlage eingehalten werden müssen.

Formular A - Gebäudedaten

A01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	A15: Baujahr des Gebäudes (möglichst exakt): <input type="text"/>
A02: Straße des Gebäudes: <input type="text"/>	A16: Gebäudetyp (EFH, RH, MFH): <input type="text"/>
A03: Haus-Nr. des Gebäudes: <input type="text"/>	— Mittelhaus <input checked="" type="checkbox"/>
A04: Postleitzahl des Gebäudes: <input type="text"/>	— Endhaus <input checked="" type="checkbox"/>
A05: Standort des Gebäudes (Stadt): <input type="text"/>	— Ges. Gebäude <input checked="" type="checkbox"/>
A06: Nachname Besitzer: <input type="text"/>	A17: Lage des Gebäudes (Siehe Beiblatt)
A07: Nachname d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	— Normal <input checked="" type="checkbox"/>
A08: Vorname d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	— Frei <input checked="" type="checkbox"/>
A09: Firma d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	A18: Anzahl der bewohnten Geschosse: <input type="text"/>
A10: Tel. (Festnetz) d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	A18a: Anzahl der Räume d. beh. Bereichs: <input type="text"/>
A11: Tel. (Mobil) d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	A19: Keller vorhanden: <input checked="" type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
A12: Email d. Aufnehmenden: <input type="text"/>	A20: Keller beheizt: <input checked="" type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
A13: Datum der Aufnahme: <input type="text"/>	A22: AEB laut Aufn in m ² : <input type="text"/>
A14: Beginn der Aufnahme (Uhrzeit): <input type="text"/>	Externes Volumen V_e in m ³ : <input type="text"/>
A21: Anmerkungen: <input type="text"/>	Anzahl der VE THKVs: <input type="text"/>
	Anzahl der nicht VE THKVs: <input type="text"/>
	Status: <input type="text"/>

Bild 48 Formular A: Gebäudedaten

Formular B - Technische Gebäudedaten

B01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	B10: Äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs: <input type="text"/>
B02: Sind Wohnungs-Wärmemengenzähler vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	B11: Fenster-Angaben der am häufigsten verwendeten Fensterart:
B03: Sind Heizkörper mit Heizkostenverteilern ausgestattet? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	— Verglasungsart:
— Welches Fabrikat (Hersteller, Typen-Bezeichnung)?:	— 1 Scheiben-Verglasung (U=5,5) <input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	— 2 Scheiben-Isolierverglasung (U=3,0) <input type="checkbox"/>
B04: Ist die Gebäudehülle nachträglich gedämmt worden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	— 2 Scheiben-Wärmeschutzverglasung (U=1,5) <input type="checkbox"/>
B05: Dicke einer nachträglichen Gebäudedämmung in cm: <input type="text"/>	— 3 Scheiben-Isolierverglasung (U=2,1) <input type="checkbox"/>
— Wärmeleitfähigkeitsgruppe der nachträglichen Dämmung (Siehe Beiblatt): <input type="text"/>	— 3 Scheiben-Wärmeschutzverglasung (U=0,8) <input type="checkbox"/>
B06: Sind Heizkörper in Nischen befestigt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	— Rahmenmaterial:
B07: Tiefe der Heizkörpernischen (in cm): <input type="text"/>	— Holz <input type="checkbox"/>
B08: Ist die Kellerdecke gedämmt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	— Aluminium <input type="checkbox"/>
— Welche Art von Dämmung ist angebracht?:	— Aluminium gedämmt <input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	— Kunststoff <input type="checkbox"/>
B09: Ist die oberste Geschossdecke gedämmt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	— Kunststoff gedämmt <input type="checkbox"/>
— Welche Art von Dämmung ist angebracht?:	B12: Welcher Art ist die Außentür? (Glasanteil, Material, Größe, Dichtheit):
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Bild 49 Formular B: Technische Gebäudedaten

Formular C - Heizung (Gas / Öl)

C01: Gebäudeschlüssel: Wärmeerzeuger (Kessel und Brenner)

C02: Art der Energieversorgung (Öl / Gas):

C03: Art des Wärmeerzeugers (z.B. NT, BW, Standard):

C04: Fabrikat/Hersteller des Gerätes:

C05: Typ/Modell des Gerätes:

C06: Baujahr des Gerätes:

C07: Kesselwasserinhalt in l:

C08: Fabrikat/Hersteller des Gebläsebrenners:

Typ/Modell des Brenners:

Baujahr des Brenners:

C09: Kann der Brenner seine Leistung stufenlos modulieren? ja nein

Anzahl der Leistungsstufen:

C10: Maximaler Wärmeleistungsbereich (modulierender Kessel) oder Wärmeleistung der einzelnen Stufen in kW:

C11: Tatsächlicher Wärmeleistungsbereich (modulierender Kessel) oder Wärmeleistung:

C12: Maximal mögliche Vorlauftemperatur des Gerätes in °C:

gemäß Hersteller (für Wandgeräte):

C13: Einzuhaltender Kessel-Mindest-Volumenstrom (in l/h):

C14: Ist ein Überströmventil in den Kessel integriert? ja nein

Einstellwert eines kesselinternen Überström-Ventils in mbar:

C15: Kurzbeschreibung des Schornsteinsystems:

Ist bei herabsetzen der Abgastemperatur eine Versottung des Schornsteins zu befürchten? ja nein

gemäß Hersteller (für Mittel- und Großkessel):

C16: Einzuhaltende Kessel-Mindest-Rücklauftemperatur (in °C):

wenn ja, Rücklauftemperaturanhebung über einen Mischer oder eine Beimischpumpe

wenn Beimischpumpe:

Fabrikat der Beimischpumpe:

Typ der Beimischpumpe:

Baujahr der Beimischpumpe:

Eingestellte, elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe laut Typenschild:

C17: Durch interne Regelung sichergestellte Mindestkesselwassertemperatur:

Bild 50 Formular C: Heizung (Gas/Öl)

Formular D - Nah-Fernwärme

D01: Gebäudeschlüssel:

D02: Übergabeart Direkt Indirekt

D03: Pumpe im Sekundärkreislauf installiert? ja nein

D04: Anschlussleistung in kW:

D05: Wird die Rücklauftemperatur durch das Energieversorgungsunternehmen begrenzt (Durch einen Rücklauftemperaturregler RLR)? ja nein

Höchstzulässige Rücklauftemperatur (eingestellt am RLR) in °C:

D06: Anlagenschema (siehe Beiblatt):

D07: Vom Versorger resultierende Vorlauftemperatur bei +20 °C Außentemperatur:

Vom Versorger resultierende Vorlauftemperatur bei 0 °C Außentemperatur:

Vom Versorger resultierende Vorlauftemperatur bei -10 °C Außentemperatur:

D08: Lage des Primär-WMZ: vor hinter der Übergabestation (bei Indirekt)

D09: Wurde ein Strang separat messtechnisch erfasst? ja nein

Wenn ja wieviele Wohneinheiten werden von diesem Strang versorgt?:

D10: FW-Sonstiges:

Bild 51 Formular D: Nah- und Fernwärme

Formular E - Umwälzpumpen

E01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	
Heizungsstrang 1 - Heizungsumwälzpumpe	
E02: Bezeichnung (bei mehr als einem Heizkreis): <input type="text"/>	E02: Bezeichnung (bei mehr als einem Heizkreis): <input type="text"/>
E02a: Integrierte oder externe H _z g.-Pumpe?: <input type="text"/>	E02a: Integrierte oder externe H _z g.-Pumpe?: <input type="text"/>
E03: Fabrikat der Heizungspumpe: <input type="text"/>	E03: Fabrikat der Heizungspumpe: <input type="text"/>
E04: Typ der Heizungspumpe: <input type="text"/>	E04: Typ der Heizungspumpe: <input type="text"/>
E05: Baujahr der Heizungspumpe: <input type="text"/>	E05: Baujahr der Heizungspumpe: <input type="text"/>
E06: Art der Heizungspumpe (1-stufig, mehrstufig, stufenlos): <input type="text"/>	E06: Art der Heizungspumpe (1-stufig, mehrstufig, stufenlos): <input type="text"/>
E07: Wenn Stufenpumpe, Anzahl der Stufen: <input type="text"/>	E07: Wenn Stufenpumpe, Anzahl der Stufen: <input type="text"/>
E08: Eingestellte, elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe laut Typenschild in W: <input type="text"/>	E08: Eingestellte, elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe laut Typenschild in W: <input type="text"/>
E09: Regelungsart bei geregelten Pumpen (dp-const, dp-var oder nach Kesselregelung): <input type="text"/>	E09: Regelungsart bei geregelten Pumpen (dp-const, dp-var oder nach Kesselregelung): <input type="text"/>
E10: Eingestellte Förderhöhe (nur bei dp geregelter Pumpe mit einstellbarer Förderhöhe) in m: <input type="text"/>	E10: Eingestellte Förderhöhe (nur bei dp geregelter Pumpe mit einstellbarer Förderhöhe) in m: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Bereich der einstellbaren Förderhöhe in m: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Bereich der einstellbaren Förderhöhe in m: <input type="text"/>
E11: Anzahl der Wohnungen: <input type="text"/>	E11: Anzahl der Wohnungen: <input type="text"/>
E12: Ungefähre Anzahl der Bewohner: <input type="text"/>	E12: Ungefähre Anzahl der Bewohner: <input type="text"/>

Bild 52 Formular E: Umwälzpumpen

Formular F - TWW-Bereitung

F01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	
F02: Art der TWW-Bereitung: <input type="checkbox"/> zentral durch Hauptwärmeerzeuger <input type="checkbox"/> zentral durch separaten Öl/Gas Warmwasserbereiter <input type="checkbox"/> zentral elektrisch <input type="checkbox"/> dezentral elektrisch	F06: Ist zur Beladung des TWW-Speichers eine TWW-Speicher-Ladepumpe installiert? <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> oder ein Zweizeige-Umschaltventil: <input type="checkbox"/>
F03: Schaltzeiten für Beginn und Ende der TWW-Bereitung: <input type="text"/>	F07: Fabrikat der Speicher-Ladepumpe: <input type="text"/>
F04: TWW-Temperatur in °C: <input type="text"/>	F08: Typ der Speicher-Ladepumpe: <input type="text"/>
F05: Ist ein TWW-Speicher vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	F09: Eingestellte elektrische Leistungsaufnahme der Speicher-Ladepumpe: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Inhalt eines TWW-Speichers in l: <input type="text"/>	F10: Ist eine TWW-Zirkulation vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> Fabrikat des TWW-Speichers: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Fabrikat der TWW-Zirkulationspumpe: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Typ des TWW-Speichers: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Typ der TWW-Zirkulationspumpe: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Baujahr des TWW-Speichers: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Elektrische Leistungsaufnahme der TWW-Zirkulationspumpe laut Typenschild in W: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Steht der TWW-Speicher im unbeheizten Bereich? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> Regelung der TWW-Zirkulationspumpe (zeit-/temperaturgesteuert...): <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Wie ist der Dämmstandart des TWW-Speichers? <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> schlecht	<input type="checkbox"/> Laufzeit der TWW-Zirkulationspumpe pro Tag in h/d: <input type="text"/>

Bild 53 Formular F: Trinkwarmwasserbereitung

Formular G - Heizungs-Regelung und Anlagentechnik (allg.)	
G01: Gebäudeschlüssel	<input type="text"/>
G02: Art der zentralen Vorregelung:	<input type="text"/>
G03: Fabrikat/Hersteller der Regelung:	<input type="text"/>
G04: Typ/Modell der Regelung:	<input type="text"/>
G05: falls außentemperaturabhängige Regelungsart:	
Aus Regelung resultierende Vorlauftemperatur bei einer Außentemperatur von 20 °C:	<input type="text"/>
Aus Regelung resultierende Vorlauftemperatur bei einer Außentemperatur von 0 °C:	<input type="text"/>
Aus Regelung resultierende Vorlauftemperatur bei einer Außentemperatur von -10 °C:	<input type="text"/>
G06: Eingestellte Vorlauftemperatur in °C (bei konst. VL-Temp.):	<input type="text" value="0"/>
G07: Schaltzeiten für Beginn und Ende des täglichen Normalbetriebs der Heizung:	<input type="text"/>
G08: Eingestellte Heizgrenztemperatur in °C (wenn vorhanden):	<input type="text"/>
G09: Auslegungs-Vorlauf-Temperatur in °C:	<input type="text"/>
G10: Auslegungs-Rücklauf-Temperatur in °C:	<input type="text"/>

Bild 54 Formular G: Heizungsregelung und Anlagentechnik

Das Formular E nach Bild 52 stellt die Daten zur Umwälzpumpe zusammen. Diese werden sowohl für die Anlagenoptimierung als auch für die statistische Auswertung des Ist-Zustands der Anlage benötigt.

Bild 53 fasst die Fragen zur Trinkwarmwasserbereitung zusammen. Da die Optimierung durch die Fachhandwerker sich auf die Heizungsanlage bezieht, werden die in diesem Formular enthaltenen Daten allein aus Gründen der Statistik erhoben.

Formular G nach Bild 54 erfasst die Einstellung der vorhandenen Heizungsregelung. Die Art der zentralen Vorregelung könnte z. B. eine außenluft- oder eine raumtemperaturabhängige Vorlauftemperaturregelung, als auch eine rücklauftemperaturabhängige Regelung sein. Sie wird erfasst, da dies bei der Optimierung der Anlage berücksichtigt wird.

Für die energetische Bewertung des Gebäudes sowie statistische Auswertungen des typischen Anlagenzustands werden zahlreiche Daten über die Verteilnetze im Gebäude mit Hilfe des Formulars H nach Bild 55 erfasst. Die Angaben zur Länge des längsten Heizungsstrangs sowie zu den Thermostatventilen werden für die Heizungsoptimierung benötigt.

Bild 56 und Bild 57 fassen weitere allgemeine Daten über das Gebäude zusammen. So werden im Formular K die Ansprechpartner vermerkt. Hier sollte nach Möglichkeit eine mit dem Gebäude und der Anlagentechnik vertraute Person eingetragen werden. Dies könnte z. B. ein Hauswart sein, welcher als Ansprechpartner zu Verfügung steht. Der Besitzer/Verwalter ist z. B. eine Wohnbaugesellschaft oder auch eine Privatperson, der das Gebäude gehört. Die hier vermerkten Daten erleichtern den Kontakt im Projektverlauf.

In Formular L werden Angaben zu weiteren verfügbaren Daten zu Gebäude und Anlage gemacht. Die Anzahl der vermessenen Wohnungen sowie die Zeitpunkte von Beginn und Ende der Aufnahme bieten die Möglichkeit, Zeit- und damit Kostenkennwerte für die Datenerfassung zu bilden.

Formular H1 - Verteilnetz von Heizung und TWW	
H01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	H13: Ist eine Schwerkraftbremse vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Ist die Schwerkraftbremse mit Luftschleuse? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Verteilnetz Heizung	
H02: Bezeichnung des Heizungsstranges: <input type="text"/>	H14: Gibt es einen Filter? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
H03: Einstellwert eines ext. Überströmventils (wenn vorh.) in mbar: <input type="text"/>	H15: Gibt es ein Rückschlagventil? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
H04: Einstellwert eines Differenzdruckreglers (wenn vorhanden) in mbar: <input type="text"/>	H16: Ist ein Luftabscheider vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja, welcher Typ: <input type="text"/>
H05: Typ eines evt. vorhandenen Heizungs-mischers (3-Wege oder 4-Wege): <input type="text"/>	H17: Ist ein Luftsammelgefäß vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> Wird der Heizungs-mischer von einem Motor angetrieben? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	H18: Geschieht die Luftabführung über ein KFE-Ventil? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
H06: Länge des ungünstigsten Stranges der Heizung in m (nur Vorlauf): <input type="text"/>	H19: Ist ein Schnellentlüfter montiert? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> wenn ja, mit Lufteintrittssperre <input type="checkbox"/> ohne <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> auf Lüftungspumpe montiert? <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> auf Luftsammelgefäßen montiert? <input type="checkbox"/>
H07: Länge aller Heizungsleitungen (Vor- und Rücklauf) im unbeheizten Bereich in m: <input type="text"/>	H20: Fabrikat/Hersteller des MAG: <input type="text"/>
H08: Dämmstandard der Heizungsleitungen im unbeheizten Bereich: <input type="text"/>	H21: Typ/Modell des MAG: <input type="text"/>
H09: Liegt eine Zwei-Rohr-Heizung vor? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	H22: Eingestellter Vordruck des MAG in bar: <input type="text"/>
H10: Sind an den einzelnen Heizflächen Thermostatventile vorhanden? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Fabrikat/Hersteller der THKVs: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Typ/Modell der Thermostatventile: <input type="text"/>	H23: Größe des MAG in l: <input type="text"/>
H10a: THKVs mit oder ohne VE?: <input type="text"/>	H24: Stat. Höhe der Anlage in m: <input type="text"/>
H11: Handelt es sich um eine obere oder eine untere Heizungsverteilung? <input type="checkbox"/> obere <input type="checkbox"/> untere	H25: Ist der Anschluss des MAG mit einem KV-Ventil absperrbar? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
H12: Handelt es sich um eine sternförmige Heizungsverteilung? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	H26: Liegt der Anschlusspunkt des MAGs auf der Pumpen-Zulaufseite: <input type="checkbox"/> oder auf der Pumpen-Druckseite: <input type="checkbox"/>
Verteilnetz TWW	
	H27: Länge aller TWW- und TWW-Zirkulations-Leitungen im unbeheizten Bereich in m: <input type="text"/>
	H28: Dämmstandard der TWW- und TWW-Zirkulations-Leitungen im unbeheizten Bereich: <input type="text"/>
	H29: Handelt es sich um eine obere oder eine untere TWW-Verteilung? <input type="checkbox"/> obere <input type="checkbox"/> untere

Bild 55 Formular H1: Verteilnetz von Heizung und Trinkwarmwasser

Formular K - Ansprechpartner	
K01: Gebäudeschlüssel: <input type="text"/>	
K02: Ansprechpartner:	K03: Besitzer/Verwalter:
- Anrede Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Anrede Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Vorname Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Vorname Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Nachname Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Nachname Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Position/Titel Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Position/Titel Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Firma Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Firma Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Telefonnummer Ansprechpartner (Festnetz): <input type="text"/>	- Telefonnummer Besitzer/Verwalter (Festnetz): <input type="text"/>
- Telefonnummer Ansprechpartner (Mobiltelefon): <input type="text"/>	- Telefonnummer Besitzer/Verwalter (Mobiltelefon): <input type="text"/>
- Faxnummer Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Faxnummer Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- Emailadresse Ansprechpartner: <input type="text"/>	- Emailadresse Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>
- sonstiges Ansprechpartner: <input type="text"/>	- sonstiges Besitzer/Verwalter: <input type="text"/>

Bild 56 Formular K: Ansprechpartner

Formular L - Statistik

L01: Gebäudeschlüssel:

L02: Wurde die letzte Verbrauchskostenabrechnung beigefügt? ja nein

L03: Liegt ein Wärmeschutznachweis für das Gebäude vor? ja nein

L04: Wurden Zeichnungen für das Gebäude beigefügt (Ansichten, Grundrisse, Strangschemata)?

L04: Liegen Fotos der Gebäudeansichten vor?

L05: Liegt eine Heizlastberechnung nach DIN 4701 vor? (Wenn ja fügen Sie diese bitte dem Hausordner bei) ja nein

L06: Ist das letzte Schornsteinfegerprotokoll den Daten beigefügt? ja nein

L07: Wurde ein vereinfachtes Anlagenschema erstellt und beigefügt? ja nein

L08: Wurde ein Wartungsvertrag abgeschlossen? ja nein

L09: Anzahl der aufgenommenen Wohnungen:

L10: Ende der Aufnahme (Uhrzeit):

sonstiges:

L11: Bitte folgende Unterlagen den Aufnahme-Formularen beifügen:

- Wenn vorhanden, Abrechnungen über Strom, Gas, Wasser, Wärme, Öl der letzten zwei Jahre
- Skizze des Anlagenschema der hydraulischen Verschaltung des Wärmeerzeugers und der Messeinrichtungen (WMZ)

Unterschrift der/des Aufnehmenden:

Bild 57 Formular L: Statistik

Für alle beheizten Räume wurden bei der Gebäudebegehung Raumdatenblätter nach Bild 58 ausgefüllt. Für baugleiche Räume (mit gleicher Heizkörperausstattung) ist das Ausfüllen eines Raumdatenblatts ausreichend. Neben der Wohnungsbezeichnung (z.B. Mietername), einer fortlaufenden Raumnummer und einer eindeutige Raumbezeichnung ist die Lage des Raums anzugeben.

Die wichtigsten raumweise erfassten Daten sind die geometrischen Daten (Grundfläche des Raums, die Raumhöhe ggf. das Raumvolumen), die Begrenzungsflächen und Daten zu Heizflächen und Thermostatventilen. Durch die Begrenzungsflächen verliert der Raum Wärme. Es ist natürlich von Bedeutung, welche Temperatur dahinter herrscht. Damit dort keine Temperatur gemessen werden muss, wird hier nur eine "Art des angrenzenden Raumes" angegeben (z.B. Erdboden, Flur usw.). Es sind alle Begrenzungsflächen aufzunehmen, bei denen die Temperatur auf der Rückseite der Begrenzungsfläche im Auslegungsfall mindestens 5 K geringer geschätzt wird als die Temperatur in dem aufzunehmenden Raum.

Die Art und Größe der Heizflächen ist so genau wie möglich zu beschreiben, so dass man später die Normleistung ermitteln kann. Die Entfernung des Raums zur Pumpe ist gut zu schätzen (in drei Stufen). Über die Ventile sind Angaben zu machen. Dabei ist es besonders bei voreinstellbaren Ventilen wichtig, dass ermittelt wird, welcher Typ eingebaut ist. Im Büro muss für diesen Typ aus dem Herstellerdiagramm oder aus den Auflistungen in diesem Handbuch die Voreinstellung herausgesucht werden. Auch der Nenndurchmesser DN sollte notiert werden, falls Ventile ausgetauscht werden müssen.

Dieses Datenblatt muss durch den Handwerker für die Optimierungsberechnung der Anlagentechnik (überschlägige Heizlastberechnung, überschlägige Rohrnetzrechnung) ausgefüllt werden.

Raumdatenblatt



1. Wohnung (z.B. Name d. Nutzers):

Raum-Nr. (fortlaufend):

Raumbezeichnung:

1. & 2. Ziffer d. Gebäudeschlüssels:

KG	EG	1. OG	2. OG	DG

2. Allgemein:

Fläche des Bodens in m²:

Raumhöhe in m:

Ist der Raum kubisch?

Wenn nicht kubisch
Raumvolumen in m³:

<input checked="" type="checkbox"/> ja	\leftrightarrow	<input type="checkbox"/> nein

3. Begrenzungsflächen, die an Außenluft, Erdreich oder Räume m. anderen Temperaturen grenzen ($\Delta t > 5K$):

Begrenzungsfläche: z. B. AW = Außenwand, DS = Dachschräge, IW = Innenwand, DK = Decke, FB = Fläche des Fußbodens
Art d. angrenzenden Raums: z. B. AuL = Außenluft; DB = Dachboden; ER = Erdreich; unbeh. Flur; unbeh. Treppenhaus

Lfd. Nr.	Begrenzungsfläche	Fläche in m ² (inkl. Fenster)	Art des angrenzenden "Raumes"	1. Fenster / Tür		2. Fenster / Tür		3. Fenster / Tür		4. Fenster / Tür	
				Breite in m	Höhe in m						
1	FB			<input checked="" type="checkbox"/>							
2	DK			<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
3				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
4				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
5				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
6				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
7				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
8				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
9				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						
10				<input type="checkbox"/> Fenster	<input type="checkbox"/> Tür						

4. Heizflächen:

Heizkörper Nr.	1			2			3		
HK Bauart (z. B. Platten-HK, Radiator, Konvektor, FbHtg.)									
Baugröße d. HKs (z. B. 22x600x900 o. 14/250/680) oder Normleistung (bei 75/65/20°C) in W									
Entfernung zur Pumpe (mittel = 33...66 % der Länge des längsten Strangs)	nah	mittel	weit	nah	mittel	weit	nah	mittel	weit
Heizkreis Bezeichnung									
Fabrikat, Typ und DN des Thermostatventils									
Thermostatventil voreinstellbar?	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein
Welche Voreinstellung?									
Rücklaufverschraubung einstellbar?	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein
Wurde eine Voreinstellung an dem RL-Ventil vorgenommen?	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein	ja	\leftrightarrow	nein

Anmerkungen: (von den Angaben im Formular abweichende Daten für z. B. Fenster, Außen- u. Innentüren sowie Dämmung oder z. B. "Raum identisch in 1. OG")

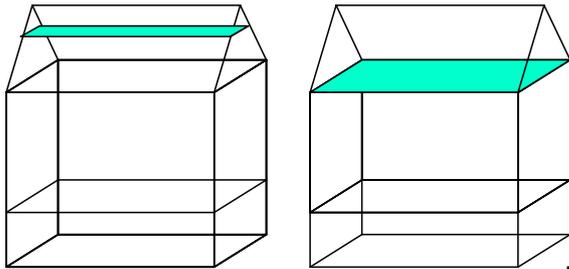
Bild 58 Raumdatenblatt

Hüllfläche des beheizten Bereichs



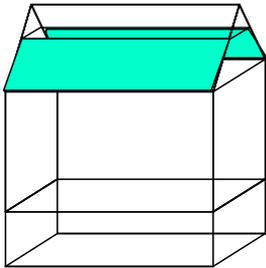
1. & 2. Ziffer d. Gebäudeschlüssels:
Fensterfläche ohne Dachfenster:
Fläche der Dachfenster:

Alle Flächen in m² inklusive Fenster eintragen !

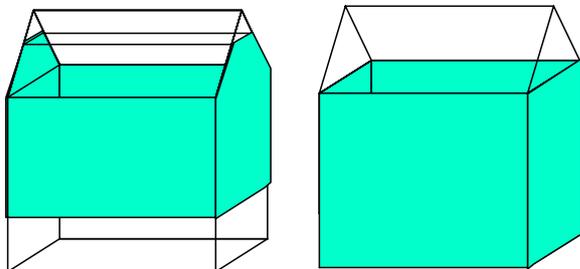


Fläche des Spitzbodens (bei
beheiztem Dachraum):
oder

Fläche der obersten Geschosdecke:



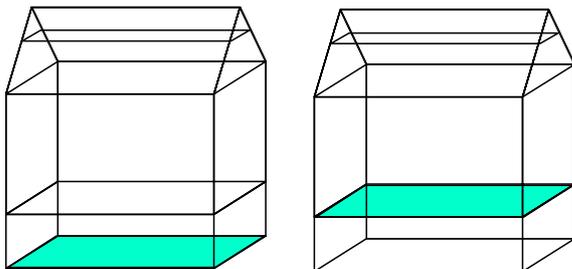
Dachschrägen (nur bei beheiztem Dachraum):



Fläche der Innenwände zu unbeheizten Räumen:

Fläche der Außenwände des beheizten Bereichs an Außenluft:

Fläche der Außenwände des beheizten Bereichs an Erdreich:



Grundfläche an unbeheizten Keller:
oder

Grundfläche an Erdreich (bei beheiztem Keller):

Im Hüllflächenblatt nach Bild 59 sind die Gebäudeaußenmaße aufzunehmen. Mit Hilfe der Hüllfläche, d.h. der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, die den beheizten Bereich einschließt, werden im Rahmen des Projekts die Wärmeverluste für Transmission bestimmt. Die Berechnung der Wärmeverluste im Rahmen einer Energiebilanz ist Teil der wissenschaftlichen Bewertung der Gebäude. Für die Optimierung der Anlagentechnik durch den Handwerker muss dieses Blatt nicht ausgefüllt werden.

Es ist ratsam, in den vorhandenen Bildern gleichzeitig die gemessenen Werte der Längen, Breiten und Höhen zu vermerken, damit später auch das Gebäudevolumen ermittelt werden kann. Das Anlegen eines Mieterspiegels ist im MFH sinnvoll sowie eine Skizze, wo die aufgenommenen Wohnungen und dazu baugleiche Wohnungen im Gebäude liegen.

6.3.2 Nutzerbefragung

Während der Ersterfassung wurden mit den Nutzern bzw. Hausmeistern der Gebäude Befragungen durchgeführt. Die entsprechenden Fragebögen zeigen Bild 60 und Bild 61. Kernpunkte der Erstbefragung sind die Anwesenheitszeit der Nutzer (Abschätzung des Einflusses auf die Energiebilanz), ihr Komfortverhalten (hinsichtlich Temperatur und Lüftung), die Kenntnisse über die Heizungstechnik (Thermostatventil, Regelung) und die Abfrage eventuell vorhandener Probleme.

Die Ergebnisse der Befragung der Nutzer bei der ersten Begehung sind in Abschnitt 6.4.5 zusammengestellt.

<p>Sehr geehrter Zentralheizungs- und Lüftungsbauer,</p> <p>wie Sie wissen, können das Heizverhalten und die Nutzungsanforderungen den Energieverbrauch spürbar beeinflussen. Zur optimalen Einstellung einer Heizungsanlage ist es daher nützlich, zu wissen worauf die Bewohner Wert legen und wie ihre bisherigen Erfahrungen mit der Anlage sind. So kann es beispielsweise wichtig sein zu wissen, ob vielleicht bestimmte Störungen schon häufiger aufgetreten sind.</p> <p>Zugleich bieten solche Befragungen eine gute Gelegenheit zur Information und Beratung der Nutzer und können helfen, das Vertrauen in Ihr Unternehmen zu stärken.</p> <p>Die Kernpunkte dieser Befragung sind:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die objektiven Anforderungen – wann werden welche Räume wozu genutzt? 2. Die subjektiven Bedürfnisse der Bewohner – von mäßig warm bis leicht gekühlt. 3. Das Heizverhalten. 4. Der Umgang und die Zufriedenheit mit der Anlagentechnik. <p>Um dazu Informationen zu erhalten, haben wir diesen Fragebogen erstellt. Gehen Sie ihn bitte Punkt für Punkt mit den Bewohnern durch. Sollten Ihnen im Gespräch noch andere Dinge auffallen, so notieren Sie diese bitte unter 11.</p> <p>Je genauer wir Bescheid wissen, umso eher können wir die richtigen Entscheidungen treffen!</p> <hr/> <p>1. Unsere Wohnung/unser Haus wird</p> <p style="margin-left: 150px;"><input type="radio"/> eher regelmäßig genutzt. <input type="radio"/> eher unregelmäßig genutzt (z.B. durch Schichtarbeit, häufige Reisen, etc.).</p> <p>2. In der Regel sind wir</p> <p style="margin-left: 150px;"><input type="radio"/> den ganzen Tag zu Hause. <input type="radio"/> vormittags zu Hause. <input type="radio"/> nachmittags zu Hause. <input type="radio"/> abends zu Hause.</p> <p>3. Ich schätze uns eher als Menschen mit</p> <p style="margin-left: 150px;"><input type="radio"/> geringem (unter 20°C) Wärmebedarf ein. <input type="radio"/> mittlerem (20 – 22°C) Wärmebedarf ein. <input type="radio"/> hohem (über 22°C) Wärmebedarf ein.</p> <p>4. Wir heizen</p> <p style="margin-left: 150px;"><input type="radio"/> die gesamte Wohnung/das gesamte Haus gleichmäßig auf. <input type="radio"/> verschiedene Räume je nach ihrer Nutzung unterschiedlich.</p> <p>5. In folgenden Räumen haben wir es gerne schön warm:</p> <p>_____</p> <p>In folgenden Räumen benötigen wir die Heizung kaum/selten:</p> <p>_____</p> <p>6. Folgende Räume nutzen wir anders als ursprünglich für diese Wohnung/dieses Haus geplant (z.B. das Schlafzimmer als Wohnzimmer):</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>7. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Benutzung der Thermostatventile. Bitte kreuzen Sie diejenige an, die Ihrem Verhalten am nächsten kommt:</p> <p><input type="radio"/> Wenn ich in einen kalten Raum komme, drehe ich das Thermostatventil zunächst voll auf und stelle es dann zurück, wenn es warm ist. <input type="radio"/> Wenn ich in einen kalten Raum komme, drehe ich das Thermostatventil in die Stellung (___) von der ich weiß, dass sie der optimalen Temperatur entspricht. <input type="radio"/> Je nach dem, ob mir kalt oder warm ist, drehe ich das Thermostatventil auf oder zu. <input type="radio"/> Wenn ich einen Raum für einige Zeit verlasse, drehe ich das Thermostatventil zu. <input type="radio"/> Wenn ich einen Raum für einige Zeit verlasse, drehe ich das Thermostatventil nur ein wenig zurück, damit der Raum nicht so auskühlt. <input type="radio"/> Auch wenn ich einen Raum längere Zeit verlasse, lasse ich die Heizung an. <input type="radio"/> In den folgenden Räumen muss das Thermostatventil ganz aufgedreht werden, damit es warm wird:</p> <p>_____</p> <p>8. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf das Lüftungsverhalten. Bitte kreuzen Sie diejenige an, die Ihrem Verhalten am nächsten kommt. Mehrere Antworten sind möglich.</p> <p><input type="radio"/> Im Winter lüfte ich so selten wie möglich. Wenn ich lüfte, drehe ich das Thermostatventil aus und öffne das Fenster für einige Minuten ganz. <input type="radio"/> Ich lüfte, indem ich die Fenster kippe, während ich weg bin. <input type="radio"/> Ich lüfte, indem ich die Fenster mehrmals täglich für einige Minuten kippe. <input type="radio"/> In den Wohnräumen lasse ich die Fenster über Nacht gekippt. <input type="radio"/> Ich würde gerne Stösslüften, doch leider stehen die Fensterbänke voller Blumen (oder andere Gegenstände). <input type="radio"/> Folgende Räume (z.B. das Schlafzimmer) lüfte ich über längere Zeiträume, es sei denn es ist wirklich sehr kalt:</p> <p>_____</p> <p>9. <input type="radio"/> Unsere Heizungsanlage funktioniert tadellos.</p> <p>Unsere Heizungsanlage hat immer wieder folgende Probleme:</p> <p><input type="radio"/> In unseren Heizkörpern befindet sich häufig Luft (gluckern, blubbern). <input type="radio"/> Wir müssen regelmäßig Wasser nachfüllen (lassen). <input type="radio"/> Wenn es richtig kalt ist, bekommen wir die folgenden Räume nicht ausreichend geheizt:</p> <p>_____</p> <p>10. Wir kennen uns mit unserer Heizungsanlage so gut aus, dass wir</p> <p><input type="radio"/> selbst Wasser nachfüllen und entlüften können. <input type="radio"/> selbst die Zeitschaltuhr nach unseren Bedürfnissen programmieren können. <input type="radio"/> nach Bedarf die Einstellung der automatischen Regelung verändern können. <input type="radio"/> die Anlage selbstständig in Betrieb nehmen und außer Betrieb setzen können.</p> <p>11. Bemerkungen, Sonstiges</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bild 60 Nutzerbefragung für Einfamilienhausbewohner und Eigentümer

<p>Sehr geehrter Zentralheizungs- und Lüftungsbauer,</p> <p>wie Sie wissen, können das Heizverhalten und die Nutzungsanforderungen den Energieverbrauch spürbar beeinflussen. Zur optimalen Einstellung einer Heizungsanlage ist es daher nützlich, zu wissen worauf die Bewohner Wert legen und wie ihre bisherigen Erfahrungen mit der Anlage sind. So kann es nützlich sein zu wissen, ob vielleicht bestimmte Störungen schon häufiger aufgetreten sind.</p> <p>Die Kernpunkte dieser Befragung sind:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Heizverhalten. 2. Die Zufriedenheit mit der Anlagentechnik. <p>Gehen Sie den Fragebogen bitte Punkt für Punkt mit dem Hausmeister und ggf. einigen Bewohnern durch. Sollten Ihnen im Gespräch noch andere Dinge auffallen, so notieren Sie diese bitte unter 11.</p> <p>Je genauer wir Bescheid wissen, umso eher können wir die richtigen Entscheidungen treffen!</p> <hr/> <p>Fragen an die Bewohner:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Benutzung der Thermostatventile. Bitte kreuzen Sie diejenige an, die Ihrem Verhalten am nächsten kommt: <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Wenn ich in einen kalten Raum komme, drehe ich das Thermostatventil zunächst voll auf und stelle es dann zurück, wenn es warm ist. <input type="radio"/> Wenn ich in einen kalten Raum komme, drehe ich das Thermostatventil in die Stellung () von der ich weiß, dass sie der optimalen Temperatur entspricht. <input type="radio"/> Je nach dem, ob mir kalt oder warm ist, drehe ich das Thermostatventil auf oder zu. <input type="radio"/> Wenn ich einen Raum für einige Zeit verlasse, drehe ich das Thermostatventil zu. <input type="radio"/> Wenn ich einen Raum für einige Zeit verlasse, drehe ich das Thermostatventil nur ein wenig zurück, damit der Raum nicht so auskühlt. <input type="radio"/> Auch wenn ich einen Raum längere Zeit verlasse, lasse ich die Heizung an. <input type="radio"/> In den folgenden Räumen muss das Thermostatventil ganz aufgedreht werden, damit es warm wird: 2. Die folgenden Aussagen beziehen sich auf das Lüftungsverhalten. Bitte kreuzen Sie diejenige an, die Ihrem Verhalten am nächsten kommt. Mehrere Antworten sind möglich. <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Im Winter lüfte ich so selten wie möglich. Wenn ich lüfte, drehe ich das Thermostatventil aus und öffne das Fenster für einige Minuten ganz. <input type="radio"/> Ich lüfte, indem ich die Fenster kippe, während ich weg bin. <input type="radio"/> Ich lüfte, indem ich die Fenster mehrmals täglich für einige Minuten kippe. <input type="radio"/> In den Wohnräumen lasse ich die Fenster über Nacht gekippt. <input type="radio"/> Ich würde gerne Stosslüften, doch leider stehen die Fensterbänke voller Blumen (oder andere Gegenstände). <input type="radio"/> Folgende Räume (z.B. das Schlafzimmer) lüfte ich über längere Zeiträume, es sei denn es ist wirklich sehr kalt: 	<ol style="list-style-type: none"> 3. <input type="radio"/> Unsere Heizungsanlage funktioniert tadellos. <p>Unsere Heizungsanlage hat immer wieder folgende Probleme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> In unseren Heizkörpern befindet sich häufig Luft (gluckern, blubbern). <input type="radio"/> Manchmal pfeifen die Thermostatventile. <input type="radio"/> Wenn es richtig kalt ist, bekommen wir die folgenden Räume nicht ausreichend geheizt: <hr/> <hr/> <p>Fragen an den Hausmeister:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. <input type="radio"/> Die Heizungsanlage in diesem Gebäude funktioniert meiner Meinung nach tadellos. <p>Es gibt immer wieder folgende Probleme oder Beschwerden der Bewohner:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Belästigung durch lautes Pfeifen oder Quitschen. <input type="radio"/> Ungenügende Heizleistungen bei starker Kälte, insbesondere in folgenden Wohnungen/Räumen: <hr/> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Andere Probleme: <hr/> <hr/> <ol style="list-style-type: none"> 4. Bemerkungen, Sonstiges <hr/> <hr/>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bild 61 Nutzerbefragung für Mehrfamilienhausbewohner und Hausmeister

<p>Gebäude Nr.: ___|___|___|___ Optimierung: <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein</p> <p>Straße und Hausnummer:</p> <p>Ort:</p> <p>Name des Befragten:</p> <p><input type="radio"/> Mieter/ Bewohner <input type="radio"/> Hausmeister <input type="radio"/> sonstige:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fragen zur Behaglichkeit <ol style="list-style-type: none"> a) Manche Räume werden nicht ausreichend beheizt, wenn es richtig kalt ist <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten <input type="radio"/> Das Problem ist in der Heizperiode 03/04 neu aufgetreten b) Die Räume werden unterschiedlich schnell warm bei Aufheizvorgängen <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten c) Manche Heizkörper sind abwechselnd sehr heiß und dann wieder kalt, die Raumtemperatur schwankt <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten d) Es ist häufig Luft in der Anlage (Gluckern, Blubbern) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten e) Es gibt lästige Geräusche in der Anlage (Pfeifen, Rauschen) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten <input type="radio"/> Das Problem ist in der Heizperiode 03/04 neu aufgetreten f) Es dauert bei manchen Räumen sehr lange, bis sie die gewünschte Temperatur haben (z.B. nach der Nachtabsenkung) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Das Problem war nie vorhanden <input type="radio"/> Deutliche Besserung in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Das Problem war schon immer vorhanden/ es ist keine Verbesserung aufgetreten <input type="radio"/> Das Problem ist in der Heizperiode 03/04 neu aufgetreten g) Gesamteindruck Behaglichkeit <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Die Behaglichkeit hat sich in der Heizperiode 03/04 deutlich gebessert <input type="radio"/> Keine Verbesserung der Behaglichkeit in der Heizperiode 03/04 <input type="radio"/> Verschlechterung der Behaglichkeit in der Heizperiode 03/04 2. Bemerkungen <hr/> <hr/>	<p>Gebäude Nr.: ___|___|___|___ Optimierung: <input type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein</p> <p>Straße und Hausnummer:</p> <p>Ort:</p> <p>Name des Befragten:</p> <p><input type="radio"/> Mieter/ Bewohner <input type="radio"/> Hausmeister <input type="radio"/> sonstige:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Wurden an der Anlagentechnik zwischen Frühjahr 03 und Herbst 03 Änderungen durchgeführt? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Einstellung einer Nachtabsenkung <input type="radio"/> Einstellung der Heizgrenztemperatur <input type="radio"/> Einstellung der Heizkurve (z.B. Änderung der Raumtemperatur oder Vorlauftemperatur) <input type="radio"/> sonstige Änderungen. <input type="radio"/> nein, keine Änderungen 2. Wurden an der Gebäudehülle zwischen Frühjahr 03 und Herbst 03 Änderungen durchgeführt? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Anbringen einer nachträglichen Dämmung <input type="radio"/> Einbau neuer Fenster <input type="radio"/> sonstige Änderungen: <input type="radio"/> nein, keine Änderungen 3. Hat sich die Anzahl der Personen im Haushalt seit Frühjahr 2003 geändert? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja, es ist/ sind ___ Person/en dazugekommen <input type="radio"/> ja, es ist/ sind ___ Personen weniger geworden <input type="radio"/> sonstige Änderungen (z.B. Mieterwechsel): <input type="radio"/> nein, keine Änderungen 4. Hat sich das Heizverhalten seit Frühjahr 2003 geändert? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> insgesamt sparsamer, bewussteres Heizverhalten (z.B. Lüftungsverhalten: anstatt Kipplüftung Stoßlüftung, Schließen der Thermostatventile bei Fensteröffnen oder Verlassen des Raumes/ Hauses) <input type="radio"/> folgende Heizflächen sind nicht mehr in Betrieb: <input type="radio"/> in folgenden Räumen nur noch Temperierung: <input type="radio"/> nein, keine Änderungen 5. Sind Sie in der Heizperiode 2003/ 2004 häufiger im Urlaub/ außer Haus gewesen als in der HP 2002/ 2003? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja, ___ Wochen in der HP 02/03, ___ Wochen in der HP 03/04 <input type="radio"/> sonstige Änderungen (z.B. durch Arbeitsplatz bedingt nur am Wochenende zu Hause): <input type="radio"/> nein 6. Waren Bestandteile der Anlagentechnik in der HP 03/04 längere Zeit defekt (z.B. WMZ)? <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ja, der Zähler war defekt und wurde ausgetauscht <input type="radio"/> sonstige Änderungen: <input type="radio"/> nein, keine Änderungen 7. Bemerkungen <hr/> <hr/>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bild 62 Nutzerbefragung zur Behaglichkeit und zum Heizverhalten

Während einer zweiten Begehung sehr vieler Gebäude Ende 2004 wurde die Befragung der Nutzer wiederholt. Diesmal konzentrierten sich die Fragen auf mögliche Veränderungen seit der Erstbefragung – siehe Bild 62. So wurde u.a. ermittelt, ob alle Räume gleichmäßig beheizt werden, Geräusche vorhanden sind und welchen Gesamteindruck die Anlage macht. Insbesondere für die optimierten Gebäude konnten so – neben der Bewertung durch die Energiebilanz – auch subjektive Effekte erfasst werden. Die Erkenntnis der zweiten Befragung sind in Abschnitt 8.4 beschrieben.

Die Fragen hinsichtlich eines geänderten Nutzerverhaltens oder Änderungen an Gebäude oder Anlagentechnik wurden nur den Gebäudebewohnern gestellt, in deren Gebäuden sich auffällige Energieverbräuche ergeben hatten. Diese Gebäude wurden dann (ab dem Zeitpunkt der Änderung) nicht mehr hinsichtlich der Energiedaten ausgewertet.

6.4 Status der untersuchten Gebäude

Die bei der Gebäudeaufnahme gesammelten Informationen der OPTIMUS-Gebäude wurden systematisch ausgewertet, um ein Bild über die typische Anlage sowie den typischen Zustand der Baukörper und Nutzung zu erhalten [48] [28]. **Es zeigt sich, dass fast alle Komponenten überdimensioniert sind und der hydraulische Abgleich mit Pumpen- und Reglereinstellung praktisch nie durchgeführt wird.** Eine Detailbeschreibung folgt.

6.4.1 Einzelmerkmale Baukörper

Beheizte Fläche und Nutzfläche

Die beheizte Fläche der untersuchten Gebäude, die fiktive Nutzfläche nach EnEV (berechnet aus dem umbauten Volumen mit $0,32 \text{ m}^{-1} \cdot V_e$) und das Verhältnis beider Flächen kann Tabelle 11 entnommen werden. Die neben dem Merkmal angegebene Zahl entspricht der Anzahl auswertbarer Gebäude.

	Baualter	beheizte Fläche A_{EB} , in $[\text{m}^2]$	Zahl	fiktive Nutzfläche A_N , in $[\text{m}^2]$	Zahl	Verhältnis A_N/A_{EB} , in [-]	Zahl
EFH	bis 1977	145	25	154	21	1,16	21
	1978 bis 1994	168	9	220	6	1,26	6
	ab 1995	157	15	184	10	1,11	10
	alle	153	49	173	37	1,16	37
MFH	bis 1977	761	21	838	17	1,05	17
	1978 bis 1994	833	11	993	10	1,14	10
	ab 1995	1043	8	1102	7	1,10	7
	alle	837	40	938	34	1,09	34

Tabelle 11 Statistik der beheizten Flächen

Die fiktive Nutzfläche A_N ist bei den Einfamilienhäusern etwa 16 % und bei den untersuchten Mehrfamilienhäusern etwa 9 % größer als die tatsächliche beheizte (vermietete) Fläche. Größere Unterschiede zwischen diesen beiden Flächenwerten finden sich v. a. in neuen Gebäuden mit stärkeren Wanddicken durch Wärmedämmungen.

Kompaktheit und Fensterflächenanteil

Die Kompaktheit, d.h. das Verhältnis Hüllfläche A bezogen auf das umbaute Volumen V_e bzw. bezogen auf die beheizte Fläche A_{EB} ist in Tabelle 12 zusammengestellt. Wegen des relativ großen Anteils von Mittelhäusern und Etagenwohnungen ergeben sich im Mittel recht kompakte Gebäude.

Der Fensterflächenanteil der untersuchten Gebäude liegt im flächengewichteten Mittel bei 24 % (Anteil der Fenster bezogen auf die gesamte Fläche, die direkt mit Außenluft in Verbindung steht). Bei den EFH liegt der Anteil bei 19 %, bei den MFH bei 25 %.

	Baualter	Kompaktheit A/V_e , in $[m^{-1}]$	Zahl	Kompaktheit A/A_{EB} , in [-]	
EFH	bis 1977	0,62	21	2,13	25
	1978 bis 1994	0,63	6	2,28	9
	ab 1995	0,68	10	2,22	12
	alle	0,64	37	2,20	46
MFH	bis 1977	0,64	15	2,04	19
	1978 bis 1994	0,55	10	1,96	11
	ab 1995	0,43	7	1,53	8
	alle	0,56	32	1,89	38

Tabelle 12 Kompaktheit

Mittlerer U-Wert

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient für die untersuchten Gebäude – geschätzt aus den o. a. Tabellenwerken - ist in Bild 63 wiedergegeben. Gestaffelt nach den vorher definierten Baualternsklassen ist sehr gut die Verbesserung des Baustandards zu erkennen. Die Werte in Klammern geben die Anzahl der untersuchten Gebäude an.

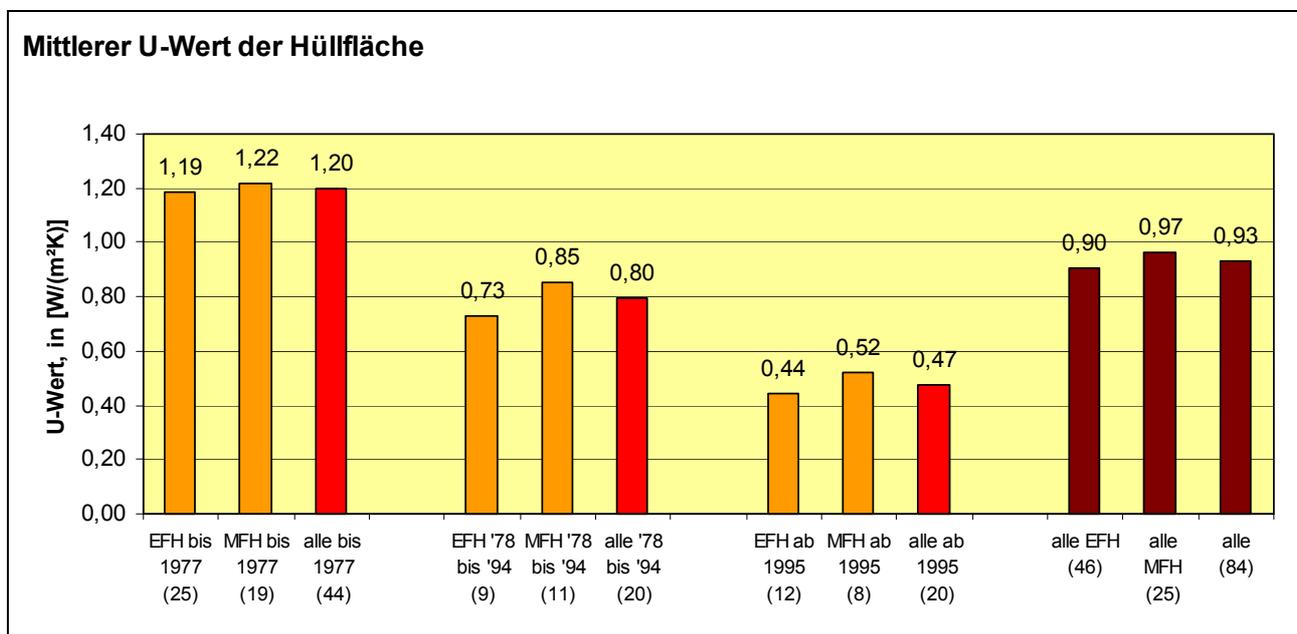


Bild 63 Mittlerer U-Wert der Gebäudehüllfläche

Der berechnete mittlere U-Wert schließt bei Bauteilen, die nicht direkt an Außenluft grenzen, auch die Temperatur-Abminderungsfaktoren F mit ein (vgl. Abschnitt 3.2.1). Er ist daher ein Maß für die Transmissionswärmeverluste.

Die U-Werte der einzelnen Bauteile wurden anhand einer Begutachtung der Außenbauteile vor Ort mit dem Bauteilhandbuch (vgl. Abschnitt 6.1.4) sowie anhand evtl. vorhandener Planungsunterlagen bestimmt. Fehlende Werte wurden einer Typologie (siehe Anhang) entnommen.

6.4.2 Einzelmerkmale Heizungsanlage

Wichtige Merkmale der Heizungsanlage werden – vom Heizkörper bis zum Wärmeerzeuger – nach folgend detailliert erläutert.

Heizkörperleistung und Heizlast

Die Ergebnisse einer vereinfachten Heizlastberechnung für die Gebäude sowie die vorhandenen installierten Heizkörperleistungen zeigt Tabelle 13. Bei der Heizlastberechnung wurde entsprechend den Vorgaben der früheren DIN 4701 für den Standort Wilhelmshaven von einer minimalen Außentemperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgegangen, für Bremen von $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ und für alle anderen Standorte von $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Der Transmissionswärmeverlust wurde auf Basis des mittleren U-Wertes der Gebäu-

dehülle bestimmt. Es wurden keine Wärmeflüsse zwischen beheizten Räumen angesetzt. Der raumweise Luftwechsel wurde mit $0,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

	Baualter	auf die beheizte Fläche bezogene Raumheizlast, in $[\text{W/m}^2]$	Zahl	auf die beheizte Fläche bezogene Heizkörpernormleistung bei $75/65^\circ\text{C}$, in $[\text{W/m}^2]$	Zahl
EFH	bis 1977	98	25	135	18
	1978 bis 1994	66	9	97	5
	ab 1995	45	12	89	8
	alle	76	46	114	31
MFH	bis 1977	89	19	156	14
	1978 bis 1994	70	11	141	4
	ab 1995	40	8	84	1
	alle	71	38	147	19
alle	bis 1977	91	44	152	32
	1978 bis 1994	69	20	132	9
	ab 1995	41	20	87	9
	alle	72	84	139	50

Tabelle 13 Heizlast und Heizkörperleistung

Tabelle 14 zeigt, dass tendenziell bei den gas- und ölvorsorgten Gebäuden mehr Heizflächen installiert sind als bei fernwärmeversorgten Gebäuden. Die Ausstattung mit Heizflächen unterscheidet sich kaum in Ein- und Mehrfamilienhäusern.

Merkmal		Dimensionierung der Heizkörper (Heizkörpernormleistung bei $76/65^\circ\text{C}$ bezogen auf die Raumheizlast)	Zahl
Gebäudetyp	EFH	1,72	31
	MFH	1,75	19
Gebäudealter	bis 1977	1,69	32
	1978 bis 1994	2,10	9
	ab 1995	2,05	10
Art der Energieversorgung	Fernwärme	1,56	12
	Gas und Öl	1,79	38
Alle		1,74	50

Tabelle 14 Dimensionierung der Heizkörper

Es zeigt sich, dass die (Über)dimensionierung der Heizflächen bei den neuesten und ältesten Gebäuden höher ist als bei mittlerem Baualter – Bild 64.

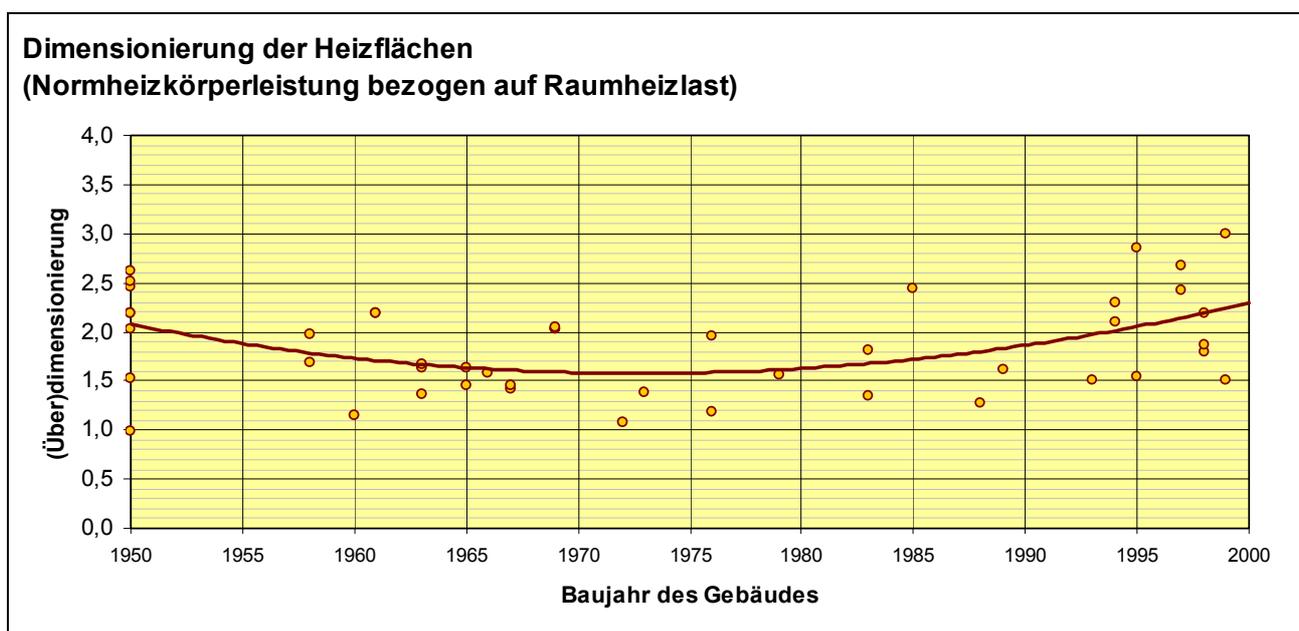


Bild 64 Dimensionierung der Heizkörper in Gebäuden ab 1950

In Gebäuden, bei denen die theoretisch ermittelten Hüllkennwerte (U-Werte und Flächen bzw. Kompaktheit) besser sind, ist die Überdimensionierung größer - Bild 65.

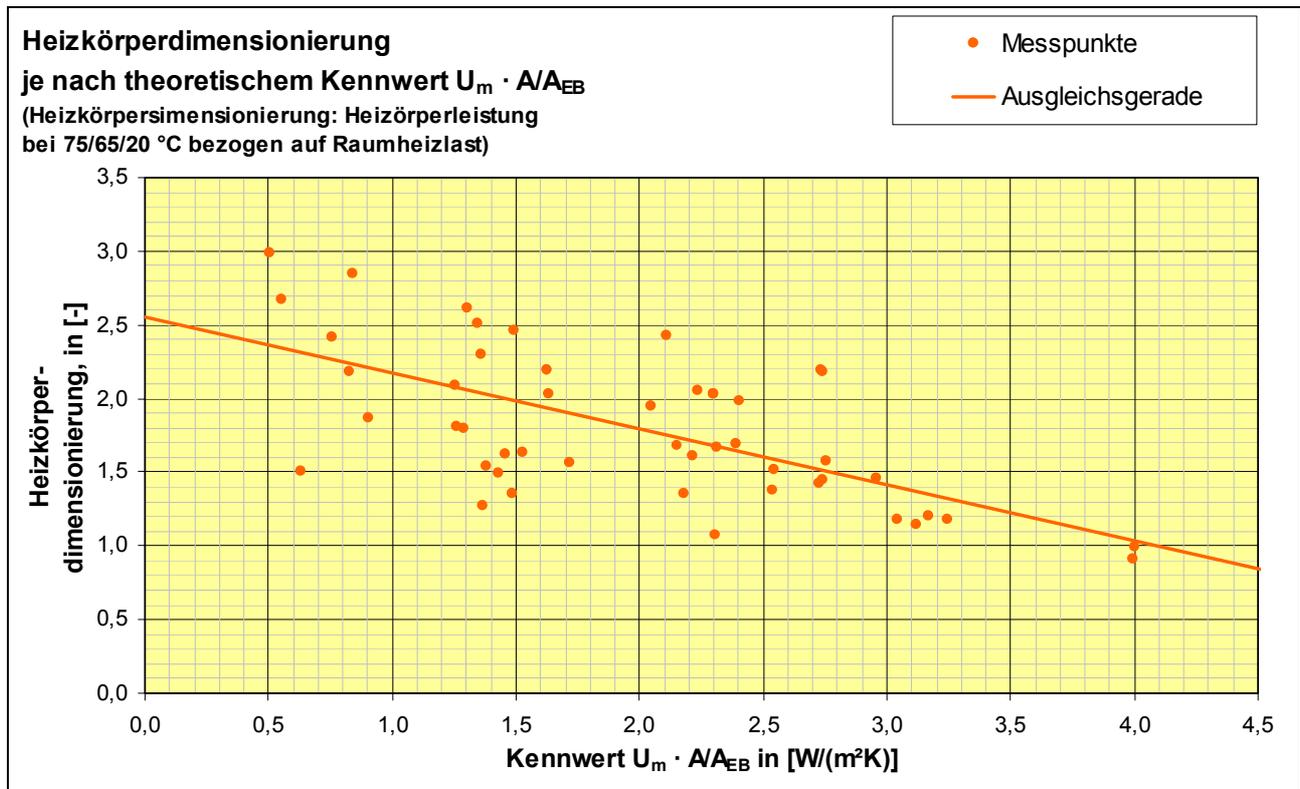


Bild 65 Heizkörperdimensionierung je nach Güte des Gebäudes

Bei den untersuchten Gebäuden wurde durchschnittlich ein Heizkörper je 12 Quadratmeter Fläche installiert.

Thermostatventile

Die Auswertung der Gebäude hinsichtlich der Ausstattung mit Thermostatventilen führt zu den in Tabelle 15 zusammengestellten Merkmalen. Auffällig ist, dass in über der Hälfte aller Gebäude keine voreinstellbaren THKV zu finden sind. Von den einstellbaren Thermostatventilen sind praktisch keine THKV eingestellt bzw. das Aufnahmepersonal konnte dazu keine Angaben machen.

Merkmal	Ausstattung der THKV mit Voreinstellung			Einstellung der einstellbaren THKV				
	Zahl	nicht vorhanden	vorhanden	Zahl	THKV eingestellt	THKV nicht eingestellt	keine Angabe	
Gebäudetyp	EFH	45	60 %	40 %	18	6 %	22 %	72 %
	MFH	39	54 %	46 %	18	6 %	17 %	78 %
Gebäudealter	bis 1977	43	53 %	47 %	20	0 %	15 %	85 %
	1978 bis 1994	12	67 %	33 %	6	0 %	17 %	83 %
	ab 1995	29	59 %	41 %	10	20 %	30 %	50 %
Art der Energieversorgung	Fernwärme	33	57 %	43 %	14	7 %	21 %	71 %
	Gas und Öl	51	58 %	42 %	22	5 %	18 %	77 %
Alle		84	57 %	43 %	36	6 %	19 %	75 %

Tabelle 15 Ausstattung von Gebäuden mit Thermostatventilen

Die Untersuchung zeigt weiterhin, dass Thermostatventile mit sehr großen Durchlasswerten installiert sind. Stichprobenuntersuchungen an mehreren Gebäuden haben gezeigt, dass erforderliche Durchlasswerte der Ventile bei etwa $k_{V,S} = 0,05 \dots 0,10 \text{ m}^3/\text{h}$ liegen.

Typische am Markt angebotene und in den Gebäuden eingesetzte Ventile haben Durchlasswerte von $k_{V,S} = 0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ (größte Häufigkeit) bzw. $k_{V,S} = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Feinstreguliertventile, die in der Praxis jedoch nur im Ausnahmefall verwendet werden, erreichen $k_{V,S}$ -Werte von $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$. Es kann also von einer durchschnittlichen Überdimensionierung der THKV von 7 ... 10 ausgegangen werden.

Umwälzpumpen

Die Untersuchung der OPTIMUS-Anlagen ergab, dass in EFH überwiegend mehrstufige ungeregelte Pumpen vorhanden sind. Die MFH weisen stufenlos regelbare Pumpen auf, die in der Mehrzahl der Fälle auf einen konstanten Differenzdruck eingestellt sind (Δp_{const}) sind.

Merkmal		Art der Pumpe					Integration in die Anlage			
		Zahl	einstufig	mehrstufig	stufenlos	keine	Zahl	interne Pumpe	externe Pumpe	keine Pumpe
Gebäudetyp	EFH	35	9 %	69 %	14 %	9 %	49	65 %	29 %	6 %
	MFH	38	0 %	21 %	61 %	18 %	39	13 %	69 %	18 %
Gebäudealter	bis 1977	44	2 %	45 %	34 %	18 %	47	45 %	38 %	17 %
	ab 1978	29	7 %	41 %	45 %	7 %	41	39 %	56 %	5 %
Art der Energieversorgung	Fernwärme	30	0 %	37 %	30 %	33 %	31	3 %	65 %	32 %
	Gas und Öl	43	7 %	49 %	44 %	0 %	57	63 %	37 %	0 %
Alle		73	4 %	44 %	38 %	14 %	88	42 %	47 %	11 %

Tabelle 16 Art der Pumpe und Integration in die Anlage

Das Schweizer Bundesamt für Energie fordert eine Pumpenauslegung mit maximal $1 \text{ W}_{\text{elektrisch}}$ je $1 \text{ kW}_{\text{thermisch}}$ elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe bezogen auf die Heizlast des Gebäudes (1 %-Regel) bzw. $1 \text{ W}_{\text{elektrisch}}$ je Heizkörper. Diese Werte sind aus Felduntersuchungen abgeleitet und dürfen für EFH auch leicht darüber liegen.

Tabelle 17 zeigt die in den OPTIMUS-Bestandsanlagen erforderlichen und tatsächlich installierten Pumpenleistungen. Im Mittel aller Gebäude ergibt sich eine Überdimensionierung der Pumpen um den Faktor 3,2 – Bezug ist jeweils die kleinste ausreichende Pumpe, jedoch keine Hocheffizienzpumpe.

Merkmal		Vorhandene Pumpenleistung, in $[\text{W}/\text{m}^2]$		vorhandene Pumpenleistung $[\text{W}]$ bezogen auf die vorhandene Wärmeerzeugerleistung $[\text{kW}]$		vorhandene Pumpenleistung $[\text{W}]$ bezogen auf eine ausreichende Wärmeerzeugerleistung $[\text{kW}]$		vorhandene Pumpenleistung $[\text{W}]$ bezogen auf eine ausreichende Pumpenleistung $[\text{W}]$	
				Zahl	Kennwert	Zahl	Kennwert	Zahl	Kennwert
						Schweizer Kriterium				Pumpenüberdimensionierung
Gebäudetyp	EFH	27	0,43	25	3,7	27	5,7	19	3,1
	MFH	16	0,13	16	1,1	16	1,9	9	3,4
Gebäudealter	bis 1977	27	0,22	25	1,8	27	2,6	21	3,3
	1978 bis 1994	7	0,17	7	1,1	7	2,2	3	2,8
	ab 1995	9	0,15	9	1,8	9	4,9	4	3,7
Art der Energieversorgung	Fernwärme	11	0,19	9	1,9	11	2,4	6	2,2
	Gas und Öl	32	0,19	32	1,5	32	2,8	22	3,5
Alle		43	0,19	41	1,6	43	2,8	28	3,2

Tabelle 17 Kennwerte Pumpenleistung

Die 1 %-Regel bestätigt sich in der Theorie (erforderliche Pumpenleistung bezogen auf erforderliche Wärmeerzeugerleistung) in etwa. Die Realität sieht anders aus: es sind deutlich größere Pumpenleistungen installiert. Wegen der in der Praxis aber ebenfalls typischen Wärmeerzeugerüberdimensionierung ergibt sich als Kennwert für die vorhandene Pumpenleistung bezogen auf die vorhandene Wärmeerzeugerleistung im Mittel 1,6.

Eine weitere Auswertung ergibt, dass der Auslegungspunkt bei der überwiegenden Zahl der untersuchten Regelpumpen im linken Drittel des Auslegungsdiagramms liegt. Das bedeutet, dass kaum Möglichkeiten für eine Energieeinsparung durch Eingriff der Pumpenregelung gegeben sind.

Heizkurveneinstellung und Systemtemperaturen

Die Auswertung von 49 Gebäuden zeigt, dass sich in der Praxis wegen sehr hoch eingestellter Vorlauftemperaturheizkurven zentraler Regler und der großzügigen Heizflächenbemessung näherungsweise folgende Auslegungsbedingungen fast unabhängig von Gebäudetyp und -alter ergeben: 80/40°C.

Die Auswertungen ergaben die in Tabelle 18 zusammengestellten Reglerparameter. Es zeigt sich, dass die Steilheit der Heizkurve im Mittel 1,6 beträgt und für die neueren Baujahre etwas geringer ist. EFH und MFH unterscheiden sich hinsichtlich der Steigung kaum. Die Parallelverschiebung beträgt dagegen für MFH etwa 4 K, für EFH etwa 1 K.

Merkmal		Zahl	Steilheit, in [-]	Parallelverschiebung, in [K]
Gebäudetyp	EFH	25	1,6	1
	MFH	24	1,6	4
Gebäudealter	bis 1977	28	1,7	2
	1978 bis 1994	12	1,6	3
	ab 1995	9	1,5	2
Art der Energieversorgung	Fernwärme	15	1,7	4
	Gas und Öl	34	1,6	2
Alle		49	1,6	3

Tabelle 18 Typische Reglereinstellung

Verteilssystem

Typische Dämmstandards für Leitungen, die außerhalb des beheizten Bereiches verlegt sind, sind in Tabelle 19 dokumentiert. Die Leitungsdämmung kann insgesamt als gut bewertet werden, jedoch sind vor allem in älteren EFH auch ungedämmte Leitungen zu finden. Der Dämmstandard der Rohrleitungen im beheizten Bereich kann häufig nicht mehr nachvollzogen werden, wenn die Leitungen nicht frei verlegt sind. Bei Anlagen, die vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung gebaut worden sind, ist mit sehr geringen Dämmdicken von 0 ... 50 % der heute geforderten gesetzlichen Mindestdämmung zu rechnen. Im Neubau sind Werte von 50 ... 75 % Dämmung realistisch.

Merkmal		längenbezogener U-Wert der Heizungsverteilung im Keller, in [W/(mK)]		Anteil der Gebäude mit ...			
		Zahl	Kennwert	Zahl	... 100 % und mehr	... ca. 50 %	... 0 %
					Dämmstärke nach geltender Verordnung (EnEV)		
Gebäudetyp	EFH	38	0,40	35	54	34	11
	MFH	38	0,34	30	63	30	7
Gebäudealter	bis 1977	38	0,39	34	62	26	12
	ab 1978	21	0,33	31	55	39	6
Art der Energieversorgung	Fernwärme	30	0,45	23	48	35	17
	Gas und Öl	46	0,33	42	64	31	5
Alle		76	0,37	65	38	21	6

Tabelle 19 Leitungslänge und Dämmstandard im unbeheizten Bereich

Es sind etwa 0,1 m Heizungsrohrleitungen je Quadratmeter beheizte Fläche in unbeheizten Keller- oder Dachräumen verlegt.

Wärmeerzeuger

Tabelle 20 zeigt die auf die beheizte Fläche A_{EB} bezogene Gebäudeheizlasten und Wärmeerzeugerleistungen der untersuchten Gebäude. Bei der Heizlastberechnung wurde entsprechend den Vorgaben der früheren DIN 4701 für den Standort Wilhelmshaven von einer minimalen Außentemperatur von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgegangen, für Bremen von $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ und für alle anderen Standorte von $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Der Transmissionswärmeverlust wurde auf Basis des mittleren U-Wertes der Gebäudehülle bestimmt. Es wurden keine Wärmeflüsse zwischen beheizten Räumen angesetzt. Der Gebäude-luftwechsel wurde mit $0,25\text{ h}^{-1}$ angesetzt.

	Baualter	auf die beheizte Fläche bezogene Gebäudeheizlast, in $[\text{W}/\text{m}^2]$		auf die beheizte Fläche bezogene Erzeugerleistung, in $[\text{W}/\text{m}^2]$	
			Zahl		Zahl
EFH	bis 1977	91	25	144	19
	1978 bis 1994	60	9	119	9
	ab 1995	38	12	114	12
	alle	70	46	197	40
MFH	bis 1977	82	19	118	18
	1978 bis 1994	63	11	147	7
	ab 1995	33	8	64	5
	alle	64	38	115	30
Energieversorgung	bis 1977	91	25	144	19
	1978 bis 1994	60	9	119	9
	ab 1995	38	12	114	12
	alle	70	46	197	40
alle	bis 1977	84	44	122	37
	1978 bis 1994	62	20	142	16
	ab 1995	34	20	77	17
	Fernwärme	57	29	88	16
	Gas und Öl	71	55	129	54
	alle	65	84	117	70

Tabelle 20 Gebäudeheizlast und Wärmeerzeugerleistung

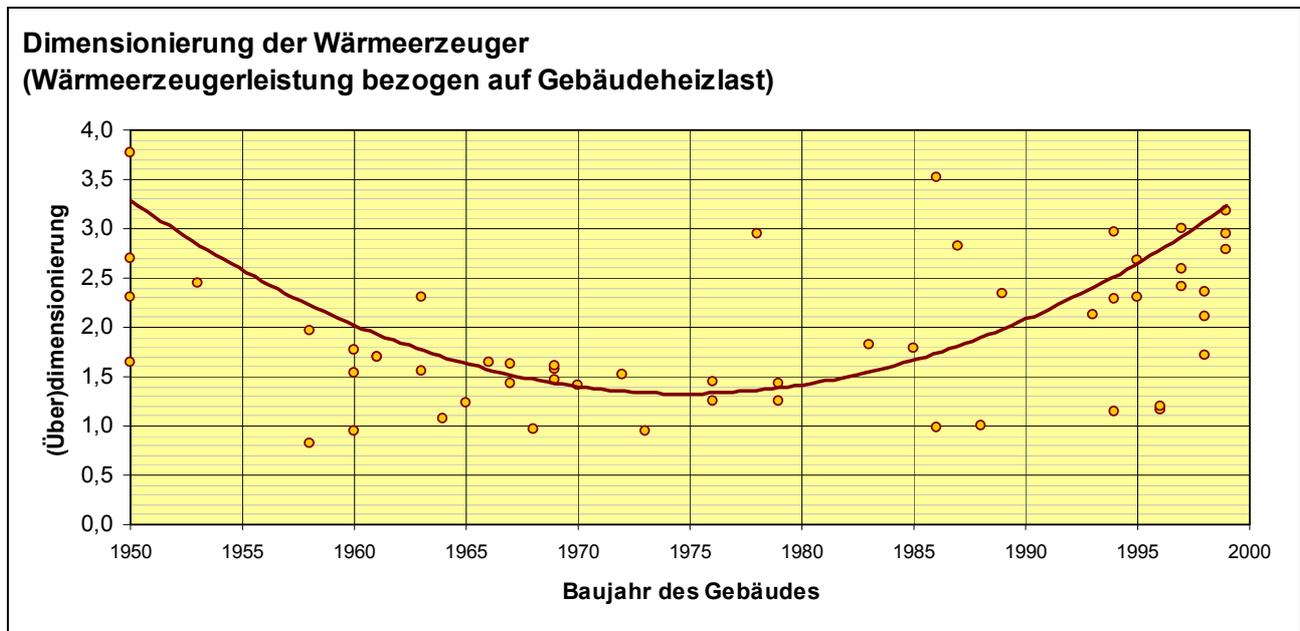


Bild 66 Wärmeerzeugerüberdimensionierung

Die Überdimensionierung der Wärmeerzeuger der OPTIMUS-Gebäude zeigt Tabelle 21. Sie ist in EFH größer als in MFH und in Gebäuden mit Kessel größer als in fernwärmever sorgten Gebäuden. Im Mittel sind Erzeuger 1,8-fach zu groß.

Es ist festzustellen, dass die mittlere Wärmeerzeugerüberdimensionierung in Gebäuden sehr alten und neueren Baujahrs größer ist als in Gebäuden mittleren Baualters (siehe Bild 66).

Merkmal		Dimensionierung der Wärmeerzeuger (maximale oder eingestellte Heizleistung bezogen auf die Gebäudeheizlast)		Zahl
Gebäudetyp	EFH	2,1		40
	MFH	1,7		29
Gebäudealter	bis 1977	1,5		36
	1978 bis 1994	2,1		16
	ab 1995	2,2		17
Art der Energieversorgung	Fernwärme	1,6		15
	Gas- und Ölkessel	1,8		54
Alle		1,8		69

Tabelle 21 Überdimensionierung von Wärmeerzeugern

Die Kesselüberdimensionierung liegt im Mittel bei 1,8 – wobei der Wert mit 2,1 ... 2,3 höher in den EFH ist. Brennwertkessel sind im Mittel stärker überdimensioniert, vgl. Tabelle 22.

Merkmal		Dimensionierung der Kessel (maximale oder eingestellte Heizleistung bezogen auf die Gebäudeheizlast)		Zahl
EFH	NT-Kessel	2,3		12
	Brennwertkessel	2,1		21
MFH	NT-Kessel	1,8		15
	Brennwertkessel	1,7		6
alle Gebäude	NT-Kessel	1,8		27
	Brennwertkessel	1,8		27

Tabelle 22 Überdimensionierung der Kessel

6.4.3 Einzelmerkmale Trinkwarmwasserbereitung

Tabelle 23 gibt einen Überblick über die Eigenschaften der aufgenommenen Trinkwarmwassersysteme. In der überwiegenden Anzahl der untersuchten Gebäude wird das Trinkwarmwasser zentral mit dem Erzeuger der Heizung bereit. Die überwiegende Zahl der Gebäude weist gut gedämmte Trinkwarmwasserspeicher im unbeheizten Bereich auf. Der Anteil der Gebäude mit Zirkulation ist in MFH mit 84 % deutlich größer als in EFH mit 64 %. Die Zirkulationspumpen sind überwiegend zeitgesteuert und laufen dann 15,7 (EFH) bis 20 (MFH) Stunden täglich.

Merkmal		EFH	Zahl	MFH	Zahl
Art des Erzeugers, Anteile in [%]	▪ zusammen mit der Heizung	90		63	
	▪ separat zentral	4	51	3	40
	▪ dezentral (Gas, Öl, Strom)	6		35	
Trinkwarmwassertemperatur, in [°C]		Mittel: 56 35 ... 65	37	Mittel: 59 48 ... 62	27
Anteil der Gebäude mit Speicher, in [%]		98	45	92	25
Speichervolumen V/A_{EB} , in [l/m ²]		0,83	39	0,50	24
Aufstellung des Speichers, Anteile in [%]	▪ im unbeheizten Bereich	79		91	
	▪ im beheizten Bereich	19	42	9	22
Dämmung des Speichers in [%]	▪ gut	84		96	
	▪ mittel	7	45	4	23
	▪ schlecht	9		0	
Leistung der Speicherladepumpe P/A_{EB} , in [W/m ²]		0,35	10	0,13	22
Anteil der Gebäude mit Zirkulation, in [%]		64	47	84	31
Leistung der Zirkulationspumpe P/A_{EB} , in [W/m ²]		0,19	27	0,09	22
Betriebszeit der Zirkulationspumpe, in [h/d]		15,7	27	20,0	22
Regelung der Zirkulationspumpe, Anteile in [%]	▪ keine Angabe	15		35	
	▪ keine Regelung	4		0	
	▪ zeitgesteuert	88	30	62	26
	▪ temperaturgesteuert	8		0	
	▪ zeit- und temperaturgesteuert	0		4	

Tabelle 23 Eigenschaften von Trinkwarmwassersystemen

Es sind darüber hinaus durchschnittlich 0,08 m Trinkwarmwasserleitungen mit überwiegend guter Dämmung verlegt.

6.4.4 Durchschnittsgebäude

Die untersuchten Gebäude weisen durchschnittliche Kompaktheitsgrade von 0,56 (MFH) bis 0,64 (EFH) auf. Ein durchschnittliches EFH hat eine Fläche von 153 m², ein durchschnittliches MFH von 837 m². Die mittleren U-Werte der Gebäude nehmen ab von 1,3 W/(m²K) in der ältesten bis auf 0,47 W/(m²K) in der neuesten Baualtersklasse.

Die untersuchten Anlagen im Bestand weisen eine **großzügige Wärmeerzeugerauslegung (Überdimensionierung etwa 1,8 bezogen auf die Gebäudeheizlast), Pumpenauslegung (Leistungsüberdimensionierung etwa 3 bezogen auf die ausreichende elektrische Leistung) und Heizkörperbemessung (Verhältnis Heizkörpernormleistung zu effektiver Raumheizlast etwa 1,7)** auf.

Die berechneten Raumheizlasten sinken von 91 W/m² (Durchschnitt der ältesten Baualtersklasse) bis auf 41 W/m² (Durchschnitt der neuesten Baualtersklasse). Entsprechende Gebäudeheizlasten liegen bei 84 W/m² bis 34 W/m².

Die zentrale Heizkurveinstellung ermöglicht nahezu unabhängig von Baualter Vorlauftemperaturen von ca. 80 °C bei Auslegungsaußentemperatur (-15 °C). **Die untersuchten Gebäude weisen mit sehr wenig Schwankungsbreite durch alle Gebäudearten, Altersklassen und Energieversorgungen eine eingestellte Heizkurvensteilheit von etwa 1,6 auf.** Die Parallelverschiebung ist mit 4 K im MFH größer als im EFH mit nur 1 K.

Die Durchflusswerte ($k_{v,s}$) der eingesetzten Ventile sind etwa 7 ... 10fach zu groß. **Der hydraulische Abgleich ist in deutlich weniger als 10 % der Anlagen vorhanden. Weniger als die Hälfte der Thermostatventile sind überhaupt voreinstellbar.**

Typische Kennwerte für installierte Pumpenleistungen (bezogen auf die beheizte Fläche) sind: etwa 0,13...0,43 W/m² für Heizungsumwälzpumpen, etwa 0,13 ... 0,35 W/m² für Speicherladepumpen und 0,09 ... 0,19 W/m² für Zirkulationspumpen.

Außerhalb des beheizten Bereichs sind etwa 0,1 m/m² Heizungsleitungen mit mäßiger bis guter Dämmung und weitere 0,08 m/m² Trinkwarmwasserleitungen mit guter Dämmung verlegt.

Zusammenfassend betrachtet wird dem Nutzer heute typischer Wohngebäude und Anlagen damit ein enormes Verschwendungspotential geboten. Es muss außerdem davon ausgegangen werden, dass die technischen Verluste hoch und die Effizienz der Wärmebereitstellung gering bzw. nicht dem technischen Stand der Einzelkomponenten angemessen ist.

Maximaler Verbrauch

Anhand der typischen Anlagenausstattung der Gebäude kann ein möglicher maximaler Energieverbrauch abgeschätzt werden. Für zwei Typgebäude, die beispielhafte Vertreter des OPTIMUS-Gebäudepools sind, ergibt sich ein **maximal möglicher Energieverbrauch, der zwei (EFH mit Baujahr vor 1977) bzw. drei (MFH mit Baujahr nach 1978) mal höher ist, als der minimale Jahresenergiebedarf der Gebäude** mit angepasstem Nutzerverhalten und optimierten Anlagentechnik [28].

Als Typgebäude für den Wohnbau wurden ein Einfamilienhaus mit Baujahr vor 1977 und ein Mehrfamilienhaus mit Baujahr nach 1978 definiert. Beide Gebäude werden zentral von einer Pumpenwarmwasserheizung (witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung, Heizkörper, Thermostatventile) und zentraler Trinkwarmwasserbereitung mit Zirkulation versorgt. Die Technikzentrale befindet sich jeweils im unbeheizten Keller. Die maximale Heizlast, installierten Leistungen und weitere Merkmale wurden entsprechend der Gebäude- und Anlagenuntersuchung gewählt.

Mit den festgelegten Daten ist der maximale mögliche Energieverbrauch der Gebäude festgelegt. Er kann so hoch sein, wie die Komponenten es zulassen, d.h. bis sich eine Leistungsbegrenzung durch eine der anlagentechnischen Komponenten (Erzeuger, Pumpe im Zusammenspiel mit dem Rohrnetz und den THKV, Heizfläche zusammen mit der Vorlauftemperatur und dem Massenstrom) ergibt. Die vollständige Untersuchung findet sich in [28].

6.4.5 Einzelmerkmale Nutzung und Nutzerzufriedenheit

Die Auswertung von 78 Gebäuden des OPTIMUS-Projekts ergab eine beheizte Fläche von durchschnittlich 33 Quadratmetern je Person – siehe Bild 67. Die Wohnfläche ist im EFH mit fast 50 m²/Person deutlich größer als in den MFH mit 33 m²/Person.

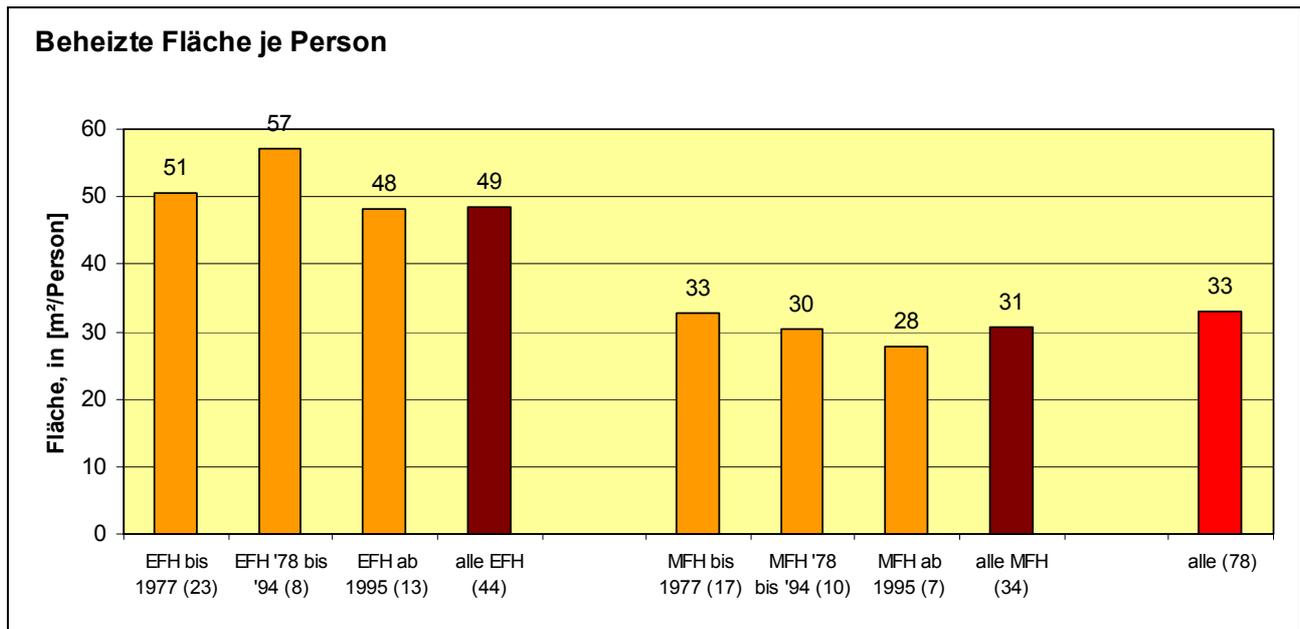


Bild 67 Beheizte Fläche je Person

Die durchschnittliche Wohnungsgröße von 45 untersuchten EFH beträgt 139 m² und von 35 untersuchten MFH 70 m².

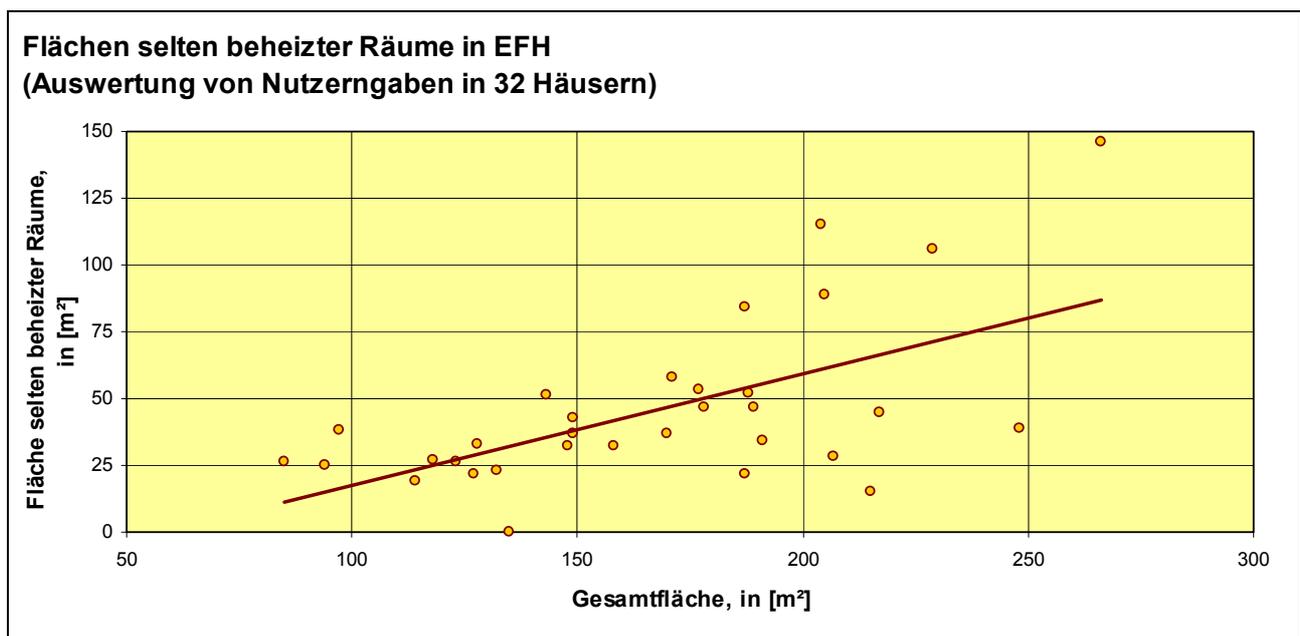


Bild 68 Anteil selten beheizter Flächen in Einfamilienhäusern

Eine Nutzerbefragung bei den Einfamilienhäusern ergab, dass die Anzahl der selten beheizten Räume im Mittel auf 2,25 geschätzt wird. Der entsprechende Flächenanteil wird von den Nutzern auf nahezu einheitlich 27 % geschätzt, siehe auch Bild 68.

Die Auswertung der bei der Gebäudeaufnahme durchgeführten Nutzerbefragung zeigt Bild 69. In 20 % der Fälle beklagen sich Nutzer oder Hausmeister über eines oder mehrere Probleme. Am häufigsten wird als Problem genannt, dass einer oder mehrere Räume nicht ausreichend beheizt werden.

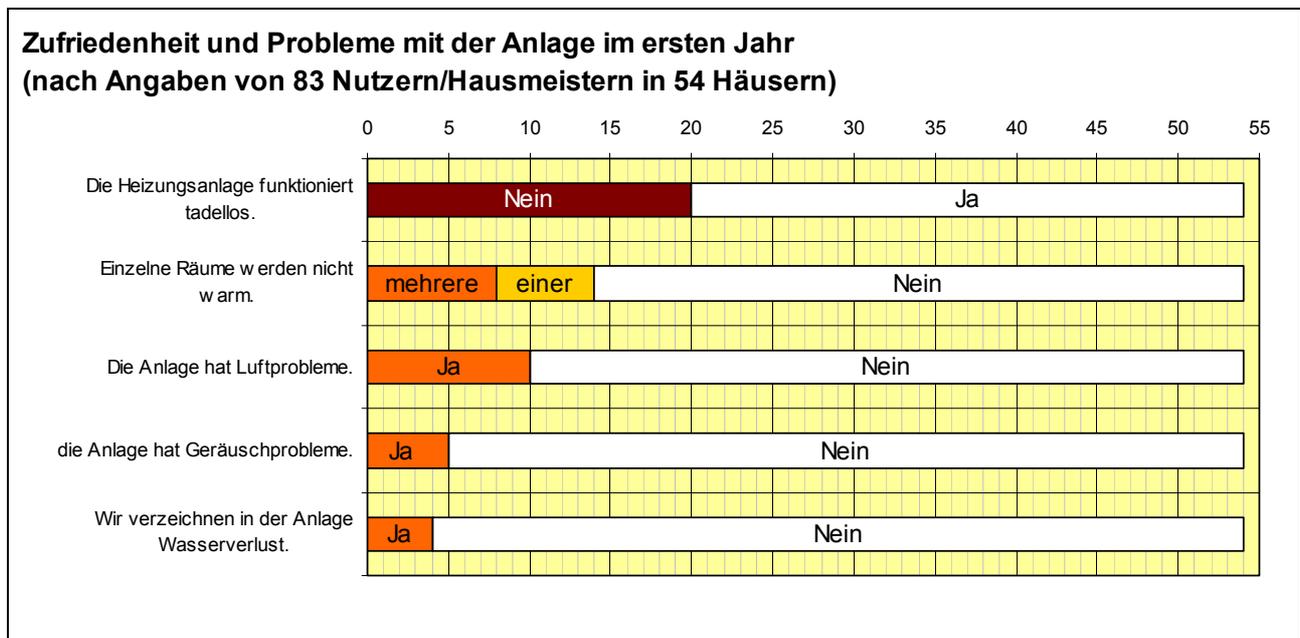


Bild 69 Nutzerbefragung im ersten Jahr

Die Ergebnisse der im zweiten Jahr durchgeführten Befragung sind in Abschnitt 8.4 dokumentiert.

6.5 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Die Gebäudeaufnahme ist eines der wichtigsten Elemente bei der Anlagenoptimierung. Besonders der Erfassung des baulichen Standards der Gebäude sollte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Als Ergebnis des Projekts ergibt sich die eindeutige Empfehlung dazu das "Bauteilhandbuch" oder ähnliche Hilfsmittel zu verwenden.

Bei der Aufnahme sind alle Merkmale auf einmal zu erfassen, so dass sich eine nochmalige Begehung erübrigt. Soweit vorhanden, sollten bei der Flächenermittlung elektronische Messgeräte eingesetzt werden, um die Kosten gering zu halten. Es empfiehlt sich von allen Anlagenkomponenten (incl. Typenschilder), der Fassade des Gebäudes sowie Baudetails digitale Fotos zu machen.

Die erfassten Daten sollten nach der Optimierung gesammelt an den Kunden übergeben werden, so dass später durchgeführte Energieberatungen, Anlagenumbauten usw. davon profitieren können.

7 Arbeitshilfen zur Optimierung

Eine Anlagenoptimierung kann nur erfolgreich durchgeführt werden, wenn die Anlage als Gesamtsystem betrachtet wird. Dies setzt in bestehenden Anlagen voraus, zunächst alle vorhandenen Komponenten zu erfassen und dann mit diesen den bestmöglichen Anlagenzustand herzustellen. Dafür gab es vor Projektbeginn keine handhabbaren Werkzeuge für das ausführende Handwerk.

Ein Tätigkeitsschwerpunkt der OPTIMUS-Gruppe war daher die Erarbeitung eines universell verwendbaren Optimierungskonzepts und -werkzeugs. Ein großer Teil der Aufgabe wurde an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) in Zusammenarbeit mit proKlima Hannover und der Universität Hannover im Rahmen von Diplomarbeiten gelöst [38], [36].

Bereits im Vorfeld des OPTIMUS-Projekts wurde geprüft, welche Möglichkeiten zur Optimierung von Heizungsanlagen mit dem Schwerpunkt „Hydraulischer Abgleich“ in der Fachliteratur bekannt sind. Aufbauend auf den vorhandenen Ansätzen wurde in zwei Diplomarbeiten [38], [36] ein Optimierungskonzept erarbeitet, dass die Durchführung des hydraulischen Abgleichs auch in Bestandsgebäuden ohne detaillierte Kenntnisse über das Rohrnetz ermöglicht. Es zeigte sich schnell, dass die komplexen Zusammenhänge nur mit Softwareunterstützung einfach und kostengünstig berechnet werden können. Daher wurde in Zusammenarbeit mit der proKlima GbR in Hannover (Förderprogramm zur Qualitätssicherung von Heizungsanlagen, Grundlage ist der Hydraulische Abgleich) und der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) eine Software zur Optimierung von Heizungsanlagen entwickelt, mit der sich der hydraulische Abgleich auch in Bestandsanlagen einfach und kostengünstig realisieren lässt und mit der zugleich eine übersichtliche Dokumentation erstellt wird.

Dieses Programm wurde im Rahmen des OPTIMUS-Projekts zur Optimierung aller Ein- und Mehrfamilienhäuser eingesetzt, von Mitarbeitern der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) betreut und weiter entwickelt (das Programm bzw. seine Entwickler erhielten den Heimeier-Innovationspreis 2005 auf der diesjährigen ISH in Frankfurt). Darüber hinaus wurde auf Basis des Programms für die OPTIMUS-Gruppe ein zweites Rechenwerkzeug geschaffen. Dieses einfachere Rechenprogramm ist mit einer geringeren Anzahl von Eingabegrößen zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern geeignet.

Eine ausführliche Beschreibung der Zusammenhänge, die bei der Optimierung von Heizungsanlagen zu berücksichtigen sind sowie die Umsetzung dieser Kenntnisse in der Software „Optimierung von Heizungsanlagen – Hydraulischer Abgleich“ wurde in einer 5-teiligen Artikelserie mit dem Titel „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“ veröffentlicht [25].

Die Grundlagen der Optimierung, beide Rechenprogramme mit ihren Handbüchern sowie Erfahrungen bei der Anwendung werden nachfolgend dokumentiert.

7.1 Grundlagen der Anlagenoptimierung

Zu den vorhandenen Grundlagen für die Qualitätssicherung der Anlagentechnik zählen Gesetze, Verordnungen und die allgemein anerkannten Regeln der Technik. Letztere umfassen DIN-, EN- und ISO-Normen sowie Richtlinien, Merkblätter und Arbeitsblätter der Berufsvereinigungen. Für die Heizungs-, Klima- und Sanitärtechnik gab es im Jahr 2000 etwa 480 Gesetze und Verordnungen, 1200 DIN-, EN- und ISO-Normen, 170 Technischen Richtlinien und weitere 600 Richtlinien und Empfehlungen. Besonders relevant sind die in Bild 70 benannten rechtlichen und technischen Grundlagen (Gesetze, Verordnungen, Regeln).

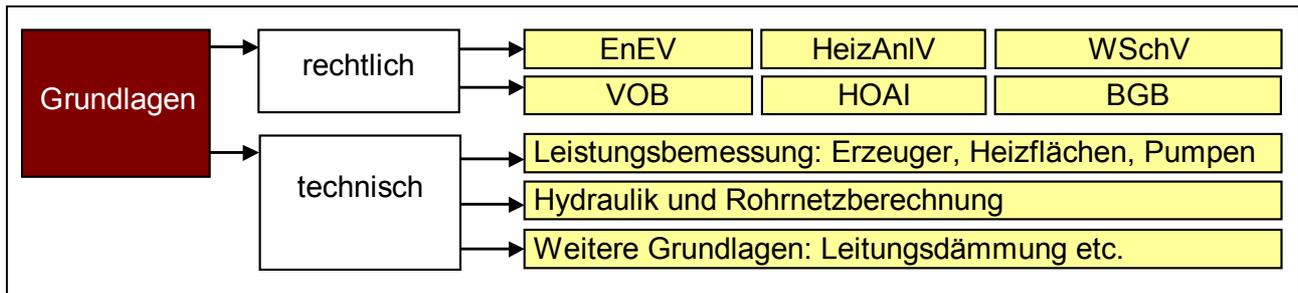


Bild 70 Rechtliche und technische Grundlagen der Qualitätssicherung [28]

Rechtliche Grundlagen

Die rechtlichen Grundlagen sollen nicht weiter vertieft werden. Es wird auf die Literatur zu diesem Thema verwiesen [28]. Es soll nur darauf hingewiesen werden, dass die VOB bzw. die in Bezug genommenen DIN-Normen für die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs gelten.

Für öffentliche Auftraggeber gilt die VOB in allen drei Teilen. Für private Auftragnehmer gilt ein Werkvertrag nach BGB bzw. ein VOB-Vertrag nur nach Vereinbarung. Häufig wird in diesem Fall nur VOB/B vereinbart, obwohl auch die VOB/C in einen BGB Werkvertrag einbezogen werden kann. Teil C der VOB fasst die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) zusammen. Maßgeblich für die QS der Anlagentechnik sind die DIN 18380 für Heizungsanlagen und zentrale Wassererwärmungsanlagen sowie die DIN 18421 für Dämmarbeiten an technischen Anlagen.

Die ATV definieren unter anderem Haupt- und Nebenleistungen bei der Anlagenplanung und -erstellung. Nebenleistungen müssen nicht gesondert honoriert werden, sie gehören auch ohne Erwähnung im Vertrag zur Leistung. Hierzu zählt unter anderem auch die Prüfung der vom Auftraggeber gelieferten Planungsunterlagen, z.B. der Wärmebedarfs-(Heizlast-)berechnung mit zugehöriger Rohrnetz- und Pumpenauslegung, der Leistungsdaten für Wärmeerzeuger und des Energiebedarfsausweises. Die VOB/C DIN 18380 bemerkt zur Qualitätssicherung der Heizungstechnik:

- "Die Wärmeleistung der Raumheizflächen ist auf den ... Wärmebedarf auszulegen." (Abschnitt 3.2.10.1) und "... bei Warmwasserheizungen müssen an jeder Raumheizfläche Möglichkeiten zur Begrenzung der Durchflussmenge zum hydraulischen Abgleich vorhanden sein ..." (Abschnitt 3.2.8)
- "Die Bauteile von Heizungsanlagen ... sind so aufeinander abzustimmen, dass die geforderte Leistung erbracht ... und ein sparsamer und wirtschaftlicher Betrieb möglich ist ... Umwälzpumpen, Armaturen und Rohrleitungen sind durch Berechnung so aufeinander abzustimmen, dass auch bei den zu erwartenden wechselnden Betriebsbedingungen eine ausreichende Wassermengenverteilung sichergestellt ist ... Bei Regelventilen, z.B. thermostatischen Heizkörperventilen ... ist Voraussetzung für den hydraulischen Abgleich, dass die Ventile im Verhältnis zum maximal möglichen Differenzdruck ... einen entsprechend hohen Widerstand aufweisen". (Abschnitt 3.1.1)
- "Der hydraulische Abgleich ist mit den rechnerisch ermittelten Einstellwerten so vorzunehmen, dass bei bestimmungsgemäßem Betrieb, also z.B. auch nach Raumtemperaturabsenkung oder Betriebspausen der Heizanlage, alle Wärmeverbraucher entsprechend ihrem Wärmebedarf mit Heizwasser versorgt werden." (Abschnitt 3.5.1)

Die VOB/B regelt weiterhin Mängelansprüche. Diese können 4 Jahre ab Abnahme der Anlage bzw. 2 Jahre bei Anlagen ohne Wartungsvertrag geltend gemacht werden.

Weiterhin gilt die Empfehlung, den hydraulischen Abgleich immer zu dokumentieren und vom Kunden/Auftraggeber schriftlich bestätigen zu lassen. Diese Empfehlung resultiert aus einer Sachverständigenaussage in einem Rechtsstreit. Hätte das ausführende SHK-Unternehmen dort die Durchführung des hydraulischen Abgleichs dokumentiert, dann wäre es zu einem für das Unternehmen positiven Gutachten gekommen. Ohne die Dokumentation wurde jedoch angenommen, dass ein Abgleich der Heizungsanlage nicht stattfand. Dies stellt einen erheblichen Mangel seitens des Ausführenden dar (nach: DKZ Installation, Ausgabe 1-2/2005).

Heizlastberechnung im Bestand

Der wissenschaftliche Hintergrund der Heizlastberechnung hat sich seit der Erstaugabe der DIN 4701 im Jahr 1929 ständig erweitert. Der Aufwand stieg derart an, dass heute eine Bemessung ohne Computer undenkbar erscheint. Die vorhandenen Rechenregeln – heute gilt die europäische Norm EN 12831 – gelten prinzipiell auch für bestehende Gebäude, sind jedoch auf Neuplanungen zugeschnitten.

Es muss davon ausgegangen werden, dass nur ein geringer Teil der heutigen Wohngebäude einer Heizlastberechnung unterzogen wird oder worden ist. Daher sind für die Anlagenoptimierung kaum fertige Berechnungen verfügbar. Falls Änderungen an der Gebäudehülle vorgenommen wurden, gilt die Berechnung ohnehin nicht mehr. Es ist davon auszugehen, dass die Berechnung der Heizlast zu wiederholen ist. Im Rahmen des OPTIMUS-Projekts wird dabei eine vereinfachte Berechnung in Anlehnung an das bis 2004 gültige Verfahren nach DIN 4701-1, 2 und 3 präferiert.

Rohrnetzberechnung im Bestand

Die detaillierte Bemessung von Rohrnetzen in Wohnbauten ist trotz vielseitiger Planungsmöglichkeiten am Computer und einer über 100 Jahre stetig weiterentwickelten Theorie in der Praxis nicht weit verbreitet. Dies könnte sich ggf. ändern, wenn es verbindliche Normen gäbe und ein entsprechender Rechtszwang sowie eine angemessene Honorierung vorhanden wären.

Für die Bemessung der Pumpenleistung und Fragen der Hydraulik bestehender Anlagentechnik gelten prinzipiell die gleichen Vorschriften und Regeln wie für den Neubau. Größtes Problem für die nachträgliche Optimierung bzw. die Anwendung der Planungsnormen des Neubaus auf den Bestand ist die Erhebung der bestehenden Daten. Sind diese detailliert bekannt, kann eine konventionelle Heizlastberechnung oder Rohrnetzberechnung durchgeführt werden.

Um die Datenerhebung zu vereinfachen und kostengünstiger zu gestalten, sind für den Bestand Verfahren zur vereinfachten Rohrnetzoptimierung notwendig. Die Vorschläge zur überschlägigen Rohrnetzberechnung sind in der Literatur oft sehr wage. Viele Autoren beschränken sich auf die Aussage, dass eine überschlägige Berechnung notwendig ist, Hilfen für die praktische Umsetzung fehlen jedoch. Einzelne Lehrbücher halten die Rohrnetzberechnung im Gebäudebestand für unmöglich. Es mangelt jedoch an Standardwerken, Normen und Richtlinien. Messtechnische Verfahren eines nach der Planung durchzuführenden hydraulischen Abgleichs sind meistens sehr aufwendig und werden begrenzt in sehr großen Objekten eingesetzt.

Arbeitshilfen für den Bestand

Im Rahmen des OPTIMUS-Projekts und begleitender Arbeiten wurden die vorliegende Ansätze für die Heizlastberechnung bestehender Gebäude, für die Leistungsanpassung der Heizkörper und für den hydraulischen Abgleich im Neubau in Richtung Bestandsbewertung weiterentwickelt. Das Verfahren ist zusammen mit Hintergrundinformationen als fünfteiliger Fachartikel veröffentlicht [25]. Aus den Fachartikeln hat die OPTIMUS-Gruppe ein Handbuch mit "Hintergrundinformationen zur Optimierung" gestaltet, vgl. Bild 71.

Darüber hinaus ist als Einstieg in das Thema "Optimierung" ein Grundlagenhandbuch entwickelt worden, das technische Grundbegriffe erläutert und dem Handwerker auch im Kundengespräch nützlich sein kann. Beide Arbeitshilfen sind als Anhang zum Bericht verfügbar.



Bild 71 Deckblätter der Handbücher zur Optimierung (Grundlagen und Hintergrundinformationen)

7.1.1 Allgemeine Vorgehensweise bei der Optimierung

Die Qualität der Anlagentechnik umfasst zwei wichtige Aspekte: die Güte der einzelnen Komponenten (technisches Grundprinzip, Effizienz, Wartungshäufigkeit) und die Güte des Systems (Zusammenspiel der Komponenten). Im Rahmen des Projekts wurde speziell der Systemgedanke verfolgt, da die technische Optimierung einzelner anlagentechnischer Komponenten heute schon sehr weit fortgeschritten ist und trotzdem suboptimale Gesamtsysteme in der Praxis zu erhöhtem Energieverbrauch führen [50], [3].

Zur Qualität eines optimierten Heizungsanlagensystems, das den Nutzenanforderungen gerecht wird, gehören:

- optimal dimensionierte und eingestellte Komponenten (Wärmeerzeuger, Pumpen, Verteilnetz, Heizflächen und Ventile),
- optimale eingestellte zentrale und dezentrale Regelfunktionen (ggf. ist eine nachträgliche Ausstattung mit Regelgeräten notwendig),
- eine optimale Hydraulik (einschließlich hydraulischer Abgleich) und
- ausreichend gegen Wärmeverluste geschützte Komponenten.

Diese Anforderungen gelten für Neubau und Bestand gleichermaßen. Wobei für den Bestand, in dem viele Anlagenkomponenten schon festgelegt sind, die energetische Qualität eines vergleichbaren Neubaus ggf. nicht mehr erreicht werden kann. Die Anlage muss mit den gegebenen, feststehenden Komponenten optimiert werden. Die Qualitätssicherung der Anlagentechnik umfasst im Neubau und im Bestand:

- die Planung des Systems u.a. nach Gesichtspunkten der Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und des Komforts (incl. Leistungsbemessung oder -anpassung),
- die Ausführung des Systems nach den Planungsvorgaben (Installation, Einstellung, Einregulierung),
- die dokumentierte Inbetriebnahme und Wartung der Anlage und
- die Kontrolle der Verbrauchsdaten.

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bei der Optimierung einer Bestandsanlage unterscheidet sich von der Optimierung einer Neuanlage, weil mit den vorhandenen Komponenten einen bestmöglicher Anlagenbetrieb erreichen muss. Im Neubau hat man dagegen die Wahl gleich bestmögliche Komponenten zu wählen. Der vereinfachte Ablauf der Optimierung im Bestand sieht wie folgt aus:

Begehung und Aufnahme		Software oder Handrechnung						Umsetzung
überschlägige Berechnung der Raumheizlast anhand der Außenflächen	Aufnahme der Heizkörperleistungen	Feststellen der Überdimensionierung der Heizkörper	Suche des Heizkörpers, der am knappsten bemessen ist; festlegen der Vorlauftemperatur	Bestimmung der Volumenströme für jeden Heizkörper	Ermittlung des Druckverlustes für das Ventil eines jeden Heizkörpers	Bestimmung der Voreinstellung der Thermostatventile	Berechnung der Förderhöhe der Pumpe oder ggf. eines Differenzdruckreglers	Einstellung (Pumpe, Regler, Voreinstellung THKV) vor Ort

Bild 72 Optimierungsablauf im Überblick

Aus dem Verfahrensablauf wird bereits deutlich, welche Komponenten von der Einstellung und ggf. vom Austausch betroffen sind, wenn eine Heizungsanlage hydraulisch optimiert wird. Im Einzelnen sind dies:

- Thermostatventile und/oder Rücklaufverschraubungen der Heizkörper: falls sie nicht einstellbar sind, werden sie entsprechend nachgerüstet und anschließend eingestellt.
- Pumpe und/oder Differenzdruckregler: falls die Pumpe viel zu groß ist und nicht eingestellt werden kann, werden eine neue Pumpe und/oder ein Differenzdruckregler nachgerüstet und die Förderhöhe bzw. der Differenzdruck eingestellt.
- ggf. Strangreguliertventile: Einstellung des Volumenstroms.
- ggf. Überströmventile: Einstellung des Ansprechdrucks, sofern das Überströmventil einstellbar ist und die Anlage eine Einstellung zulässt.
- Regelung: die Vorlauftemperaturheizkurve (Steilheit und Parallelverschiebung) wird eingestellt und sofern vorhanden auch die Heizgrenztemperatur und Absenkphasen.

Die Optimierung der Anlagentechnik ist eng mit der Qualität der Nutzung verknüpft. Darunter ist die Einhaltung bestimmter, fest definierter Nutzungsbedingungen zu verstehen, auf welche die Anlage in der Planungsphase zugeschnitten wird. Werden die Anforderungen an die Technik darüber hinaus erhöht, können sie ggf. nicht erfüllt werden. Es besteht jedoch auch in einer qualitätsgesicherten Anlage eine nicht unerhebliche Toleranz gegenüber erhöhten Nutzerwünschen. Daher ist hauptsächlich eine permanente Aufklärung der Nutzer über den Umgang mit der vorhandenen Technik nötig sowie die Darstellung der Komfortgrenzen.

7.1.2 Anpassung der Heizkörperleistung an die Raumlast

Die Frage, wann und warum das alte Temperaturniveau der Anlagentechnik in einem Gebäude verändert werden sollte, soll an einem Beispiel erläutert werden. Das Beispielgebäude sei ein größeres Mehrfamilienhaus, aus dem zwei Räume in Bild 73 schematisch gezeigt sind. Der linke Raum (Raum 1) ist ein Innenraum, der rechte (Raum 2) ein Eckraum dieses Gebäudes.

Vor der Sanierung stimmen die realen Heizkörperleistungen (die reale Heizkörperleistung ergibt sich aus der Heizkörpergröße bzw. Normleistung und dem gewähltem Temperaturniveau) mit den Raumheizlasten überein. Durch die Sanierung (Fenster austausch, Außenwanddämmung und Dachdämmung) sinken die Raumheizlasten.

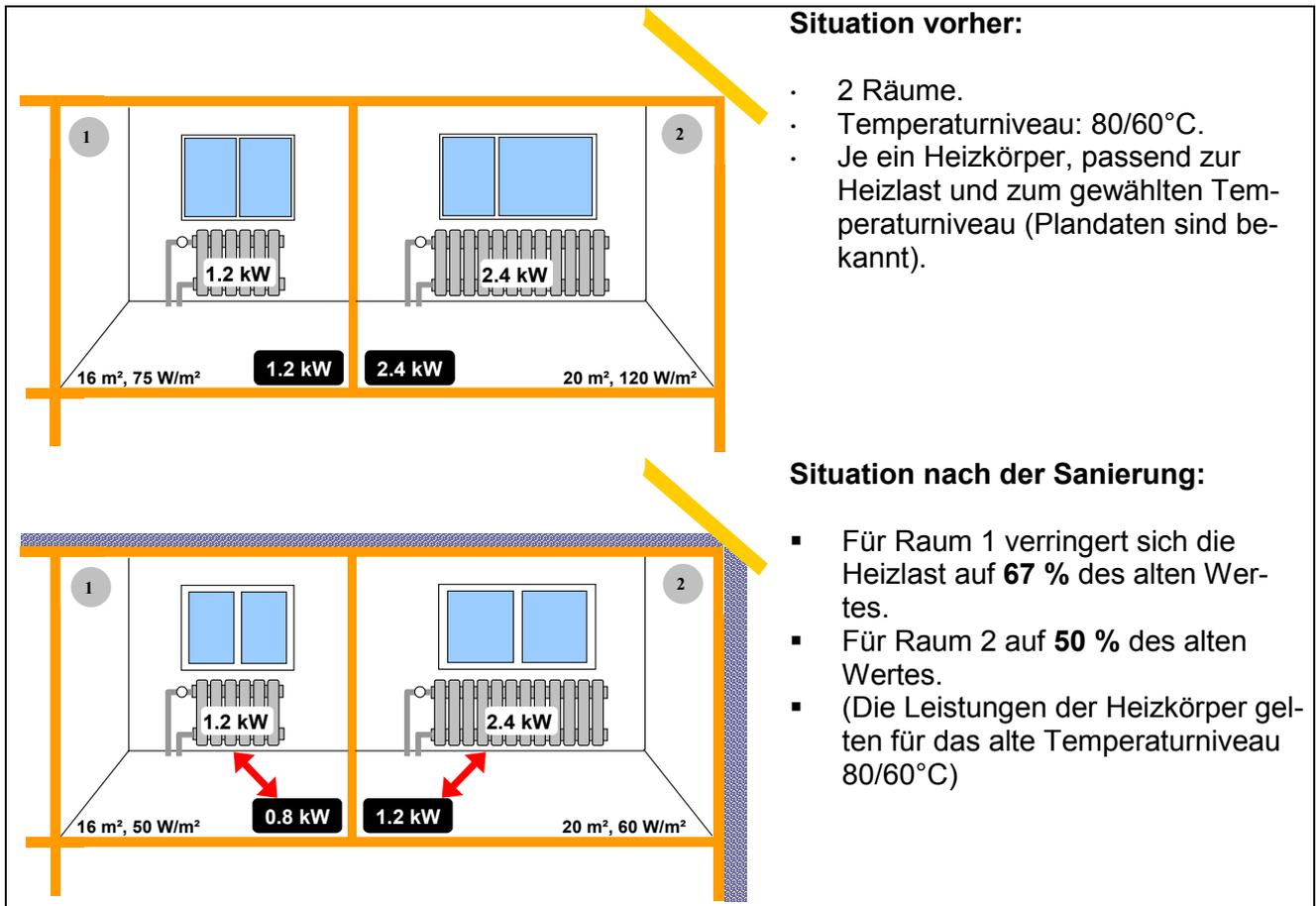


Bild 73 Beispielräume

Allerdings verringert sich die Raumheizlast im Außenraum (Raum 2) stärker als im Innenraum (Raum 1). Der Grund hierfür ist der höhere Anteil sanierter Flächen bezogen auf die gesamten Umschließungsflächen beim Außenraum. Die Sanierung macht sich umso stärker bemerkbar, je mehr Begrenzungsflächen eines Raumes von ihr betroffen sind. Im gegenteiligen Extremfall, einem Innenflur, der gar nicht von der Sanierung betroffen wäre, würde sich die Heizlast überhaupt nicht ändern.

Nach der Sanierung haben beide Heizkörper aufgrund der gleich gebliebenen Systemtemperaturen eine zu große Leistung. Im Beispielgebäude bedeutet das: obwohl der Baukörper saniert ist und das Gebäude theoretisch nur noch die halbe Energiemenge im Vergleich zu vorher benötigen würde, kann die Anlage immer noch die alte Energiemenge liefern, weil die Heizflächen, die hydraulischen Einstellungen und die Vorlauftemperatur gleich geblieben sind. Das Temperaturniveau und die maximal möglichen Volumenströme müssen daher angepasst werden, sonst besteht ein Verschwendungspotential (vgl. Abschnitt 3.1.2).

Festlegen der neuen notwendigen Übertemperatur

Am Beispiel der beiden Räume aus Bild 73 wurde bereits gezeigt, dass die Heizlasten in den einzelnen Räumen bei der Sanierung nicht gleichmäßig sinken. Es muss bei der Wahl eines neuen Temperaturniveaus daher zunächst festgestellt werden, welcher Heizkörper nach der Sanierung die geringste (thermische) Überdimensionierung seiner Heizkörperleistung gegenüber der Raumheizlast aufweist. Nach diesem Heizkörper richtet sich das neue Temperaturniveau.

Für die beiden Beispielräume ergeben sich bei den alten Temperaturverhältnissen folgende Verhältnisse: Im Raum 1 ist eine Überdimensionierung des Heizkörpers von 150 %, im Raum zwei von 200 % festzustellen. Das bedeutet, dass der Heizkörper im Innenraum 1 - thermisch gesehen - der ungünstige ist. Nach ihm richtet sich die mögliche Absenkung des neuen Temperaturniveaus.

Für die Bestimmung des neuen Temperaturniveaus wird zunächst die alte logarithmische Übertemperatur $\Delta\vartheta_{In}$ des Netzes benötigt. Sie beträgt bei den alten Auslegungsbedingungen 80/60/20°C:

$$\Delta\vartheta_{In,alt} = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln \frac{\vartheta_V - \vartheta_L}{\vartheta_R - \vartheta_L}} = \frac{80 - 60}{\ln \frac{80 - 20}{60 - 20}} \text{ K} = 49,3\text{K} \quad (35)$$

Dann wird mit Hilfe einer der drei grundlegenden Heizkörpergleichungen die neue Übertemperatur bestimmt. Nach dieser Gleichung verhalten sich neue und alte Leistung eines Heizkörpers \dot{Q} - bis auf den Einfluss des Heizkörperexponenten n - proportional zu den vorhandenen logarithmischen Übertemperaturen. Für den thermisch ungünstigsten Raum 1 ergibt sich die neue logarithmische Übertemperatur durch Umstellen der Gleichung wie folgt:

$$\Delta\vartheta_{In,neu} = \Delta\vartheta_{In,alt} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{neu}}{\dot{Q}_{alt}} \right)^{1/n} = 49,3\text{K} \cdot \left(\frac{0,8\text{kW}}{1,2\text{kW}} \right)^{1/1,3} = 36,1\text{K} \quad (36)$$

Dabei sind die beiden benötigten Leistungen bekannt (es sind die Raumheizlasten), und der Heizkörperexponent n wird mit 1,3 - typisch für einen Gliederheizkörper - angesetzt. Gut nachzuvollziehen sind die Zusammenhänge im Auslegungsdiagramm für Heizkörper, das für den Heizkörper 1 in Bild 74 dargestellt ist.

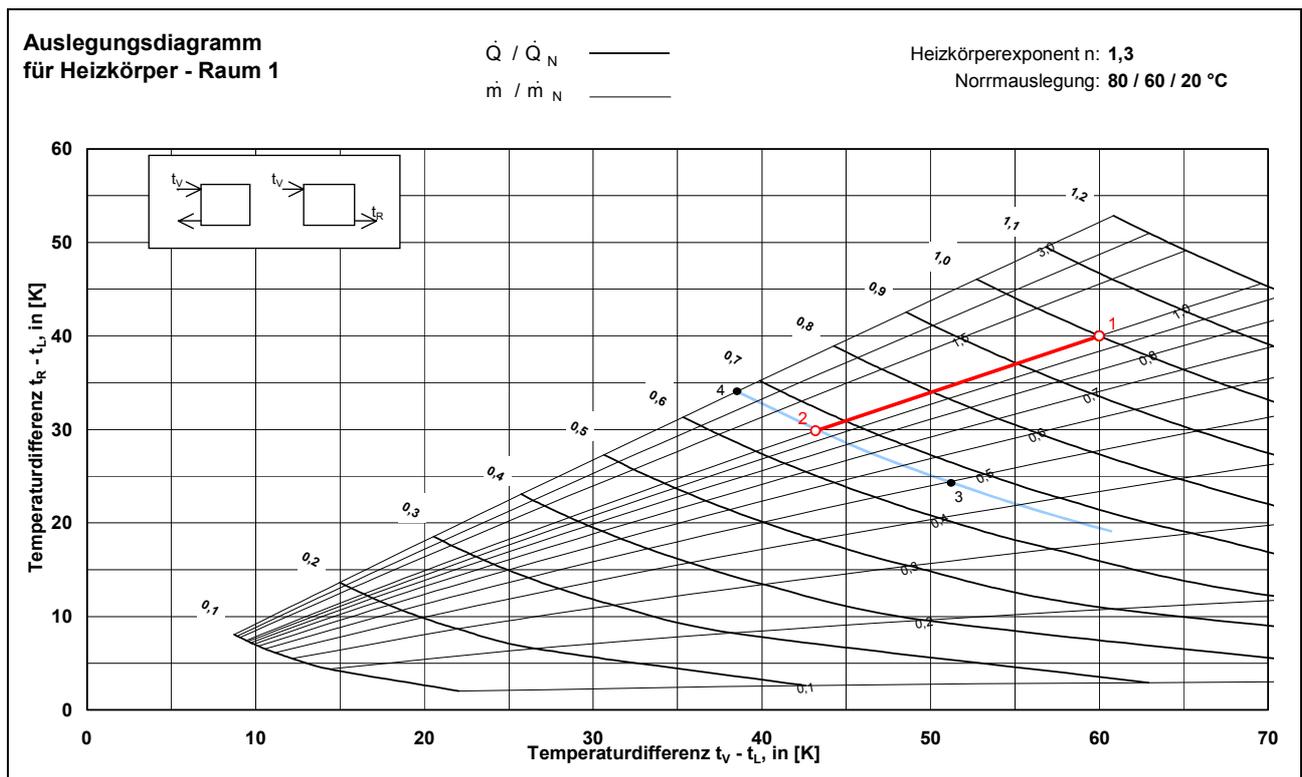


Bild 74 Heizkörperauslegungsdiagramm für Raum 1

Punkt 1 im Bild ist der alte Auslegungspunkt. Er ist eingetragen bei 100 % Leistung ($\dot{Q}/\dot{Q}_n = 1,0$ - Linien von oben links nach unten rechts) und bei 100 % Massenstrom ($\dot{m}/\dot{m}_n = 1,0$ - Linien von unten links nach oben rechts). Dieser Zustand wird gerade erreicht bei einer Vorlauftemperatur von 80°C (60 K Temperaturdifferenz auf der x-Achse) und einer Rücklauftemperatur von 60 ° C (40 K Temperaturdifferenz auf der y-Achse).

Punkt 2 ist eingetragen bei der geringeren Leistung ($2/3$ der ursprünglichen Leistung $\dot{Q}/\dot{Q}_n = 0,67$) nach der Sanierung, aber immer noch beim vollen alten Massenstrom ($\dot{m}/\dot{m}_n = 1,0$). Alle Punkte, die auf der eingezeichneten blauen Linie liegen, sind Punkte mit der gleichen neuen Leistung, die mit der gleichen logarithmischen Übertemperatur von 36,1 K erreicht werden kann. Daher kommen alle Punkte auf dieser Linie als neue Betriebspunkte in Betracht - nicht nur der eingezeichnete Punkt 2.

Drei mögliche Paarungen von Vor- und Rücklaufemperatur für das neue Temperaturniveau am Heizkörper 1 könnten also sein:

- 63/50°C (Punkt 2 - mit altem Massenstrom $\dot{m}/\dot{m}_n = 1,0$),
- 71/44°C (Punkt 3 - mit 50 % des alten Massenstromes $\dot{m}/\dot{m}_n = 0,5$) oder
- 58/54°C (Punkt 4 - mit dreifachem Massenstrom $\dot{m}/\dot{m}_n = 3,0$).

Weitere Paarungen werden in Bild 75 wiedergegeben. Die im Bild gestrichelt eingetragene Linie symbolisiert die logarithmische Temperatur von 56,1 K. Sie ist die Summe aus Raumtemperatur (20°C) und logarithmischer Übertemperatur (36,1 K).

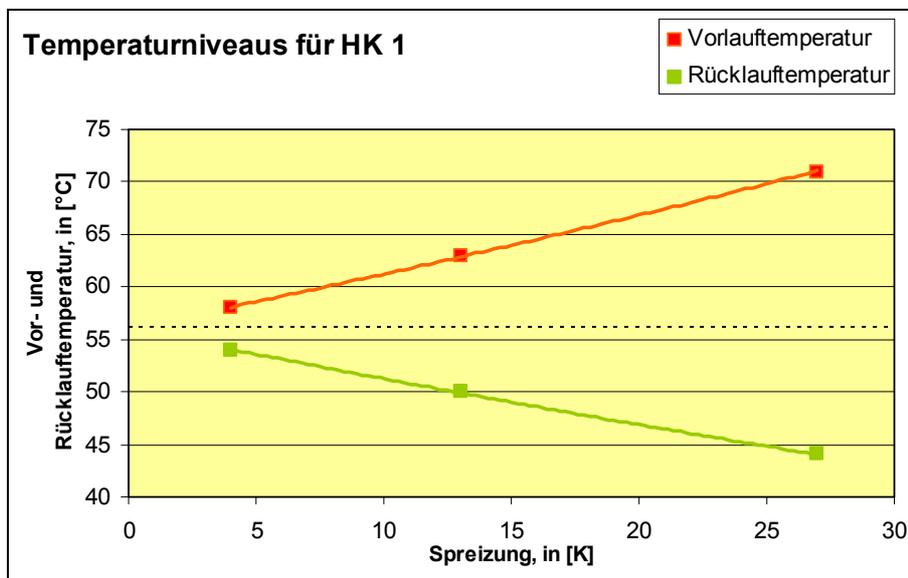


Bild 75 Mögliche Temperaturniveaus für Heizkörper 1

Genauso werden für jeden Heizkörper im Netz die möglichen Vorlaufemperaturen (so dass der Raum beheizt wird) und zugehörigen Rücklaufemperaturen bestimmt. Wie soll bei fehlenden Daten über das alte Gebäude und die alte Anlage vorgegangen werden? Wenn nicht bekannt ist:

- welches Temperaturniveau in der Altanlage gefahren wird (die Vorlaufemperatur kann über die Reglereinstellungen ermittelt werden, die sich einstellende Rücklaufemperatur ist aber in der Regel unbekannt),
- ob die vorhandenen Heizkörper passend zur alten Heizlast dimensioniert waren und
- welche Heizlasten vor der Sanierung überhaupt vorlagen,

ist wie nachfolgend beschrieben zu verfahren.

Anstelle des "alten" Zustandes vor der Sanierung, für den die Daten fehlen, ist der "Normzustand des Heizkörpers" einzusetzen. Das bedeutet: in Gleichung (35) ist statt der "alten" logarithmischen Übertemperatur die "Übertemperatur bei Normtemperaturen" bei zu verwenden. Diese Normtemperaturen sind in der EN 442 mit 75/65/20°C festgelegt, wonach die Übertemperatur $\Delta\vartheta_{In,alt} = 49,8$ K beträgt.

Bei diesem Norm-Temperaturpaar dokumentieren Hersteller die Heizkörperleistungen in Katalogen. In Gleichung (36) wird dann an Stelle der "alten" unbekannteren Raumheizlast **die Normheizleistung des Heizkörpers bei 75/65/20°C eingesetzt. Sie ist für den vorhandenen Heizkörper mit Hilfe von Katalogdaten zu bestimmen.**

Trotz der beschriebenen veränderten Vorgehensweise ergeben sich die gleichen Paare möglicher Vor- und Rücklauftemperaturen. **Allerdings gilt auch für diese Vorgehensweise, dass die neue Raumheizlast bekannt sein muss. Eine - zumindest überschlägige - Heizlastbestimmung für den sanierten Zustand muss vorliegen oder durchgeführt werden.**

7.1.3 Optimierte Temperaturniveau und Reglereinstellung

Einen Überblick über die Zusammenhänge und Randbedingungen, die bei einer Optimierung des Temperaturniveaus zu beachten sind, zeigt Bild 76. Eine vertiefte Darstellung befindet sich im "Handbuch mit Hintergrundinformationen zur Optimierung (siehe Bild 71 bzw. [25]).

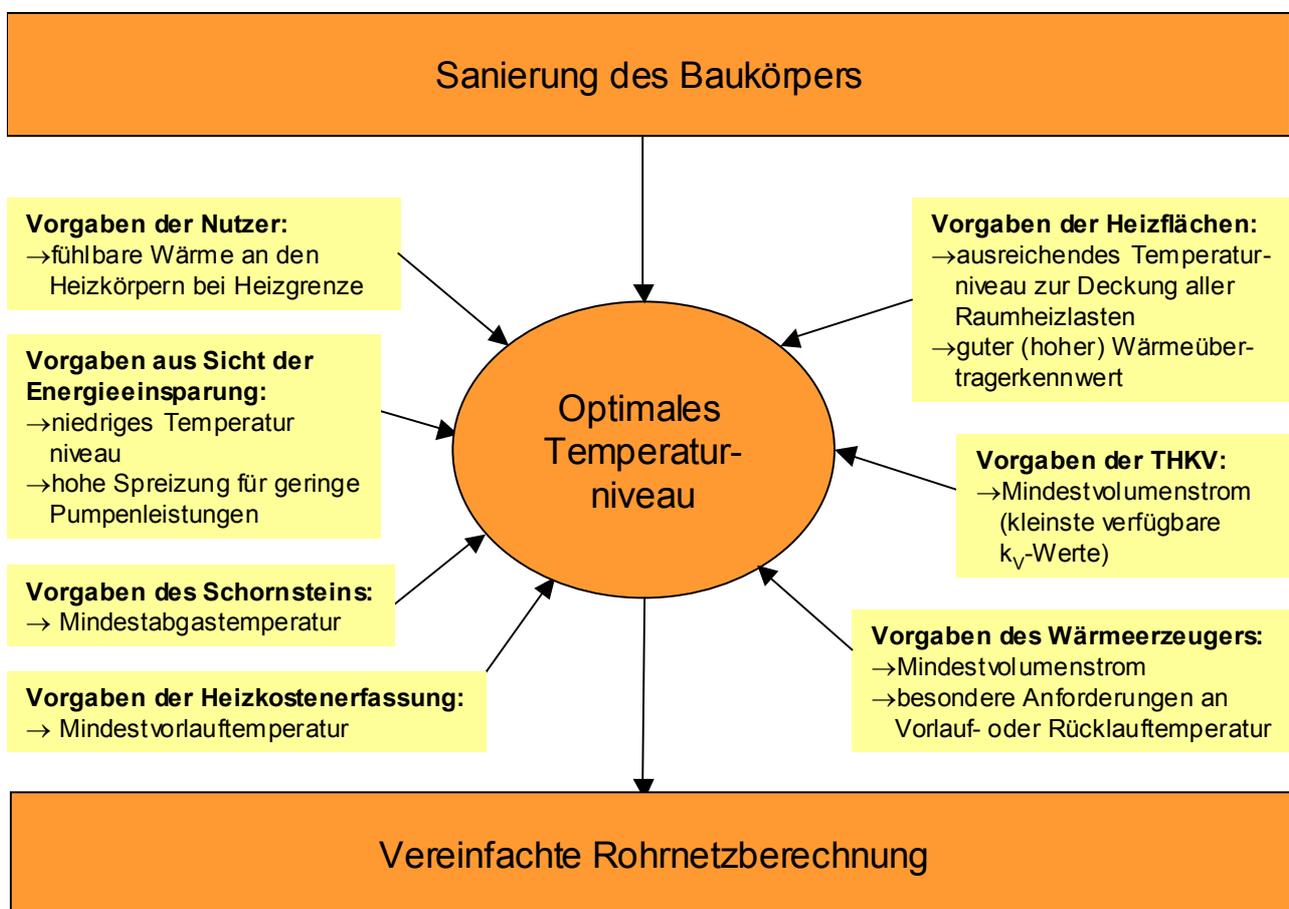


Bild 76 Zusammenhänge bei der Wahl eines optimalen Temperaturniveaus [25]

Die Temperatur in der Heizungsanlage wird zunächst soweit abgesenkt, wie es die Randbedingungen zulassen. Alle Räume müssen noch warm werden, die Heizkörper müssen aber auch regelbar bleiben, die Vor- und Rücklauftemperatur muss dem Erzeuger angemessen sein, es dürfen sich weder zu kleine noch zu große Heizwassermassenströme ergeben usw.

Liegt die Vorlauftemperatur fest, ergeben sich für jeden Heizkörper die Rücklauftemperaturen und Volumenströme automatisch (aus dem Verhältnis der Heizkörperleistung zur Raumheizlast).

Die berechnete Vorlauftemperatur, die allen gewünschten Kriterien der Anlagen und Nutzung entspricht, wird an der Regelung eingestellt. Hierzu wird die Steigung entsprechend den Herstellerunterlagen in die witterungsgeführte Regelung übertragen.

7.1.4 Druckverluste im Netz und hydraulischer Abgleich

Dieser Abschnitt erläutert die wichtigste hydraulische Fragestellung für eine Heizungsanlage: den hydraulischen Abgleich. Der hydraulische Abgleich bewirkt, dass genau die Menge Wasser durch die Rohre strömt, die benötigt wird. Ziel ist also durch den Einbau oder Eineinstellung von Widerständen das Heizungswasser genau in der richtigen Menge an jede Stelle des Netzes zu leiten.

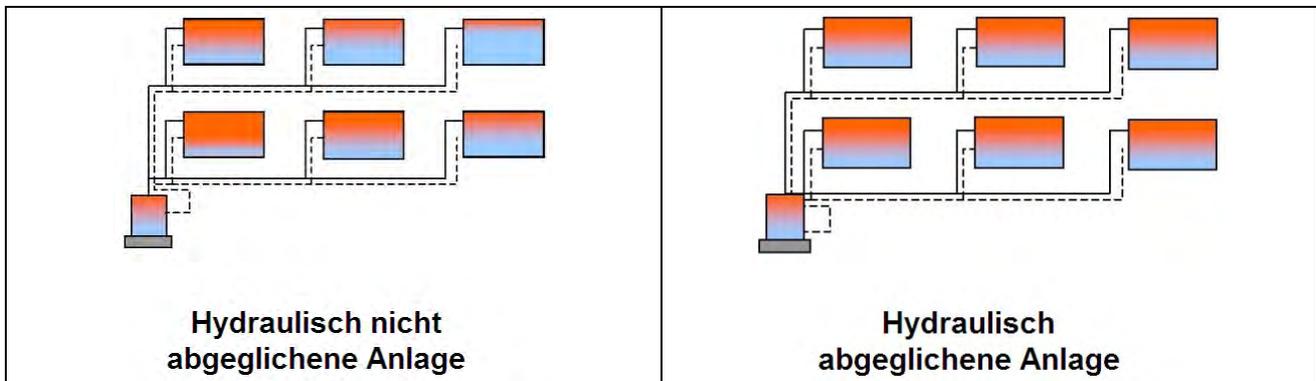


Bild 77 Anlage mit und ohne hydraulischen Abgleich

Ohne hydraulischen Abgleich werden einzelne Räume nicht ausreichend beheizt und pumpennahe Heizkörper mit Heizwasser übersorgt. Gegen die Unterversorgung der fernen Heizkörper werden in der Praxis leider häufig "Behelfslösungen" (Pumpenleistung oder Vorlauftemperatur erhöhen) anstelle eines richtigen hydraulischen Abgleichs vorgenommen. Diese Eingriffe in die Anlagentechnik führen in der Regel zur Beseitigung des Problems (es kommen weniger Klagen über zu kalte Räume), erhöhen aber meist den Energieverbrauch (Pumpenleistung, schlechter Kesselnutzungsgrad bei Brennwertkesseln) oder führen zu Geräuschen sowie ungleichmäßiger Gebäudebeheizung.

Die Berechnung der Einstellwerte für die Thermostatventile (Durchflusswerte k_v oder direkt Voreinstellungen) erfordert Kenntnisse über den Volumenstrom, der durch die Thermostatventil fließen muss sowie über den Druckverlust, der über dem Ventil abfällt.

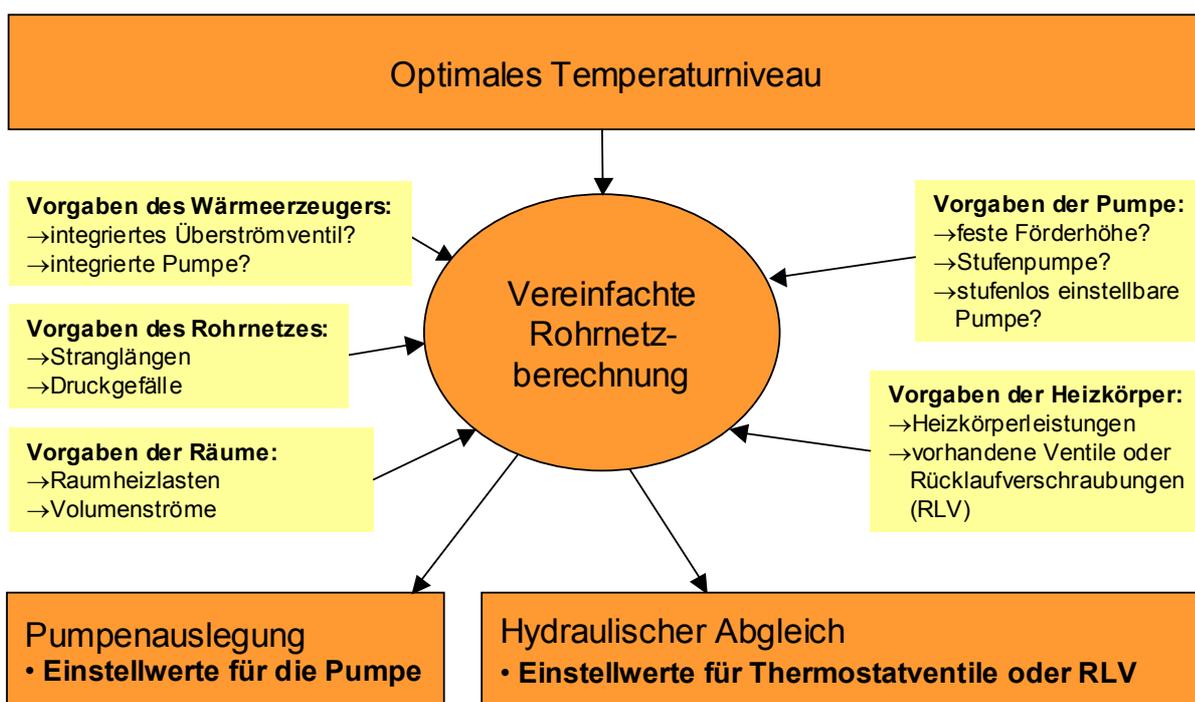


Bild 78 Einflussgrößen auf die vereinfachte Rohrnetz-berechnung [25]

Der Volumenstrom durch jeden Heizkörper liegt mit der Entscheidung für eine bestimmte Vorlauf-temperatur fest. Zur Bestimmung der Druckverluste über dem Ventil muss festgestellt werden, welcher Differenzdruck überhaupt an zentraler Stelle zur Verfügung steht und in welchen Bandbreiten er eingestellt werden kann (Regelpumpe, unregelte Pumpe, Differenzdruckregler, Überströmventil). Zum anderen müssen die Druckverluste im Netz abgeschätzt werden, d.h. zentrale Druckverluste durch Filter, Wärmemengenzähler, Wärmeübertrager usw. und die für jeden Rohrstrang unterschiedlichen Druckverluste in den Rohrleitungen.

Diese und weitere Einflussgrößen auf die hydraulische Berechnung zeigt Bild 78. Eine Detailbeschreibung der Vorgehensweise bei der Bestimmung von Leitungslängen und R-Werten ohne exakte Rohrnetz-berechnung befindet sich im "Handbuch mit Hintergrundinformationen zur Optimierung (siehe Bild 71 bzw. [25]).

Ergebnis der nach der Bestimmung des optimalen Temperaturniveaus folgenden vereinfachten Rohrnetz-berechnung sind die Einstellwerte für Thermostatventile (Voreinstellungen) oder ggf. Rücklaufverschraubungen und die Einstellwerte für die Pumpe oder einen Differenzdruckregler bzw. ein Überströmventil.

7.1.5 Thermostatventile

Von der Optimierung sind auch die Thermostatventile betroffen. Es soll sichergestellt werden, dass die Ventile einwandfrei funktionieren. Das bedeutet, sie sollen möglichst nur Fremdeinflüsse, z.B. des Nutzers ausregeln (Bild 80). Nicht jedoch überhöhte Vorlauftemperaturen und Differenzdrücke, da dies zum verschlechterten Regelverhalten führt.

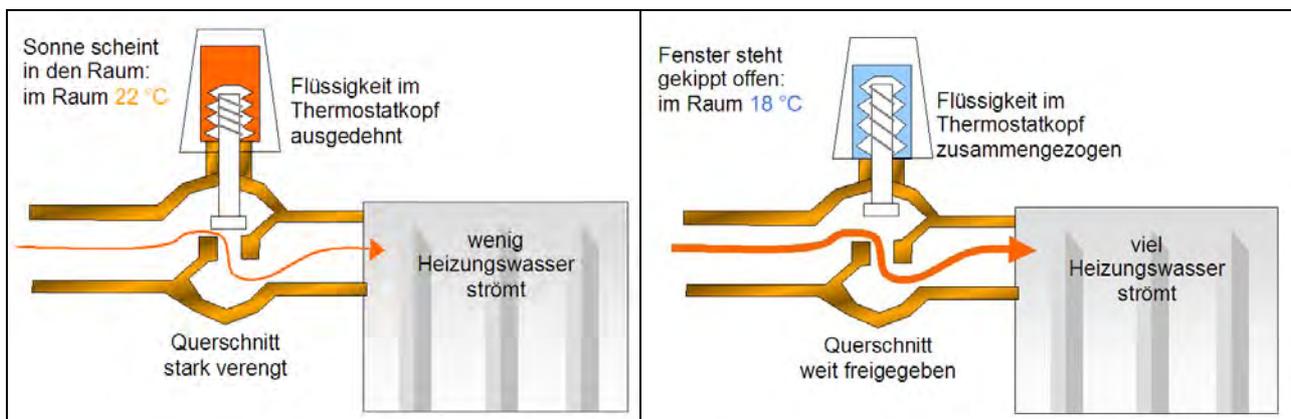


Bild 79 Schließendes und öffnendes Thermostatventil

Im OPTIMUS-Projekt wurden voreinstellbare Thermostatventile nachgerüstet, sofern sie nicht vorhanden waren. Hierzu wurden entweder die gesamten Ventile (Unterteil, Einsatz und Kopf) getauscht oder nur die Ventileinsätze.

In Einzelfällen wurden selbstregelnde Thermostatventile (MiniCombi der Firma Siemens) eingebaut, vgl. Bild 80. Sie haben den Vorteil der sehr guten Regelbarkeit. Der eingestellte Differenzdruck wird über dem geöffnetem Ventil unter allen Betriebsbedingungen konstant gehalten, Druckschwankungen im restlichen Netz, die durch andere THKV hervorgerufen werden, haben keinen Einfluss auf das Regelverhalten des Ventils. Es gibt keine Geräuschprobleme, selbst bei sehr hohen Differenzdrücken über dem Ventil. Bisher gibt es nur Ventilgrößen, die auf relativ hohe Volumenströme ausgelegt sind (> 35 l/h). Diese Ventile haben einen etwa doppelt so hohen Preis wie normale THKV.

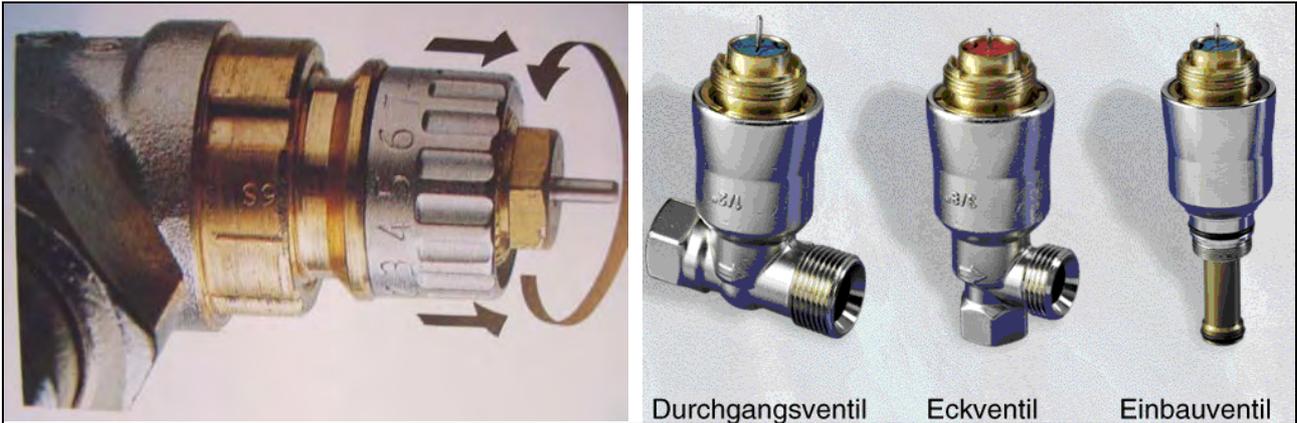


Bild 80 Voreinstellbares und selbstregelndes Thermostatventil

Ein optimales Regelverhalten der Thermostatventile kann nur erreicht werden, wenn alle Anlagenkomponenten optimal eingestellt sind und aufeinander abgestimmt sind. Dadurch wird nicht nur der Komfort erhöht, sondern auch dazu beigetragen, Energie zu sparen. Damit die Thermostatventile gut arbeiten können, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- die Vorlauftemperatur muss richtig eingestellt sein,
- die Pumpenförderhöhe muss richtig eingestellt sein,
- das THKV muss eine ausreichende Ventilautorität besitzen.

7.1.6 Pumpen und Differenzdruckregler

Die in den Anlagen vorgefundenen Pumpen wurden, sofern dies ging, nur auf die erforderliche, berechnete Förderhöhe eingestellt. Es wurden keine Hocheffizienzpumpen eingesetzt. Waren die einstellbaren Pumpenförderhöhen mehr als doppelt so hoch wie die benötigte Pumpe, wurden:

- externe (austauschbare) Pumpe gegen passende Pumpen ersetzt,
- bei internen (nicht austauschbaren) Pumpen Differenzdruckregler zur Druckentlastung der Anlage eingebaut, vgl. Bild 81.

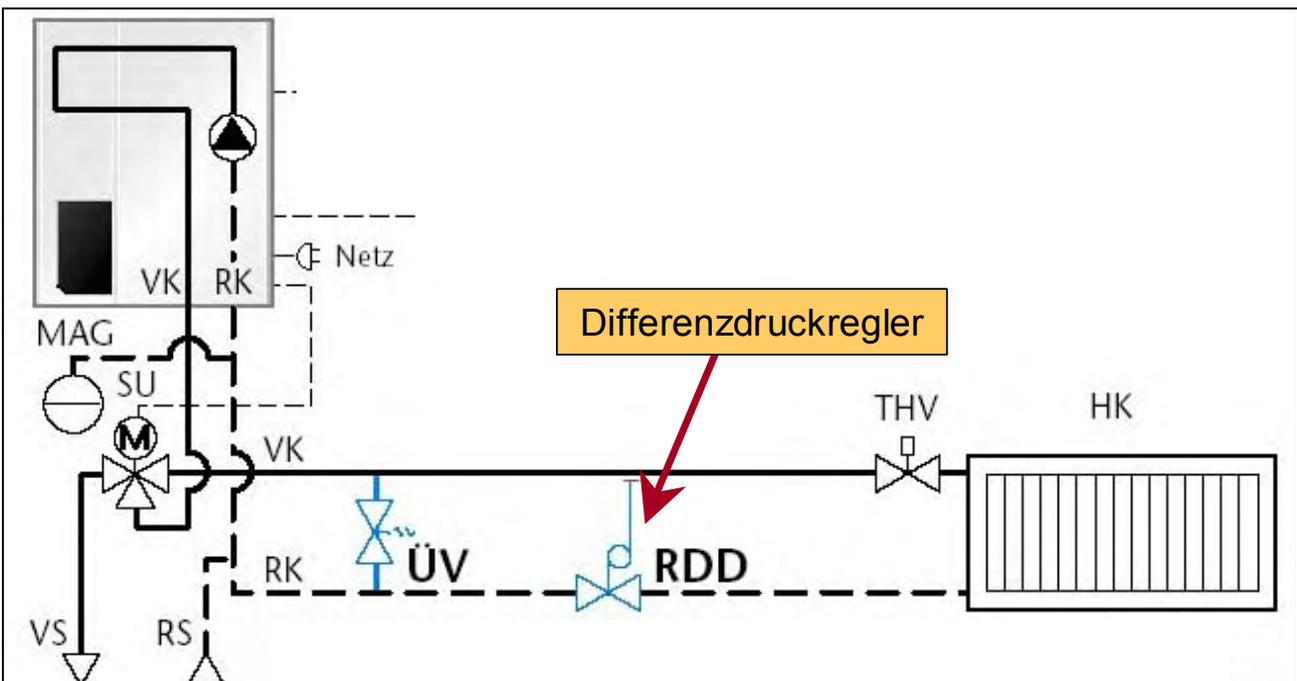


Bild 81 Differenzdruckregler in einer Kesselanlage mit integrierter Pumpe

7.1.7 Wärmeerzeuger, Verteilungen und weitere Komponenten

Im OPTIMUS-Projekt wurden keine Wärmeerzeuger ausgetauscht und keine Wärmedämmungen an Verteilungen vorgenommen. Diese Optimierungsmaßnahmen an der Anlage wurden bewusst nicht durchgeführt, da sie mit höheren Investitionskosten verbunden sind und ihre Wirtschaftlichkeit bereits in anderen Projekten nachgewiesen werden konnte.

Begleitende Optimierungsmaßnahmen sind die Nachinstallation von Schmutzfiltern (Bild 82) sowie die Anpassung von Anlagenbetriebszeiten an der zentralen Regelung (Heizgrenztemperatur, Schaltzeiten für die Zirkulationspumpe, Nachtabsenkung oder Nachtabschaltung).



Bild 82 Schmutzfilter vor dem Einbau

7.2 Verfahren zur Optimierung

Aus Basis der in Abschnitt 7.1 beschriebenen Grundlagen für die Anlagenoptimierung wurden zwei Rechenprogramme für das Handwerk bzw. Heizungsplaner entwickelt. Diese sind gleichzeitig eine universelle Handlungsanweisung zur Optimierung als auch ein Werkzeug zu deren Umsetzung. Die Programme ersetzen noch fehlende Arbeitshilfen für bestehende Anlagen (DIN-Normen, Richtlinien, Arbeitsblätter o.ä.).

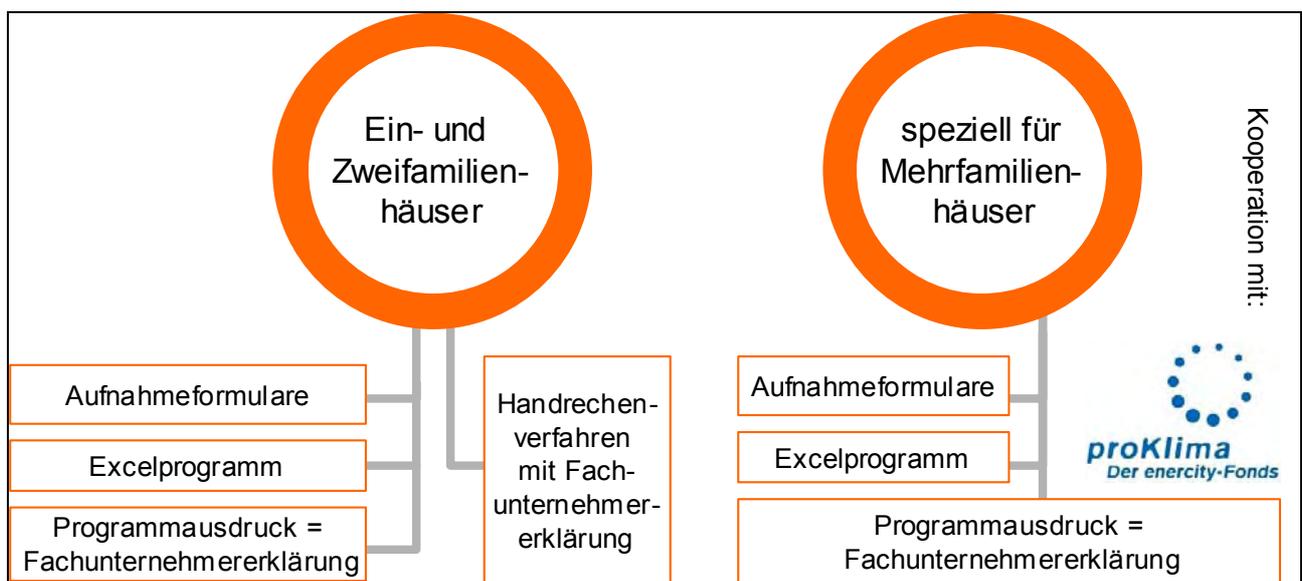


Bild 83 Arbeitshilfen für die Optimierung

Die Entwicklung beider Programme lief in zwei Schritten ab. Zunächst wurde ein allgemeines Rechenverfahren für Gebäude bis etwa 70 kW Heizlast und ca. 100 Heizkörper entwickelt. Dieses wurde im Rahmen einer Kooperation der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) mit der proKlima GbR, Hannover, entwickelt und wird nachfolgend als "ausführliches Verfahren" bezeichnet.

Auf Basis dieses universell für EFH und MFH einsetzbaren Programms wurde das zweite Verfahren im Rahmen des OPTIMUS-Projekts erarbeitet. Das Ergebnis ist ein weniger umfangreiches Verfahren speziell zur Optimierung von "Ein- und Zweifamilienhäusern". Es liegt als Excelprogramm und als Handrechenverfahren vor.

Beide Programme folgen bewusst dem gleichen Ablauf, so dass sie dem Fachhandwerker in einer Schulung vermittelt werden können. Die Struktur wird nachfolgend allgemeingültig erläutert. Stellen, an denen sich beide Verfahren unterscheiden, werden hervorgehoben.

Überblick

Soll eine Heizungsanlage optimiert, d.h. an die realen Erfordernisse des Gebäudes und der Nutzung angepasst werden, erfordert dies vom Anlagenfachmann einige Berechnungen. Ohne diese könnte man immer nur probieren, welches die optimalen Einstellwerte für die Pumpe, die Voreinstellungen der Thermostatventile oder die Reglereinstellungen sind. Dies ist in der Regel nicht bezahlbar, so dass man um die Berechnungen nicht umhin kommt.

Mit beiden Excel-Programmen zur "Optimierung von Heizungsanlagen" stehen dem Heizungsbauer Arbeitshilfen zur Verfügung, mit deren Hilfe die Berechnung des hydraulischen Abgleichs nicht mehr abschreckend wirkt, sondern möglichst einfach in den Arbeitsprozess des Heizungsbauers eingefügt werden kann. Nach einer halbtägigen Schulung kann der Anlagenfachmann das Programm mühelos bedienen. Ein Verständnis der Systemzusammenhänge ist damit aber noch nicht gegeben.

Nach Abfrage und Eingabe weniger notwendiger Daten von Gebäude und Heizungsanlage wird vom Programm eine Heizlastberechnung durchgeführt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse werden anschließend die notwendige Übertemperatur der einzelnen Heizkörper sowie die optimale Temperaturspreizung der Heizungsanlage berechnet. Für diese Spreizung und den daraus resultierenden Volumenstrom berechnet das Programm schließlich die notwendige Förderhöhe der Umwälzpumpe sowie die für die Voreinstellung der einzelnen Thermostatventile benötigten Werte (Volumenstrom und Druckverlust bzw. k_V -Wert).

Detailablauf

Die Optimierung einer Heizungsanlage beginnt mit der Datenaufnahme vor Ort. Folgende Daten müssen mit Hilfe von Fragebögen aufgenommen werden:

- Die Größe der Fenster- und Außenflächen für die Ermittlung der Heizlast, d.h. der notwendigen Wärmeleistung im Raum.
- Typ und Maße der vorhandenen Heizflächen für die Ermittlung der Normheizleistung, d.h. der Wärmeleistung des Heizkörpers unter Normbedingungen.
- Typ und Anschlussdurchmesser der Thermostatventile bzw. Rücklaufverschraubungen sowie überhaupt die Voreinstellbarkeit des Thermostatventils. Sind die Ventile einstellbar, dann müssen der Hersteller und der Typ bekannt sein, damit der Anlagenfachmann in den Herstellerunterlagen die Einstellung bei diesem speziellen Ventil ermitteln kann.

Diese Daten werden alle innerhalb der beheizten Räume aufgenommen. Es müssen also alle Räume begangen werden. Bei der Begehung werden nur Begrenzungsflächen aufgenommen, über die maßgeblich Wärme verloren geht. Wärmeverluste zu ähnlich beheizten Räumen werden vernachlässigt. In Bild 84 sind beispielsweise die aufzunehmenden Flächen zur Außenluft und zum Keller gekennzeichnet.

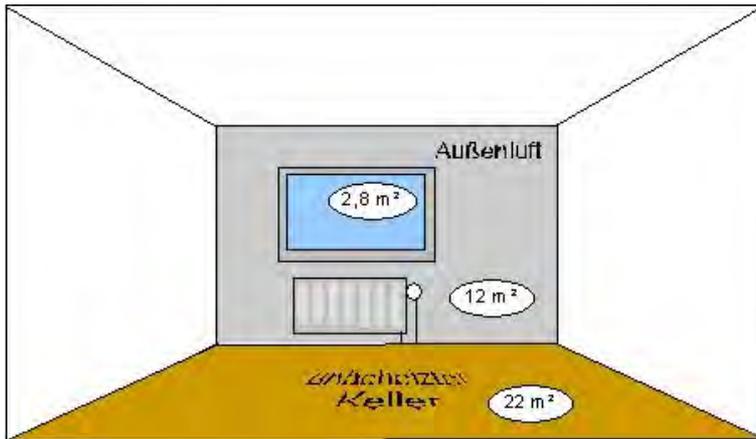


Bild 84 Aufzunehmende Flächen eines Raumes

Weiterhin werden nur beim "ausführlichen Verfahren" die Länge des längsten Strangs des Rohrnetzes und die Entfernung der einzelnen Heizkörper zur Pumpe (weit, mittel, nah) dokumentiert. Diese in Bild 85 dargestellte, vom Heizungsbauer subjektiv zu treffende Entscheidung ist vor allem bei Mehrfamilienhäusern notwendig, um die Druckverluste zwischen der Pumpe und den Heizkörpern zu bestimmen. Beim "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" werden, da die Netze eine sehr geringe Ausdehnung haben, alle Heizkörper einer Zone zugeordnet.

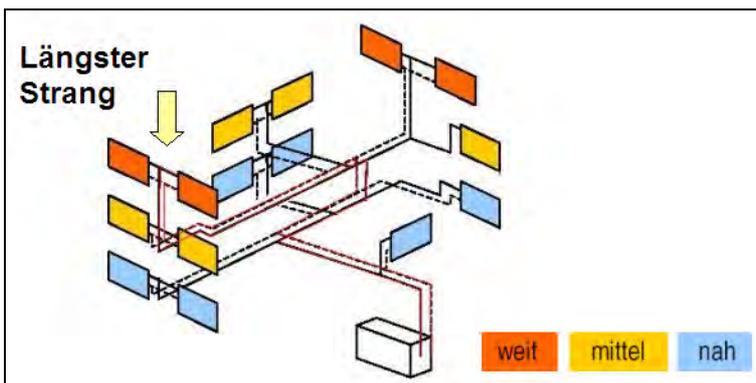


Bild 85 Zuordnung der Heizkörper zu drei Entfernungsgruppen

In jedem Fall müssen besondere Einbauteile in der Heizzentrale (z.B. Filter o.ä.) aufgenommen werden, damit deren Druckverlust bestimmt werden kann und die Förderhöhe für das Netz entsprechend hoch gewählt wird. Die Pumpe bzw. die Förderhöhe im Netz wird auf Basis der Eingaben nur so groß gewählt oder eingestellt, dass auch der letzte Heizkörper (am längsten Strang, d.h. am weitesten entfernt von der Pumpe) ausreichend versorgt ist.

Nach der Aufnahme der Daten vor Ort, werden alle Werte in eines der beiden Softwareprogramme eingetragen. Zuerst wird dann vom Programm die Heizlast der Räume überschlägig anhand der Wärmeverluste über die Außenflächen ermittelt. Dann werden aus hinterlegten Datenbanken die Normheizleistungen der Heizkörper bestimmt.

Es wird in jedem Raum verglichen: das Verhältnis Normheizleistung des Heizkörpers zu Raumheizlast. Der Raum, bei dem dieses Verhältnis am kleinsten ist, wo also Angebot und Bedarf fast gleich sind, bestimmt die Wahl des neuen Temperaturniveaus. Es ist der Raum bzw. der Heizkörper mit der geringsten Überdimensionierung. Er wird auch als der thermisch ungünstigste Heizkörper oder Raum bezeichnet.

Aus den möglichen Temperaturniveaus (Paarungen zwischen Vor- und Rücklauftemperatur, vgl. Abschnitt 7.1.2) wird das optimale für die konkrete Anlage ausgewählt. Hier folgen die beiden Programme einer etwas unterschiedlichen Strategie.

- Das "Ausführliche Verfahren" berücksichtigt diverse Randbedingungen: z.B. die Regelbarkeit des Systems oder die Verfügbarkeit bestimmter Bauteile, siehe auch Bild 86. Es ergibt sich ein Bereich für die optimale Vorlauftemperatur, in dem ein Wert gewählt wird.
- Im "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" wird aus Gründen der Vereinfachung die Temperatur so hoch gewählt, dass sich am thermisch ungünstigsten Heizkörper Spreizungen zwischen 5 und 10 K ergeben.

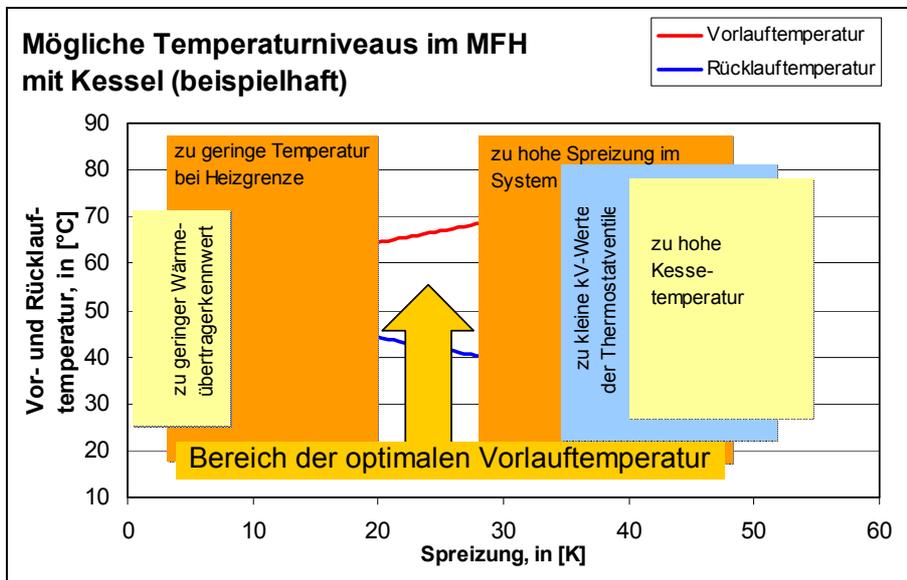


Bild 86 Schematische Darstellung des optimalen Temperaturbereiches für ein Netz

Die optimale Vorlauftemperatur legt in beiden Fällen einen Einstellwert für die Heizkurve fest, den der Anlagenfachmann später vor Ort an der Regelung einstellen muss. Außerdem liegen damit die Durchflüsse durch die Heizkörper/Thermostatventile und die Pumpe fest und die Druckverlustberechnung kann beginnen.

Da die genauen Leitungslängen und Druckverluste der Rohre nicht bekannt sind, wird mit Typologien gearbeitet. Diese basieren auf typischen Kennwerten von Bestandsgebäuden. Für die Berechnung der Druckverluste werden auch die in der Heizzentrale vorher aufgenommenen Sondereinbauten im Rohrnetz (Filter usw.) berücksichtigt.

Für das ganze Netz ergibt sich ein Gesamtdruckverlust. Dieser bestimmt die Förderhöhe der Pumpe, die der Anlagenfachmann später an der Pumpe einstellen muss. Beide Programme empfehlen unter bestimmten Umständen den Einbau eines Differenzdruckreglers.

- Das "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" empfiehlt generell den Einbau eines Differenzdruckreglers, wenn die Pumpe oder das vorhandene Überströmventil nicht auf den benötigten Wert einstellbar ist.
- Das "ausführliche Verfahren" lässt bis zu einem gewissen Maß eine zu hohe Förderhöhe zu. Es empfiehlt den Differenzdruckregler erst, wenn eine sehr schlechte Regelung der Thermostatventile zu befürchten ist.

Liegen die Förderhöhe der Pumpe bzw. des Differenzdruckreglers fest, erfolgen die Berechnungen für den hydraulischen Abgleich. Beide Programme bestimmen die Durchflusswerte k_v für jeden einzelnen Heizkörper. Anhand dieser Größen kann vom Fachmann mit Hilfe von Herstellerunterlagen die Voreinstellung des Thermostatventils oder der Rücklaufverschraubung bestimmt werden. Das "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" gibt zusätzlich sofort den konkreten Wert für die Voreinstellung aus, sofern der Ventiltyp in der Programmdatenbank hinterlegt ist.

Die Optimierung bzw. die Berechnung aller Einstellwerte durch das Programm ist damit beendet.

Alle optimierten Einstellungen der einzelnen Anlagenbestandteile wurden ermittelt, auf einem Übersichtsblatt zum Ausdrucken sind alle Einstellwerte der Anlagenkomponenten dokumentiert. Dieses Blatt kann als Fachunternehmererklärung verwendet werden. Es folgt die Optimierung vor Ort.

7.3 Ausführliches Verfahren

7.3.1 Softwareanwendung und Handbuch

Mit der Zielrichtung, eine Anlage in möglichst wenigen, überschaubaren Arbeitsschritten zu optimieren, ermöglicht die Software folgendes:

1. Einfache, aber zugleich ausreichend genaue Ermittlung der Auslegungsheizlasten der einzelnen Räume,
2. Bestimmung der Normheizleistungen der installierten Heizkörper für die üblichen Typen anhand einer hinterlegten Datenbank,
3. Bestimmung des thermisch ungünstigsten Heizkörpers (geringste Überdimensionierung) durch Vergleich der Auslegungsraumheizlasten und der Normheizleistung der installierten Heizflächen,
4. Berechnung der benötigten Übertemperaturen für alle Heizkörper,
5. Auswahl einer geeigneten Auslegungsvorlauftemperatur unter Berücksichtigung diverser Randbedingungen, u.a. des Wärmeübertragerkennwerts und der sich ergebenden k_V -Werte der Thermostatventile,
6. Ermittlung der Auslegungsvolumenströme der einzelnen Heizflächen für die gewählte Vorlauftemperatur,
7. Berechnung einer optimal einzustellenden Restförderhöhe in Systemen, die einstellbar sind,
8. Berücksichtigung der real einstellbaren oder vorhandenen Restförderhöhe der Pumpe oder des Differenzdruckreglers (Mindesteinstellwerte, feste Pumpen, stufige Pumpen usw.),

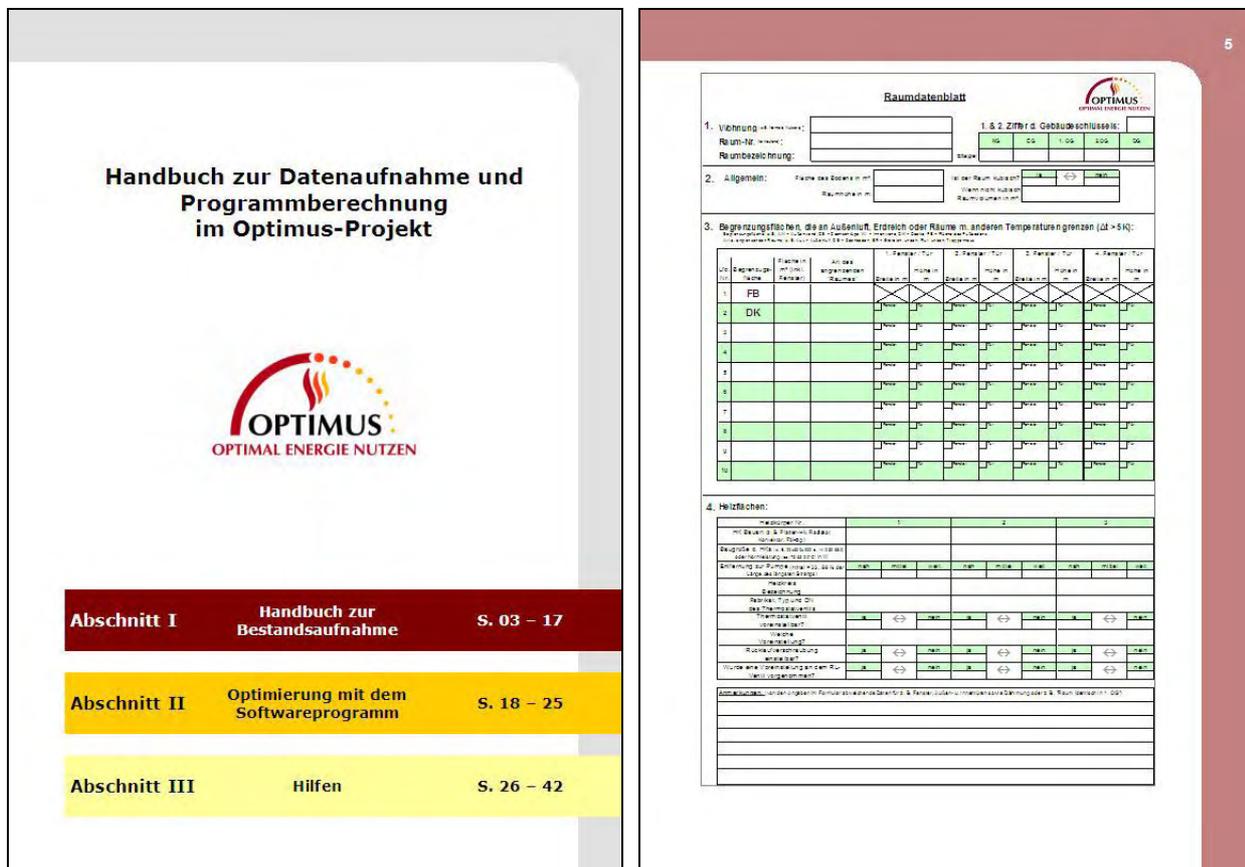


Bild 87 Handbuch zum Ausführlichen Verfahren (Deckblatt, Raumdatenblatt)

9. Berechnung des Druckverlustes im Rohrnetz (incl. näherungsweise Bestimmung des neuen R-Wertes) und damit des Differenzdrucks, der an den einzelnen Thermostatventilen zur Verfügung steht,
10. Bestimmung des benötigten k_V -Werts der einzelnen Thermostatventile.

Falls erforderlich, schlägt das Programm den Einsatz eines Differenzdruckreglers vor, z.B. bei Wandgeräten mit sehr hoher fest vorgegebener Restförderhöhe. Weiterhin werden Hinweise gegeben, wann die Wahl des optimalen Temperaturniveaus nicht oder nur mit Abstrichen möglich ist.

Das Handbuch zum "Ausführlichen Verfahren" enthält auf 25 Seiten Informationen zur Installation, zum Programmablauf und den Menüfunktionen in der Software, die Aufnahmeblätter für die Begehung sowie einen umfangreichen Anhang mit hilfreichen Daten, vgl. Bild 87 und Bild 88.

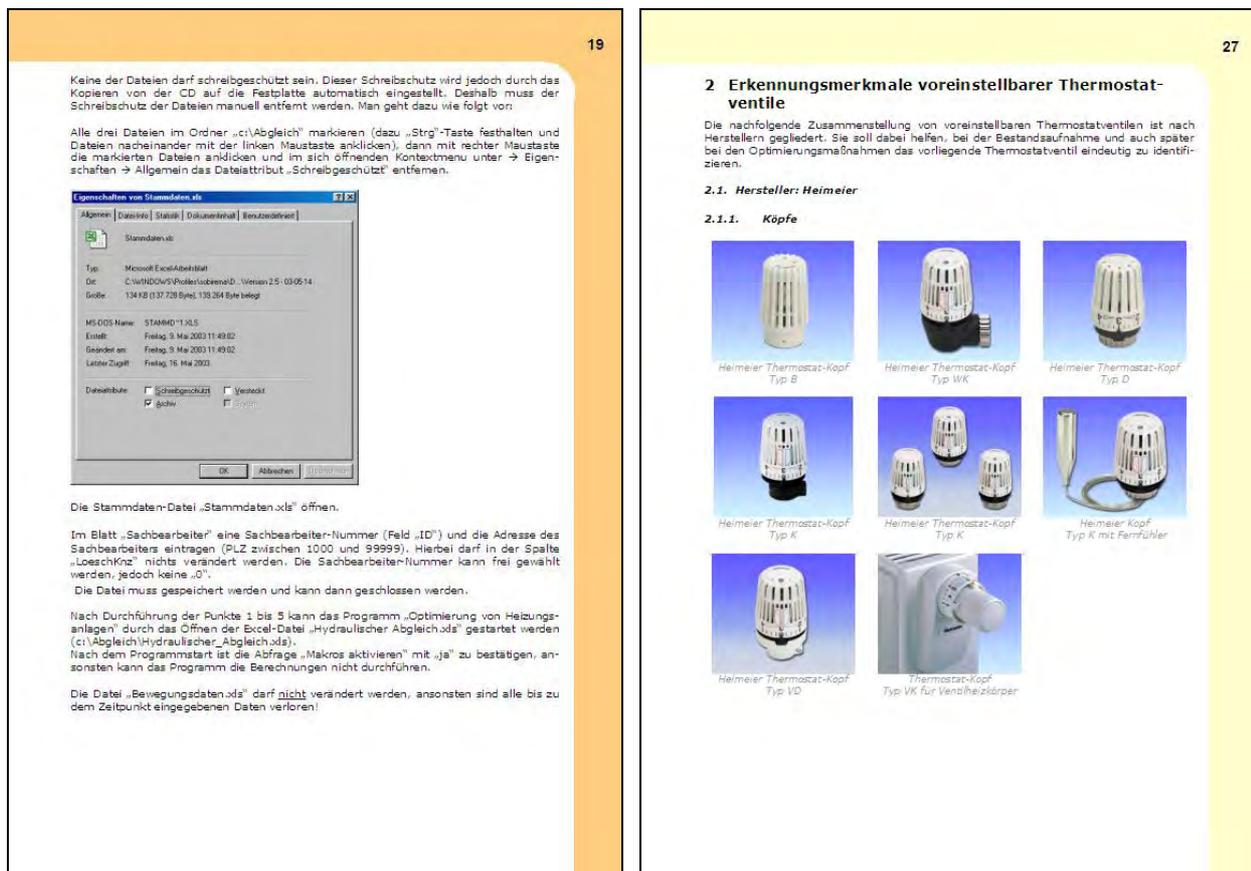


Bild 88 Handbuch zum Ausführlichen Verfahren (Installationshinweis, Arbeitshilfe Thermostatventile)

Aufnahmeformulare

Die zur Optimierung notwendigen Daten des Gebäudes, die in das Softwareprogramm eingegeben werden, können mit Hilfe von drei Aufnahmeformularen vor Ort aufgenommen werden, siehe auch Bild 89.

Auf dem Aufnahmeformular I werden allgemeine Daten, wie die Adressen von Gebäude und Ansprechpartner erfasst. Des Weiteren werden allgemeingültige Angaben für die vom Programm durchzuführende Heizlastberechnung abgefragt, beispielsweise die Lage des Gebäudes, das Gebäudebaujahr und der überwiegend verwendete Fenstertyp. Diese Daten werden im Programm dazu verwendet, um zum Beispiel typische U-Werte (früher k-Werte) für Wände und Fenster abzuschätzen.



Aufnahmeformular I



A) Antragsteller - Daten

Name	:	<input type="text"/>	
Vorname	:	<input type="text"/>	
Straße	:	<input type="text"/>	
Hausnummer	:	<input type="text"/>	Telefon : <input type="text"/>
PLZ	:	<input type="text"/>	Telefax : <input type="text"/>
Wohnort	:	<input type="text"/>	Email : <input type="text"/>

B) Gebäudedaten

1. Gebäudeanschrift:

Straße	:	<input type="text"/>
Hausnummer	:	<input type="text"/>
PLZ	:	<input type="text"/>
Ort	:	<input type="text"/>

2. Gebäudeart und Baujahr:

Einfamilienhaus	<input type="radio"/>	oder	Mehrfamilienhaus	<input type="radio"/>	
windstark	<input type="radio"/>	oder	windschwach	<input type="radio"/>	Gebäudebaujahr: <input type="text"/>
freie Lage	<input type="radio"/>	oder	normale Lage	<input type="radio"/>	

3. Überwiegender Fenstertyp:

<i>Verglasungsart:</i>		<i>Rahmenmaterial:</i>	
1-Scheiben-Verglasung (U=5,5)	<input type="radio"/>	Holz	<input type="radio"/>
2-Scheiben-Isolierverglasung (U=3,0)	<input type="radio"/>	Aluminium	<input type="radio"/>
2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (U=1,5)	<input type="radio"/>	Aluminium gedämmt	<input type="radio"/>
3-Scheiben-Isolierverglasung (U=2,1)	<input type="radio"/>	Kunststoff	<input type="radio"/>
3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (U=0,8)	<input type="radio"/>	Kunststoff gedämmt	<input type="radio"/>

4. Heizungskomponenten

Fußbodenheizung vorhanden	<input type="radio"/>
---------------------------	-----------------------

Bild 89 Aufnahmeformular I

Das Aufnahmeformular II fragt die Daten zum Heizkreis ab und muss für jeden im Gebäude vorhandenen Heizkreis, der eine eigene Pumpe bzw. einen eigenem Strangdifferenzdruckregler besitzt, separat ausgefüllt werden.

	<h2 style="margin: 0;">Aufnahmeformular II</h2>	
C) Daten des Heizkreises		
Nummer/Bezeichnung des Heizkreises: <input style="width: 80%;" type="text"/>		
1. Art der Wärmeerzeugung:		
Gas/Öl <input type="radio"/>	Fernwärme <input type="radio"/>	
maximal mögliche Vorlauftemperatur: <input style="width: 40px;" type="text"/> °C	maximal mögliche Vorlauftemperatur: <input style="width: 40px;" type="text"/> °C	
	einzuhaltende Rücklauftemperatur: <input style="width: 40px;" type="text"/> °C	
2. Pumpen		
Hersteller: <input style="width: 80%;" type="text"/>		
Typ: <input style="width: 80%;" type="text"/>		
stufenlos einstellbare Restförderhöhe <input type="radio"/> (dp-konstant oder dp-variabel Regelung)		
nicht stufenlos einstellbare Restförderhöhe <input type="radio"/>		
3. Einbauten und längster Strang		
Differenzdruckregler vorhanden <input type="radio"/>	Eingestellter Druck in mbar	<input style="width: 60px;" type="text"/>
internes Überströmventil vorhanden <input type="radio"/>	Ansprechdruck in mbar	<input style="width: 60px;" type="text"/>
externes Überströmventil vorhanden <input type="radio"/>	Ansprechdruck in mbar	<input style="width: 60px;" type="text"/>
Sondereinbauten vorhanden <input type="radio"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>	
<small>Hinweis: Bei der Programmberechnung muss der Druckverlust der Sondereinbauten beim errechneten Volumenstrom angegeben werden. Bitte notieren Sie sich daher die Daten der Sondereinbauten (Hersteller, Typ, DN, ...)</small>		
Länge des längsten Heizungsstrang im Heizkreis (Vor- und Rücklauf): <input style="width: 60px;" type="text"/> m		
4. Notizen, Skizzen (Handskizze des Anlagenschemas)		
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		

Bild 90 Aufnahmeformular II

D) Raumdatenblatt

1. Wohnung und Heizkreis

Raum-Nr. und Bezeichnung

2. Allgemein:

Fläche des Bodens in m²:

Raumhöhe in m:

Ist der Raum kubisch?

Wenn nicht kubisch
Raumvolumen in m³:

		↔			
		↔			

3. Begrenzungsflächen, die an Außenluft, Erdreich oder Räume m. anderen Temperaturen grenzen ($\Delta t > 5K$):

Begrenzungsfläche: z. B. AW = Außenwand, DS = Dachschräge, IW = Innenwand, DK = Decke, FB = Fläche des Fußbodens
Art d. angrenzenden Raums: z. B. Aul = Außenluft; DB = Dachboden; ER = Erdreich; UR = unbeh. Raum

Lfd. Nr.	Begrenzungsfläche	Fläche in m ² (inkl. Fenster)	Art des angrenzenden "Raumes"	1. Fenster / Tür		2. Fenster / Tür		3. Fenster / Tür		4. Fenster / Tür	
				Breite in m	Höhe in m						
1	FB			<input type="checkbox"/>							
2	DK			<input type="checkbox"/>							
3				<input type="checkbox"/>							
4				<input type="checkbox"/>							
5				<input type="checkbox"/>							
6				<input type="checkbox"/>							
7				<input type="checkbox"/>							
8				<input type="checkbox"/>							
9				<input type="checkbox"/>							
10				<input type="checkbox"/>							

4. Heizflächen:

Heizkörper Nr.	1			2			3		
HK Bauart (z. B. Platten-HK, Guss- oder Stahl-Radiator, Konvektor, FbHzg.)									
Baugröße d. HKs (z. B. 22x600x900 o. 14/250/680) oder Normleistung (bei 75/65/20°C) in W									
Entfernung zur Pumpe (mittel = 33...66 % der Länge des längsten Strangs)	nah	mittel	weit	nah	mittel	weit	nah	mittel	weit
Heizkreis Bezeichnung									
Fabrikat, Typ, Bauart und DN des Thermostatventils									
Voreinstellbares Thermostatventil?	ja	↔	nein	ja	↔	nein	ja	↔	nein
Falls voreinstellbar, aktuelle Voreinstellung (z. B. N oder 3)									
Rücklaufverschraubung einstellbar?	ja	↔	nein	ja	↔	nein	ja	↔	nein
Wurde eine Voreinstellung an dem RL-Ventil vorgenommen?	ja	↔	nein	ja	↔	nein	ja	↔	nein

Anmerkungen: (von den Angaben im Formular abweichende Daten für z. B. Fenster, Außen- u. Innentüren sowie Dämmung oder z. B. "Raum identisch in 1. OG")

Das Aufnahmeformular III muss für jeden zu beheizenden Raum ausgefüllt werden. Neben allgemeinen Angaben zum Raum, wie z.B. der Raumgrundfläche, müssen für die spätere Heizlastberechnung alle Begrenzungsflächen des Raumes aufgenommen werden, die an Außenluft, Erdreich oder Räume mit deutlich abweichenden Temperaturen grenzen. Zum Schluss werden Angaben zu den vorhandenen Heizflächen abgefragt.

Programm-Ablauf

Der Benutzer wird anhand von einzelnen Masken durch das Programm geführt. Dabei werden alle zur Optimierungsberechnung notwendigen Daten vom Programm nacheinander entsprechend der Reihenfolge in den ausgefüllten Aufnahmeformularen abgefragt.

Im Programm wird zwischen der Eingabe von Gebäudedaten (1. Programmteil: Heizlast) und Anlagentechnik (2. Programmteil: Anlagentechnik) unterschieden, siehe Bild 92.

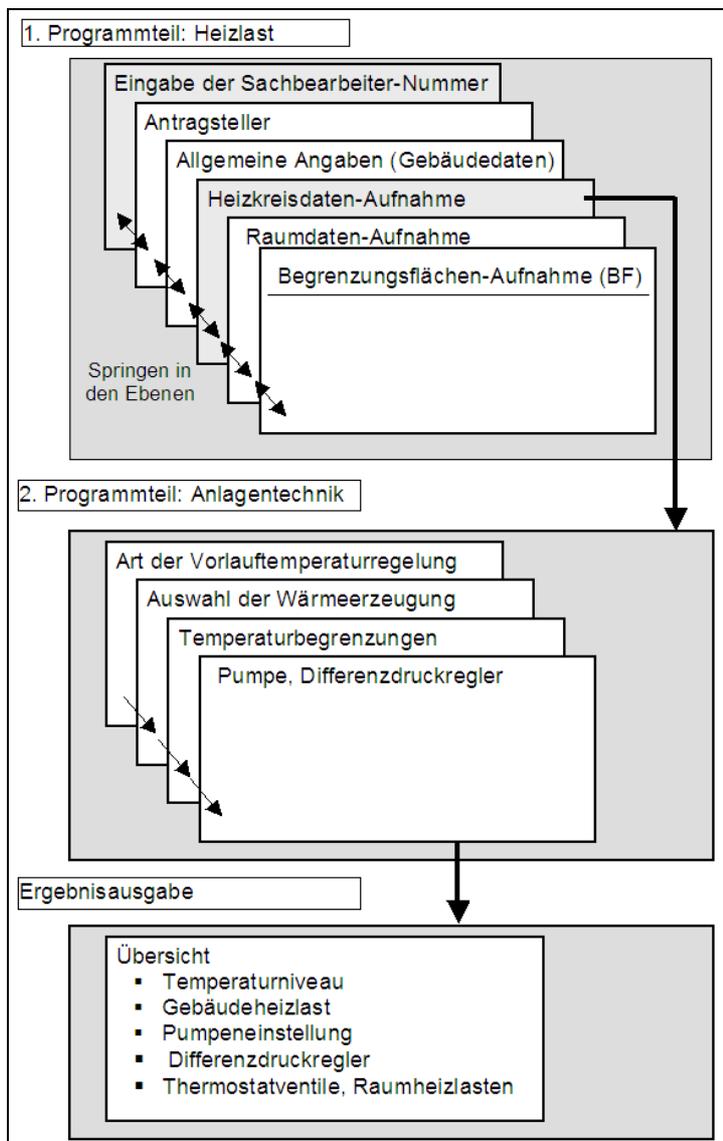


Bild 92 Gliederung des Programms in verschiedene Ebenen

Für die Heizlastberechnung sind Angaben über Wandaufbauten und daraus resultierende U-Werte (früher k-Werte) zu machen. Im Gebäudebestand ist dies in der Regel nicht möglich, deshalb sind im Programm in Abhängigkeit von der Baualtersklasse des Gebäudes typische U-Werte hinterlegt. Dennoch bleibt jederzeit die Möglichkeit offen, genaue Angaben zum Wärmedurchgang der Wand zu machen.

Ein Vergleich der vereinfachten Raumheizlastberechnung des Programms mit einer ausführlichen Heizlastberechnung nach der früher gültigen DIN 4701 Teil 1 wurde in Untersuchungen an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel durchgeführt. Es zeigte eine ausreichend gute Übereinstimmung bei der Ergebnisse.

Ergebnisausdruck

Den Ergebnisausdruck, der vor Ort zur Optimierung verwendet wird, zeigt Bild 93.

Ergebnis der optimierten Hydraulik												Programm-Version 3.4	
Sachbearbeiter						Antragsteller							
Nummer : 2						Name : Wohnungsbau-Gesellschaft XYZ							
Name : Mustermann, Max						Gebäude							
Straße : Musterstr. 1						Straße : Beispielstr. 33							
PLZ, Ort : 38302 Musterstadt						PLZ, Ort : 30000 Beispielstadt							
Telefon : 0800 2266						Strang : Heizkreis gesamtes Gebäude							
Telefax : 0800 2267													
1.) Berechnete Gebäudeheizlast						2.) Optimiertes Temperaturniveau des Gesamtsystems							
Gebäudekenndaten:						Temperaturen für den Auslegungsfall:							
Baualterklasse : 8) 01/1995 bis heute						Vorlauftemperatur : 69 °C --> Am Regler eingestellte Heizkurve:							
Grundfläche : 1212 m ²						Rücklaufemperatur : 41 °C Steilheit: <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/>							
Heizlast : 49 kW						Parallelverschiebung: <input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/>							
spez. Heizlast : 41 W/m ²													
3.) Optimierte Pumpeneinstellung						4.) Differenzdruckregler							
Pumpendaten:						Hinweis / einzustellende Reglerwerte:							
Pumpentyp : Stufenlos einstellbare Restförderhöhe						Der Einsatz eines Strang-Differenzdruckreglers ist nicht erforderlich.							
Pumpenstufe : -													
Restförderhöhe : 80 mbar (entspricht 0,80 m)													
Volumenstrom : 1491 l/h													
5.) Sonstiges		Δp(sonder): 0 mbar Ansprechwert ext. Ü-Ventil: 0 mbar Längster Strang: 120,0 m Kennw. HK-Dim.: 19% 2,4											
6.) Einstellwerte der Thermostatventile													
Raumdaten				Heizkörperdaten				THKVs - Ermittlung der Voreinstellwerte					
Ifd. Nr.	Raumbezeichnung	beheizte Fläche m ²	Raum-Heizlast W	Heizkörper-typ	t _r °C	Norm-Leistung 75/65°C	Ver-hältnis Q ₄₀ /Q _r	k _v -Wert m ³ /h	Δp mbar	Durch-fluss l/h	Gewähltes Ventil: Hersteller, Typ, DN	Gewählte Voreinstellung, Bemerkungen	
1	Kind W1 EG	15,7	800	Profil-Flach-HK 11/500/1200	57	970	1,2	0,27	48	58			
2	Wohnzimmer W1 EG	20,1	841	Profil-Flach-HK 22/500/1200	34	1753	2,1	0,09	48	21		Spreizung > 30 Kl	
3	Bad W1 EG	5,5	244	Profil-Flach-HK 22/900/500	27	1178	4,3	0,02	48	5		Spreizung > 30 Kl	
4	Küche W1 EG	12,2	378	Profil-Flach-HK 11/500/1200	29	970	2,6	0,04	48	8		Spreizung > 30 Kl	
5	Schlafen W1 EG	14,0	740	Profil-Flach-HK 11/500/1200	53	970	1,3	0,18	48	39			
6	Flur W2 EG	6,7	170	Profil-Flach-HK 11/500/400	30	323	2,2	0,02	48	4		kv-Wert zu klein! Spreizung > 30 Kl	
7	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23			
8	Wohnen W2 EG	23,0	638	Profil-Flach-HK 11/500/1200	45	970	1,5	0,11	48	23			
9	Schlafen (Kind) W2 EG	14,0	552	Profil-Flach-HK 11/500/1200	39	970	1,8	0,07	48	16			
10	Schlafzimmer W2 EG	16,0	522	Profil-Flach-HK 11/500/1200	38	970	1,9	0,06	48	14		Spreizung > 30 Kl	
11	Bad W2 EG	8,1	435	Profil-Flach-HK 11/900/700	39	942	1,9	0,06	48	13			
12	Schlafen W3 EG	14,5	511	Profil-Flach-HK 11/500/1200	37	970	1,9	0,06	48	14		Spreizung > 30 Kl	
13	Kind W3 EG	12,5	450	Profil-Flach-HK 11/500/1000	39	808	1,8	0,06	48	13		Spreizung > 30 Kl	
14	Wohnen W3 EG	23,3	467	Profil-Flach-HK 11/500/1200	34	970	2,1	0,05	48	11		Spreizung > 30 Kl	
15	Wohnen W3 EG	23,3	467	Profil-Flach-HK 11/500/1200	34	970	2,1	0,05	48	11		Spreizung > 30 Kl	

Bild 93 Ergebnisausdruck des Ausführlichen Verfahrens

Der im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Hannover AG angesiedelte *energcity*-Fonds *proKlima* fördert im Rahmen seines Breitenförderprogramms „Energetische Modernisierung von Wohngebäuden“ den hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen. Seit 2004 ist der Nachweis einer durchgeführten Qualitätssicherung Bedingung für alle Fördermaßnahmen bei der Modernisierung der Heizungstechnik. Das Programm wird seit Juli 2003 von *proKlima* in Hannover kostenlos an Handwerksbetriebe ausgegeben. Es sind mittlerweile mehrere 100 Programmnutzer registriert.

Im Rahmen des OPTIMUS-Projektes wurden über 60 Gebäude mit dem Programm durchgerechnet, davon die 31 später optimierten.

7.3.2 Vergleich vereinfachte mit ausführlicher Heiznetzberechnung

Das "Ausführliche Verfahren" zur Optimierung wurde an diversen Gebäuden getestet. Eines der Wohnhäuser soll hier als beispielhaft vorgestellt werden, um die Genauigkeit der Rechenergebnisse zu dokumentieren [25].

Das zu untersuchende Mehrfamilienhaus wurde 1998 erbaut und hat 4 Etagen mit insgesamt 18 Wohneinheiten. Die Versorgung erfolgt über Fernwärme, der sekundäre Heizkreis ist durch einen Plattenwärmeübertrager vom Fernwärmenetz entkoppelt und besitzt eine differenzdruckgeregelte Pumpe. Die sekundärseitige Vorlauftemperatur wird in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt. Es ist das OPTIMUS-Gebäude 44MFH, Bild 94.

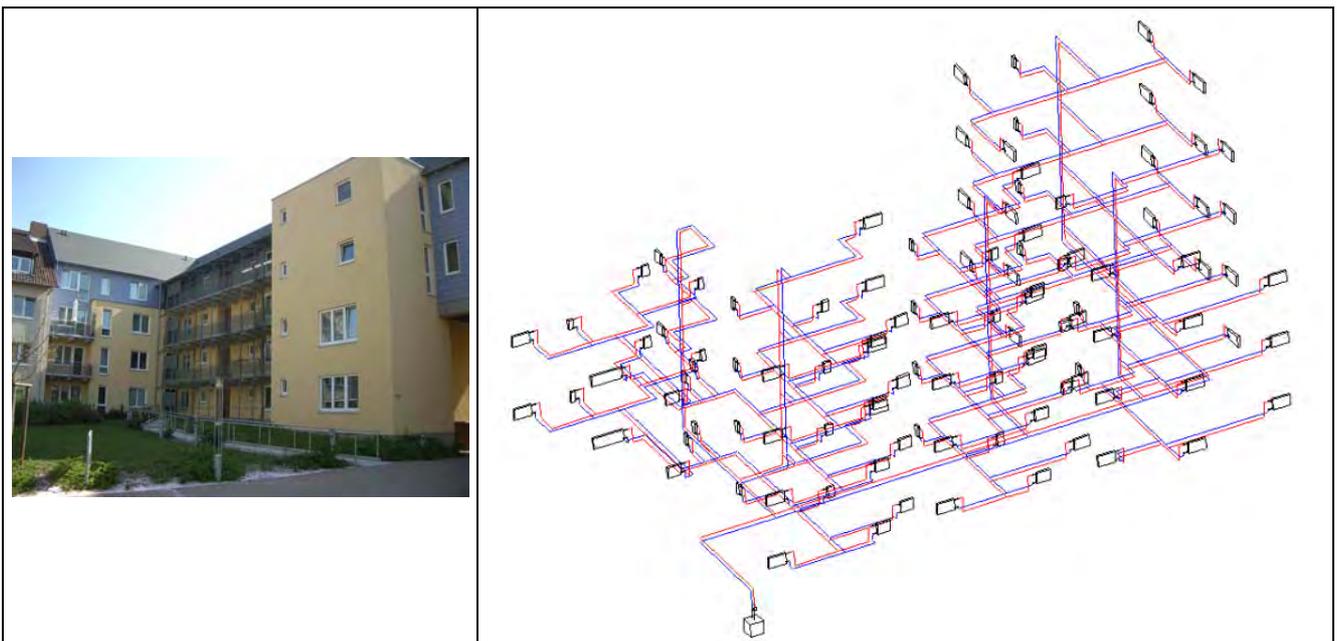


Bild 94 Untersuchtes Mehrfamilienhaus 44MFH und dessen Rohrnetzplan

Die bei der Bestandsaufnahme vor Ort erfassten Daten wurden in das Programm übertragen und zum Teil mit Herstellerdaten ergänzt (Pumpenkennlinie, Vorgaben des Fernwärmeversorgers u.ä.) Anhand der vom Programm ermittelten einzustellenden k_v -Werte für die Thermostatventile wurden die Voreinstellungen für jedes Ventil aus Herstellerkatalogen entnommen.

Vergleich des "Ausführlichen Verfahrens" mit einer professionellen Software zur Rohrnetzberechnung

Durch begleitende Arbeiten an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel wurde der Frage nachgegangen, ob die Ergebnisse der Rohrnetzberechnung mit dem Softwareprogramm trotz der gemachten Vereinfachungen ausreichend genau sind.

Durch die im diesem Beispielgebäude idealerweise vorhandenen Grundrisspläne mit dem dazugehörigem Strangschemata und den Rohrdimensionen der Heizungsleitungen ist eine ausführliche

Rohrnetzrechnung möglich. Für die ausführliche Rohrnetzrechnung und die vereinfachte Softwareberechnung nach dem "Ausführlichen Verfahren" werden jeweils dieselben Werte für die Restförderhöhe der Pumpe, die Raumheizlasten und die Heizkörperrnormleistungen verwendet.

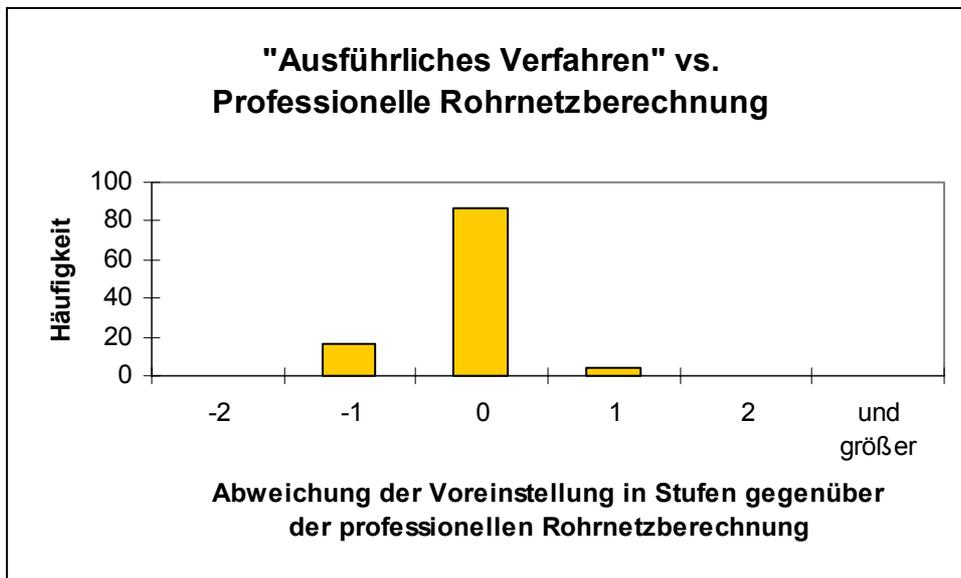


Bild 95 Vergleich der Berechnung des "Ausführlichen Verfahrens" mit den Ergebnissen der professionellen Rohrnetzrechnung – Größenordnung und Häufigkeit der einzelnen Abweichungen

Als Ergebnis liefern beide Berechnungsverfahren die für die Thermostatventile benötigten k_V -Werte und die daraus resultierenden Voreinstellungen. Bild 95 zeigt, wie stark und wie häufig die Voreinstellungen der vereinfachten Softwareprogrammaberechnung von denen aus der ausführlichen Rohrnetzrechnung abweichen.

Das im OPTIMUS-Projekt verwendete Softwareprogramm zur Optimierung von Heizungsanlagen führt in 87 von 107 Fällen (entspricht 81 %) zu exakt denselben Voreinstellungen wie die ausführliche Rohrnetzrechnung. In 16 Fällen (entspricht 15 %) führt die vereinfachte Softwareberechnung mit dem Programm zu einer um eine Stufe zu kleinen Voreinstellung (zu kleiner k_V -Wert), in vier Fällen zu einer um eine Stufe zu großen Voreinstellung (zu großer k_V -Wert).

Eine zu kleine Voreinstellung bedeutet theoretisch, dass es in den betreffenden Räumen nicht mehr ausreichend warm wird. Wegen der an mehreren Stellen in der Berechnung vorhandenen Sicherheiten (z.B. U-Werte) wird es in der Praxis wahrscheinlich auch bei einer geringfügig zu kleinen Voreinstellung nicht zu einer Unterversorgung kommen.

Die Untersuchung wurde für ein zweites Mehrfamilienhaus (48MFH im OPTIMUS-Projekt) mit einem komplett anderen Rohrnetzplan wiederholt. Die Ergebnisse fallen ähnlich zufriedenstellend aus, vgl. Bild 96.

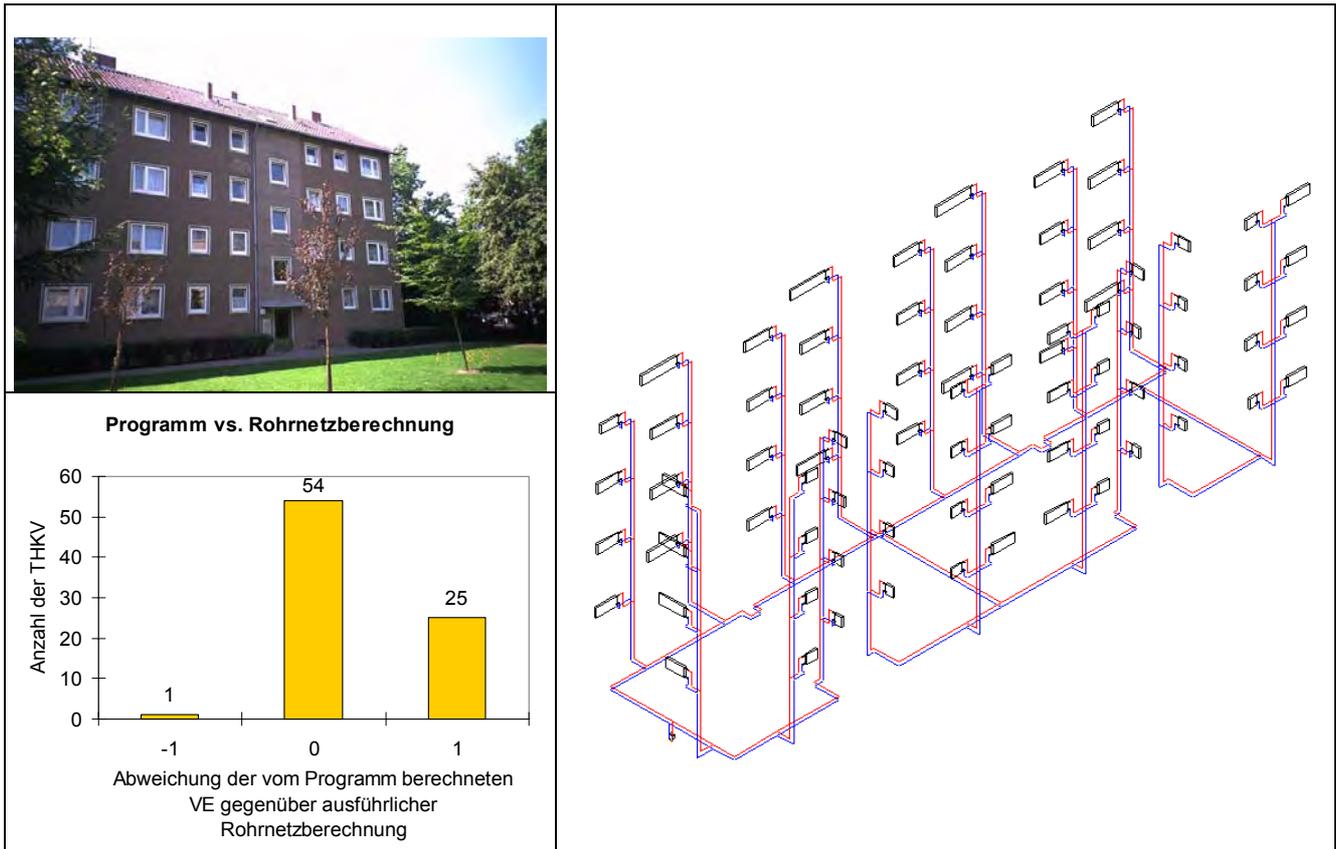


Bild 96 Untersuchtes Mehrfamilienhaus 48MFH mit Rohrnetzplan und Untersuchungsergebnissen

Vergleich eines überschlägigen Verfahrens mit der professionellen Rohrnetzberechnung

Die Optimierungsberechnung für das Gebäude 44MFH erfolgt zusätzlich mit Hilfe eines überschlägigen Verfahrens [8]. Es soll verglichen werden, wie weit die Ergebnisse des Softwareprogramms zur Optimierung von Heizungsanlagen und die überschlägige Berechnung differieren.

Das überschlägige Verfahren kann aufgrund seiner Einfachheit auch ohne Rechnerunterstützung angewendet werden. Die Heizlastberechnung erfolgt für alle Räume anhand einer fest vorgegebenen, grundflächenbezogenen Heizlast von 40 W/m^2 (für ein Gebäude mit mehr als 2 Wohnungen, Baujahr 1998, NEH). Der Auslegungsvolumenstrom der einzelnen Räume wird mit einer gewählten Spreizung von 20 K bestimmt. Eine detaillierte Rohrnetzberechnung erfolgt nicht, stattdessen gibt das Verfahren einen einheitlichen Druckabfall von 100 mbar über den Thermostatventilen vor. Unter diesen Randbedingungen wurden die k_V -Werte und Voreinstellungen für die Thermostatventile bestimmt.

Bild 97 zeigt, zu welchen Abweichungen diese vereinfachte Vorgehensweise gegenüber der professionellen Rohrnetzberechnung führt. Es zeigt sich, dass bei Verwendung des überschlägigen Verfahrens die Anzahl der von der ausführlichen Rohrnetzberechnung abweichenden Voreinstellungen erheblich ist, und dass die Abweichungen zum Teil zwei Stufen betragen. Nur 39 % aller Voreinstellungen stimmen mit der ausführlichen Rohrnetzberechnung überein, bei knapp der Hälfte aller Ventile weichen die Voreinstellungen um eine Stufe, in 15 % aller Fälle um zwei oder mehr Stufen vom Referenzwert ab. Die um zwei Stufen zu kleinen Voreinstellungen können in der Praxis zu Nutzerbeschwerden führen, denen eine Erhöhung der Pumpenleistung oder der Vorlauftemperatur folgt. An den eigentlich ausreichend versorgten Heizkörpern steht dann ein erhöhtes Verschwendungspotential zur Verfügung.

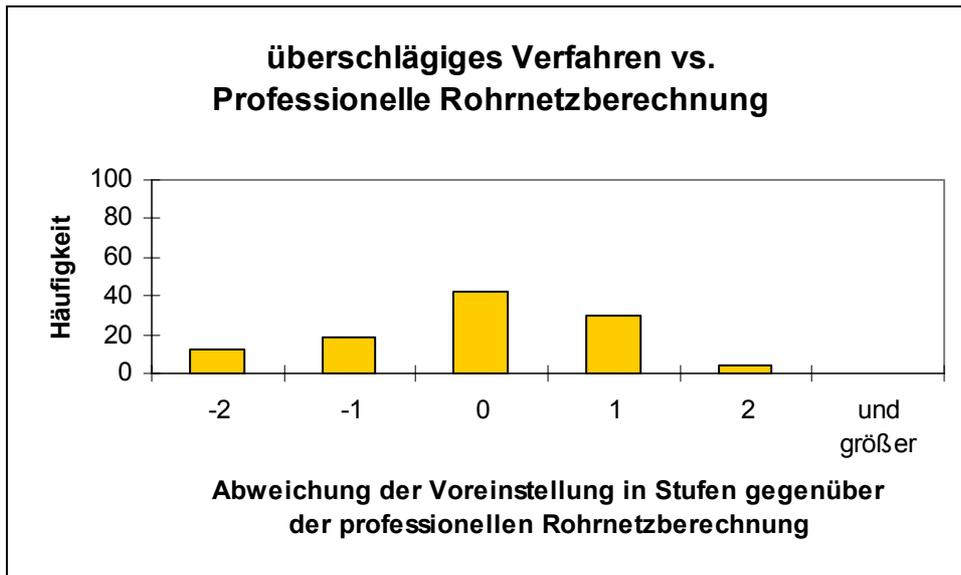


Bild 97 Vergleich der überschlägigen Berechnung mit den Ergebnissen der professionellen Rohrnetzberechnung – Größenordnung und Häufigkeit der einzelnen Abweichungen

Dem Vorteil eines verringerten Aufwandes zur Bestimmung der Voreinstellungen steht der Nachteil größerer Ungenauigkeit gegenüber (diese steigt mit der Ausdehnung des Rohrnetzes und minimiert sich im Einfamilienhaus).

Die Heizlastberechnung nach Grundfläche mit konstanter flächenbezogener Last bildet die realen Verhältnisse ebenso wenig ab wie die Annahmen, dass Heizkörper in der Praxis passend zur Raumheizlast dimensioniert wären. Nur dann würden sich konstant im gesamten Gebäude ähnliche Spreizungen einstellen. In der Realität schwanken die Heizlasten und Überdimensionierungen so stark, dass sich innerhalb eines MFH Spreizungen von knapp unter 10 bis über 45 K ergeben.

Fazit: Aus oben geschilderten Problemen und Erkenntnissen leitete sich für die Gebäudeoptimierungen innerhalb des OPTIMUS-Projektes ab, auf die grundflächenbezogene Heizlastberechnung zu verzichten. Es wurde stattdessen die außenflächenbezogene Heizlastberechnung mit der selbstentwickelten Optimierungs-Software durchgeführt, die hier bereits vorgestellt wurde.

Da alle Projektbeteiligten jedoch neben der Entwicklung von Software auch einen großen Bedarf für die Weiterentwicklung vereinfachter Handrechenverfahren sahen und sehen, wurde ein zusätzliches Handrechenverfahren entwickelt. Es ermöglicht die außenflächenbezogene Heizlastberechnung und kann trotzdem ohne Verwendung des Computers für Ein- und Zweifamilienhäuser verwendet werden. Es vereint damit die Vorzüge des getesteten überschlägigen Verfahrens [8] mit der recht guten Genauigkeit des "Ausführlichen Verfahrens" zur Optimierung von Heizungsanlagen.

Fazit

Der durchgeführte Vergleich der ausführlichen Rohrnetzberechnung mit der vereinfachten Rohrnetzberechnung ("Ausführliches Verfahren" zur Optimierung von Heizungsanlagen) an zwei realen Mehrfamilienhäusern zeigt, dass die vereinfachten Annahmen ausreichend genau sind. Auf die genaue Rohrnetzaufnahme, die bei Bestandsgebäuden - wenn überhaupt - nur mit größtem Aufwand möglich ist, kann also ohne große Einbußen in der Berechnungsqualität verzichtet werden.

Vor allem die verhältnismäßig exakt bestimmten Volumenströme der einzelnen Heizkörper führen zu ausreichend genauen k_v -Werten und Voreinstellungen.

7.3.3 Schulungen

Im Verlauf des OPTIMUS-Projekts wurden die meisten der fast 100 untersuchten Häuser mit dem "Ausführlichen Verfahren" durchgerechnet, um die optimalen Anlagenparameter zu bestimmen.

Für die etwa 30 tatsächlich optimierten Gebäude wurde diese Rechnung von den beteiligten Fachhandwerkern durchgeführt. In den begleitenden, zweitägigen Handwerkerschulungen der Handwerker für die Optimierung wurden sowohl Hintergrundwissen als auch der Umgang mit der Optimierungssoftware vermittelt. Das Wissen wurde an der Wilo Brain-Box, dem Schulungsmodell einer Heizungsanlage, vertieft – siehe Bild 98.



Bild 98 Qualifizierung durch Ausbildung am Schreibtisch, am Rechner und am Praxismodell

Wurden im Verlauf des ersten Schultages insbesondere Grundlagen für einen fehlerfreien Anlagenbetrieb, Dimensionierungsprobleme, Probleme in der Durchführung einer Optimierung u. ä. thematisiert, standen an den zweiten Tagen die Systemzusammenhänge und die Einführung in die Software zur Optimierung von Heizungsanlagen im Mittelpunkt. Die OPTIMUS-Partner konnten hier zeigen, dass die häufig so gefürchteten Berechnungen mit entsprechend systematisch aufgebauten Materialien problemlos durchgeführt werden können.

Weitere Seminartermine beschäftigten sich in kleinen Gruppen von Fachhandwerkern jeweils mit der Berechnung konkreter OPTIMUS-Gebäude mit der Software bzw. mit den von den Handwerkern zum Termin bereits mitgebrachten Rechenergebnissen. Über die Details der Qualifizierung berichtet der 3. Teil des Endberichts.

7.4 Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser

Unter dem Titel "Vereinfachtes Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" wurde das vorhandene Optimierungsprogramm ("Ausführliches Verfahren") von proKlima weiterentwickelt. Dazu tagte eine Expertengruppe aus Vertretern der Firma Wilo, der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) und der Innung Wilhelmshaven.

7.4.1 Handbuch und Aufnahmeformulare

In der OPTIMUS-Arbeitsgruppe wurde ein Verfahren abgeleitet, welches der Handwerker entweder mit Handrechenblättern und einem Handbuch oder mit Hilfe eines Excelprogramms zur Optimierung von kleinen Gebäuden verwenden kann. Die Anwendung beschränkt sich auf Gebäude mit Zweirohrheizung und ohne Fußbodenheizung.

Das Handbuch zum "Verfahren für EFH und ZFH" (Bild 99) enthält in 3 Abschnitten allgemeine Informationen (4 Seiten), die Anleitung zur Verwendung des Excelprogramms mit Beispiel und Arbeitshilfen (27 Seiten) und die Beschreibung des Handrechenverfahrens mit Anwendungsbeispiel (43 Seiten).

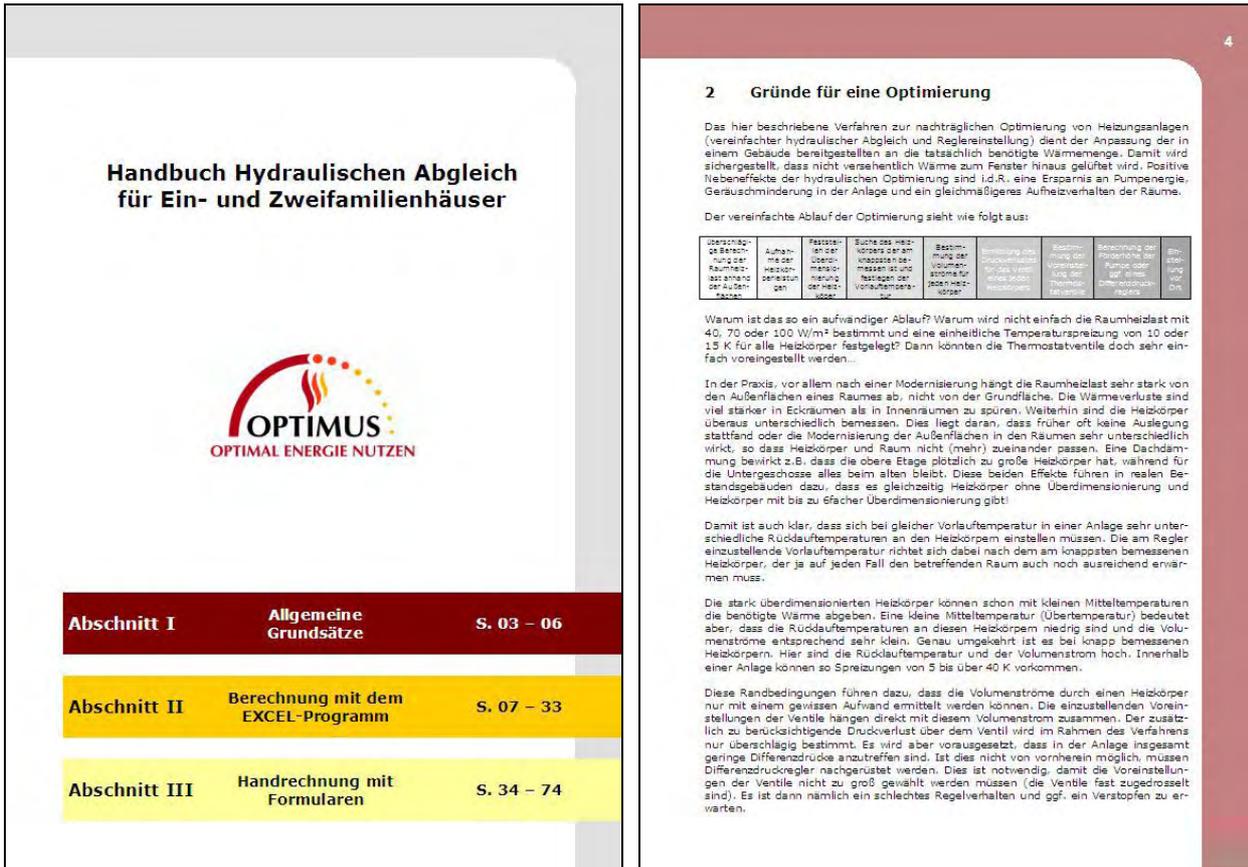


Bild 99 Handbuch zum Verfahren für EFH und ZFH

Aufnahmeformulare

Im Folgenden werden die Formulare für die Datenaufnahme vorgestellt. Die Abbildungen beschränken sich auf die Formulare, die ausgefüllt werden müssen, wenn das Excelprogramm verwendet wird. Für das Handrechnungsverfahren sind jedoch sehr ähnliche Aufnahmeblätter vorhanden.

Bild 100 und Bild 101 zeigen die Datenaufnahme allgemeiner Gebäudedaten (sowie der zentralen Anlagentechnik im Heizungskeller). Es wird abgefragt, ob eine einstellbare oder eine nicht einstellbare Pumpe vorhanden ist, innerhalb welcher Grenzen diese Einstellung erfolgen kann und welche hydraulischen Widerstände in der Zentrale vorhanden sind, die bei der Druckverlustberechnung zu beachten sind.

Die Aufnahmeformulare für die Beschaffenheit der Hüllflächen eines Raumes, für die Heizkörper und Thermostatventile nach Bild 102 und Bild 103 müssen je Raum einmal ausgefüllt werden. Es werden keine Flächen an etwa gleich temperierte Räume aufgenommen und die Güte der Bauteile wird anhand einer fünfstufigen Zuordnung bestimmt. Räume ohne Heizkörper müssen nicht aufgenommen werden. Die vor Ort ermittelten Flächen und Bauteilqualitäten werden später in eine identische Maske in das Programm übertragen.

Die Heizkörperaufnahme erfolgt anhand typischer Merkmale. Es müssen vor Ort keine Leistungen bestimmt werden. Dies erfolgt später automatisch im Programm bzw. bei der Handrechnung per Tabelle. Die Aufnahme nicht voreinstellbarer Ventile muss nicht so genau sein, da sie sowieso ausgetauscht werden. Es muss aber die Dimension bekannt sein und der Vermerk, ob es sich um ein Eck- oder Durchgangsventil handelt. Das erleichtert das Nachbestellen eines voreinstellbaren Ventils. Einstellbare Ventile müssen dagegen möglichst eindeutig identifiziert werden, damit bei der Optimierung auch die richtige Einstellung ermittelt werden kann. Im Handbuch zum "Verfahren für EFH und ZFH" sind Erkennungsmerkmale der wichtigsten Typen dokumentiert, andere Typen müssen mit Hilfe von Herstellerunterlagen bestimmt werden.

Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern

**Begehung
Deckblatt**


Projekt Beschreibung: Testgebäude

Bitte ankreuzen: Optimierung eines
 Einfamilienhauses Zweifamilienhauses

Projekt-Nr.:

Aufnahme des Gebäudes

Aufnehmende/r: Datum der Aufnahme:

Gebäudeanschrift

Name:

Straße: Nr.

PLZ: Ort:

Telefon:

Anschrift des Eigentümers

Name:

Straße: Nr.

PLZ: Ort:

Telefon:

Bild 100 Deckblatt der Unterlagen für die Begehung

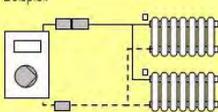
Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern

**Begehung:
Anlagentechnik
(A)**

A1: Art der Anlage (bitte ankreuzen) (Siehe Handbuch - Hilfe 2)

Typ1

Beispiel:

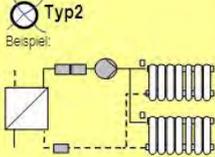


Anlage mit vorhandener, **nicht einstellbarer** Pumpe (nicht einstellbarer Differenzdruckregler, nicht einstellbares Überströmventil).

Beispiel: Therme mit optional vorhandenen, zusätzlichen Widerständen in Vor- u./o. Rücklauf

Typ2

Beispiel:



Anlage mit vorhandener, **einstellbarer** Pumpe (einstellbarer Differenzdruckregler oder einstellbares Überströmventil).

Beispiel: Fernwärmeübergabestation oder Ölkessel mit externer Pumpe und mit ggf. zusätzlichen Widerständen in Vor- u./o. Rücklauf

A2: Aufnahme der vorhandenen Widerstände (bitte ankreuzen und ausfüllen)

<input type="checkbox"/> Luftabscheider	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Schmutzfänger	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Rückschlagklappe	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Schwerkraftbremse	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Wärmeübertrager	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text" value="unbekannt"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Flügelradwärmemengenzähler	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text" value="Clausen und Co., Typ 127105, DN 1,5"/>
<input type="checkbox"/> Ultraschallwärmemengenzähler	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> <input style="width: 50px;" type="text"/>	Hersteller, Typ:	<input style="width: 100%;" type="text"/>

A3: Pumpe, Differenzdruckregler, Überströmventil (bitte ankreuzen und ausfüllen)

Sicherstellung des Drucks durch:

Pumpe Hersteller, Typ:

Differenzdruckregler Einstellbereich (siehe Handbuch II Kapitel 5, ggf. nach Herstellerunterlagen)

Überströmventil von: mbar bis: mbar

A4: Vorlauftemperatur bei direkter Fernwärmeversorgung (bitte ausfüllen)

Vorlauftemperatur (Auslegung) für direkte Fernwärmeversorgung °C

Bild 101 Datenblatt zur Anlagentechnik

Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern						Begehung Raumheizlast (B)
B1: Allgemeine Raumdaten		Raumbezeichnung:	<input type="text" value="Schlafzimmer"/>	Nr.:	<input type="text" value="1"/>	
B2: Transmission durch Bauteile und Lüftung (bitte ankreuzen und ausfüllen)						(für die Zuordnung von Bauteilen siehe auch Handbuch - Hilfe 3 bis 7)
Außenwände	<input type="radio"/> Fachwerk und Ziegelwände unter 36 cm, keine Dämmung	<input type="radio"/> schlecht: Ziegelwände über 36 cm, Wände mit 0...2 cm Dämmung	<input checked="" type="radio"/> normal: alle Konstruktionen mit 3...6 cm Dämmung	<input type="radio"/> gut: alle Konstruktionen mit 7...12 cm Dämmung	<input type="radio"/> sehr gut: alle Konstruktionen mit mehr als 12 cm Dämmung	falls bekannt, U-Wert in W/(m ² K): <input type="text"/>
Fläche: <input type="text" value="6,2"/> m ²						
Dächer und Geschossdecken zum unbeheizten Dach	<input type="radio"/> sehr schlecht: Steindecke, Betondecke, Steldach mit Putz, keine Dämmung	<input type="radio"/> schlecht: Stahlbetonfächdach, Decken und Dächer mit 0...2 cm Dämmung	<input type="radio"/> normal: Holzbalkendecken, alle Konstruktionen mit 3...6 cm Dämmung	<input type="radio"/> gut: alle Konstruktionen mit 7...12 cm Dämmung	<input type="radio"/> sehr gut: alle Konstruktionen mit mehr als 12 cm Dämmung	falls bekannt, U-Wert in W/(m ² K): <input type="text"/>
Fläche: <input type="text"/>						
Kellerdecken, erdreich-berührte Bauteile, Flächen zu unbeheizten Räumen	<input type="radio"/> sehr schlecht: Feldsteine, Stahlbeton, Stahlstein, keine Dämmung	<input type="radio"/> schlecht: Gewölbe mit Dielen, mit 0...2 cm Dämmung	<input checked="" type="radio"/> normal: Holzbalkendecken, alle Konstruktionen mit 3...6 cm Dämmung	<input type="radio"/> gut: alle Konstruktionen mit 7...12 cm Dämmung	<input type="radio"/> sehr gut: alle Konstruktionen mit mehr als 12 cm Dämmung	falls bekannt, U-Wert in W/(m ² K): <input type="text"/>
Fläche: <input type="text" value="15"/> m ²						
Fenster und Türen	<input type="radio"/> schlecht: Einfachverglasung	<input checked="" type="radio"/> normal: Doppelverglasung (Isolierverglasung)	<input type="radio"/> gut: doppeltes Wärmeschutzglas	<input type="radio"/> sehr gut: dreifaches Wärmeschutzglas	falls bekannt, U-Wert in W/(m ² K): <input type="text"/>	
Fläche: <input type="text" value="2,8"/> m ²						
Lüftungsheizlast	<input type="radio"/> sehr hoch: Rauchräume, Zulufräume bei Lüftungsanlagen	<input type="radio"/> hoch: normal genutzte Räume mit undichten Fenstern	<input checked="" type="radio"/> normal: normal genutzte Räume mit dichten Fenstern	<input type="radio"/> gering: Abluräume bei Lüftungsanlagen	falls bekannt, Luftwechsel in h ⁻¹ : <input type="text"/>	
Fläche: <input type="text" value="15"/> m ²						

Bild 102 Datenblatt zur Raumaufnahme

Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern						Begehung Heizkörper/Ventil (C)
C1: Allgemeine Raumdaten		Raumbezeichnung:	<input type="text" value="Schlafzimmer"/>	Nr.:	<input type="text" value="1"/>	
C2: Vorhandene Heizflächen (bitte ankreuzen und ausfüllen)						
Heizkörper 1		Heizkörper 2		Heizkörper 3		
<input checked="" type="radio"/> Flachkörper, profiliert	Typ: <input type="text" value="21"/>	<input type="radio"/> Flachkörper, profiliert	Typ: <input type="text"/>	<input type="radio"/> Flachkörper, profiliert	Typ: <input type="text"/>	
<input type="radio"/> Flachkörper, glatt	Höhe: <input type="text" value="500"/>	<input type="radio"/> Flachkörper, glatt	Höhe: <input type="text"/>	<input type="radio"/> Flachkörper, glatt	Höhe: <input type="text"/>	
<input type="radio"/> Stahlradiator	Länge: <input type="text" value="1200"/>	<input type="radio"/> Stahlradiator	Länge: <input type="text"/>	<input type="radio"/> Stahlradiator	Länge: <input type="text"/>	
<input type="radio"/> Gussradiator	Höhe: <input type="text"/>	<input type="radio"/> Gussradiator	Höhe: <input type="text"/>	<input type="radio"/> Gussradiator	Höhe: <input type="text"/>	
	Tiefe: <input type="text"/>		Tiefe: <input type="text"/>		Tiefe: <input type="text"/>	
	Glieder: <input type="text"/>		Glieder: <input type="text"/>		Glieder: <input type="text"/>	
<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	
C4: Vorhandenes Thermostatventil (bitte ankreuzen und ausfüllen) (Erkennen von Ventilen: siehe auch Handbuch - Hilfe 10)						
<input checked="" type="radio"/> Eckventil	<input type="radio"/> Durchgangsventil	<input type="radio"/> Eckventil	<input type="radio"/> Durchgangsventil	<input type="radio"/> Eckventil	<input type="radio"/> Durchgangsventil	
<input checked="" type="radio"/> voreinstellbar	<input type="radio"/> nicht voreinstellbar	<input type="radio"/> voreinstellbar	<input type="radio"/> nicht voreinstellbar	<input type="radio"/> voreinstellbar	<input type="radio"/> nicht voreinstellbar	
DN: <input type="text" value="20"/>	Typ: <input type="text" value="RA-N"/>	DN: <input type="text"/>	Typ: <input type="text"/>	DN: <input type="text"/>	Typ: <input type="text"/>	
<input checked="" type="radio"/> Danfoss	<input type="text" value="RA-N"/>	<input type="radio"/> Danfoss	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Danfoss	<input type="text"/>	
<input type="radio"/> Heimeier	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Heimeier	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Heimeier	<input type="text"/>	
<input type="radio"/> Honeywell/MNG	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Honeywell/MNG	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Honeywell/MNG	<input type="text"/>	
<input type="radio"/> Oventrop	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Oventrop	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Oventrop	<input type="text"/>	
<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	<input type="radio"/> Sonstige	<input type="text"/>	

Bild 103 Datenblatt zur Heizkörper- und Ventilaufnahme

7.4.2 Handrechnung und Softwareanwendung

Auf Basis identischer aufgenommener Größen kann der Anwender des "Verfahrens für EFH und ZFH" entscheiden, ob er eine Rechnung mit dem Excelprogramm oder per Hand durchführen will.

Als Hilfestellung für die Anwendung des Handrechenverfahrens werden diverse Tabellen und Grafiken gegeben (Bild 105). Mit den Grafiken können jeweils manuell Zwischenergebnisse ermittelt werden, die im Excelprogramm automatisch berechnet werden.

Die Anwendung des Excelprogramms benötigt aber auch einige Arbeitshilfen, z.B. Erkennungsmerkmale für Thermostatventile, die im Handbuch dokumentiert sind (Bild 106).

Bild 104 zeigt den Startbildschirm des Excelprogramms. Von hier aus können die Aufnahmeblätter für die Begehung zum Ausdruck aufgerufen werden, die Excelrechenblätter zum Ausfüllen aufgerufen werden oder auch die Blätter für die Handrechnung aufgerufen und gedruckt werden.

Vereinfachtes Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern

Was wollen Sie tun?

► **Aufnahmeblätter für Gebäudebegehung aufrufen (zum Ausdrucken)**

Begehung: Deckblatt
Begehung: vorhandene Anlagentechnik
Begehung: Raumheizlast
Begehung: Heizkörper/Thermostatventil

► **Neues Projekt beginnen und dazu alle Formulare leeren**

Neues Projekt

► **Datenblätter ausfüllen und Optimierungsrechnung am Rechner durchführen**

Deckblatt
A: Vorhandene Anlagentechnik
D: Optimierung Druck und Temperatur
Daten für die Optimierung

Raumdatenblätter B (Heizlastberechnung) und C (Heizkörper/Thermostatventil):

B/C 01	Schlafen	B/C 11	nicht verwendet	B/C 21	nicht verwendet
B/C 02	Küche	B/C 12	nicht verwendet	B/C 22	nicht verwendet
B/C 03	Wohnen	B/C 13	nicht verwendet	B/C 23	nicht verwendet
B/C 04	Flur EG+DG	B/C 14	nicht verwendet	B/C 24	nicht verwendet
B/C 05	WC	B/C 15	nicht verwendet	B/C 25	nicht verwendet
B/C 06	Hobby	B/C 16	nicht verwendet	B/C 26	nicht verwendet
B/C 07	Kind 1	B/C 17	nicht verwendet	B/C 27	nicht verwendet
B/C 08	Kind 2	B/C 18	nicht verwendet	B/C 28	nicht verwendet
B/C 09	Bad	B/C 19	nicht verwendet	B/C 29	nicht verwendet
B/C 10	nicht verwendet	B/C 20	nicht verwendet	B/C 30	nicht verwendet

► **Blätter des Handrechenverfahrens aufrufen (zum Ausdrucken) und Rechnung dann per Hand durchführen**

Handrechnung: Deckblatt
Handrechnung: Aufnahme Anlagentechnik
Handrechnung: Raumheizlast
Handrechnung: Aufnahme Heizkörper/Thermostatventil
Handrechnung: Optimierung Temperatur und Ventile
Handrechnung: Optimierung Druck

Startseite



OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Statistik zum Gebäude:

Summe Grundflächen:

143,8 m²

Gesamtheizleistung:

10,1 kW

Mittlere bezogene Leistung:

70,5 W/m²

Gesamtspreizung:

60/43 °C

Bild 104 Startbildschirm des Rechenprogramms zur Optimierung von EFH und ZFH

Die Ergebnisse der Berechnung mit dem Excelprogramm können in übersichtlicher Form ausgedruckt werden. Mit Hilfe des Ausdrucks, dessen erste und letzte Seite beispielhaft Bild 107 zeigt, kann der Fachhandwerker vor Ort alle Einstellungen vornehmen.

Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern

Gebäude:

**Daten
der Optimierung
Seite 1/4**

Ventile:	Heizkörper 1	Heizkörper 2	Heizkörper 3
1 Schlafzimmer	Flachheizkörper, profiliert/ L: 1200 mm/ 1454 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="80"/> l/h VE: <input type="text" value="6"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
2 Küche	Flachheizkörper, profiliert/ L: 2000 mm/ 2812 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="63"/> l/h VE: <input type="text" value="5"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
3 Wohnen	Flachheizkörper, profiliert/ L: 1600 mm/ 1939 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="60"/> l/h VE: <input type="text" value="5"/>	Flachheizkörper, profiliert/ L: 1400 mm/ W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="52"/> l/h VE: <input type="text" value="5"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
4 Flur EG+DG	Stahlradiator/ L: 20 Glieder/ 1920 W Danfoss RA-N Volumenstrom: <input type="text" value="92"/> l/h VE: <input type="text" value="N"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
5 WC	Flachheizkörper, glatt/ L: 600 mm/ 719 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="27"/> l/h VE: <input type="text" value="4"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
6 Hobby	Stahlradiator/ L: 12 Glieder/ 1848 W Honeywell/MNG V Volumenstrom: <input type="text" value="27"/> l/h VE: <input type="text" value="3"/>	Stahlradiator/ L: 12 Glieder/ W Honeywell/MNG V Volumenstrom: <input type="text" value="27"/> l/h VE: <input type="text" value="3"/>	Stahlradiator/ L: 12 Glieder/ 1848 W Honeywell/MNG V Volumenstrom: <input type="text" value="27"/> l/h VE: <input type="text" value="3"/>
7 Kind 1	Flachheizkörper, profiliert/ L: 1000 mm/ 1961 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="13"/> l/h VE: <input type="text" value="2"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
8 Kind 2	Flachheizkörper, profiliert/ L: 1000 mm/ 2355 W altes Ventil bleibt Volumenstrom: <input type="text" value="21"/> l/h VE: <input type="text" value="3"/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>

Vereinfachtes Verfahren zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern

	Heizkörper 1	Heizkörper 2	Heizkörper 3
27	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
28	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
29	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>
30	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>	nicht vorhanden Volumenstrom: <input type="text" value=""/> l/h VE: <input type="text" value=""/>

**Daten
der Optimierung
Seite 4/4**

Rückschlagklappe:	Keine Klappe vorhanden, keine Klappe einbauen	Heizkurve/Vorlauftemperatur:
Schmutzfilter:	Filter einbauen.	Steilheit <input type="text" value="1,1"/>
Differenzdruckregler:	Keinen neuen Differenzdruckregler installieren.	Vorlauftemperatur
Druckdifferenz:	Einstellung von 141 mbar an der Pumpe (Empfehlung 141 mbar).	(bei -15 °C): <input type="text" value="60"/> °C

Erklärung

Die Optimierung wurde durchgeführt von:

HFG Haustechnik GmbH
Großtalstraße 6
23456 Optimusstadt

Mitarbeiter:

Die Anforderungen der §§ 3, 9, 10, 11 und 12 der EnEV an Heizungs-, Trinkwasser- und Lüftungsanlagen wurden eingehalten.

- ▶ § 3: Eine Berechnung der Anlagenaufwandszahl wurde nicht durchgeführt, da für bestehende Gebäude keine vollständigen Rechenregeln vorliegen.
- ▶ § 9: Falls notwendig, wurde der Eigentümer über den vorgeschriebenen Kesselaustausch und die vorgeschriebene Leitungsdämmung unterrichtet.
- ▶ § 10 Die Wartung und Instandhaltung der Anlagen erfolgt fachkundig.
- ▶ § 11: Sofern der Kessel ersetzt wurde, wurden die Anforderungen an die CE Kennzeichnung eingehalten.
- ▶ § 12: Die Regelung der Heizung und Trinkwasseranlage entspricht den gestellten Anforderungen. Ausgetauschte oder neue Leitungen und Speicher sind entsprechend der Verordnung gedämmt.

Mit unserer Unterschrift bestätigen wir, die Anlage entsprechend des oben berechneten optimalen Parametern für Regelung und Hydraulik eingestellt zu haben. Die Auflagen der EnEV für Arbeiten an bestehenden Anlagen wurden eingehalten.

Datum: Unterschrift:

Bild 107 Fachunternehmererklärung (Auszug)

7.5 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Die Anwendung der beiden im OPTIMUS-Projekt zur Optimierung von Heizungsanlagen verwendeten Rechenprogramme "Ausführliches Verfahren" und "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" setzt Fachkenntnis voraus.

Es ist nach Erkenntnissen der Projektpartner notwendig, für die Anwendung der Rechenverfahren eine eintägige Schulung der Anwender einzuplanen. Diese muss einen theoretischen Teil mit Vermittlung von Hintergrundwissen, aber auch die Bearbeitung eines konkreten Projekts am PC umfassen. Die Erfahrungen mit den Anwendern haben gezeigt, dass verhältnismäßig große Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Rechner auftreten. Das "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" erfordert keine gesonderte Schulung, wenn das "Ausführliche Verfahren" bekannt ist – und umgekehrt.

Nur für Anwender mit sowohl guten Grundkenntnissen am PC und in der Heizungstechnik kann ggf. auf die Schulung für das "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" verzichtet werden. Seine Anwendung kann auch im Selbststudium erlernt werden, da das Handbuch eine gute Dokumentation bietet.

8 Umsetzung und Kosten der Optimierung

Der nachfolgende Abschnitt dokumentiert die Vorgehensweise bei der Auswahl optimierungswürdigen Gebäude, die in diesen Häusern vor Ort umgesetzten Maßnahmen und die resultierenden Kosten. Für künftige Projekte werden typische Kostenkennwerte abgeleitet.

Weiterhin werden die Ergebnisse der Nutzerbefragung nach der Optimierung im Jahr 2004 vorgestellt und Konsequenzen daraus gezogen. Es werden die Gründe genannt, warum einzelne Gebäude nicht für eine Optimierung in Betracht kamen.

8.1 Planung der Optimierung

Anhand ihres Energieverbrauchs wurden aus jeder Gebäudekategorie aussichtsreiche Vertreter für die Optimierung ausgesucht. Für die gewählten Gebäude wurden die Optimierungsrechnungen mit dem "Ausführlichen Verfahren" (vgl. Abschnitt 7.3) von den beteiligten Handwerksunternehmen durchgeführt. Dies unterstützten Mitarbeiter der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) in Arbeitstreffen, am Telefon und per Email.

8.1.1 Auswahlkriterien, Grobanalyse und Vorplanung der Optimierung

Aufgrund der begrenzten finanziellen Projektmittel war es unmöglich, alle untersuchten Gebäude zu optimieren. Es galt daher Kriterien festzulegen, mit Hilfe derer eine begrenzte Anzahl im Sinne einer zu erwartenden Energieeinsparung besonders optimierungswürdiger Gebäude ausgewählt werden konnte.

Auf Grundlage einer Kostengrobplanung im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) [11] wurde die Zahl der – aus Kostengründen – optimierbaren Gebäude auf etwa 30 festgelegt.

Die Auswertung der zwischen November 2002 und April 2003 erfassten Verbrauchsdaten für die Gebäude ermöglichte die Bildung von mittleren Verbrauchswerten bezogen auf die verschiedenen Gebäudekategorien (EFH und MFH jeweils in den 3 Altersklassen). Diese Grobanalyse erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) [11].

Eine Arbeitsgruppe legte auf Basis des vorhandenen Datenmaterials und dieser Grobanalyse Kriterien zur Auswahl der optimierungswürdigen Gebäude fest. Unter anderem wurde vereinbart, den auf die Hüllfläche bezogenen und auf ein Standardjahr und -standort bereinigten Heizenergieverbrauch als aussagekräftige Kenngröße zu nutzen.

Die Entscheidung für den hüllflächenbezogenen $q_H(A_{Hüll})$ und nicht den grundflächenbezogenen $q_H(A_{EB})$ Energiekennwert wurde getroffen, um den Einfluss der Geometrie auf den Energieverbrauch zu berücksichtigen. Durch diese Vorgehensweise vermeidet man eine unterschiedliche Bewertung von Reihenmittelhäusern im Vergleich zu „freistehenden“ Gebäuden. Da es bei der Bewertung in erster Linie um die Qualität der Anlagentechnik und nicht um die Bewertung des Kompaktheitsgrads geht, erwies sich für das OPTIMUS-Projekt der auf die Hüllfläche bezogene Heizenergieverbrauch $q_H(A_{Hüll})$ als die am besten geeignete Kenngröße.

Es wurden schließlich in einem Arbeitstreffen am 18.06.2003 die in Tabelle 24 zusammengestellten Grenzwerte für die Optimierungswürdigkeit eines Gebäudes festgelegt, bei deren Überschreitung mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Optimierungspotenzial zu erwarten ist und deshalb eine Optimierung sinnvoll erscheint.

Gebäudetyp (EFH/MFH)	Baualterklasse	Jahresenergieverbrauch der Heizung (bezogen auf die äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs) $q_H(A_{Hüll})$, in [kWh/(m ² a)]
MFH	1	ab ca. 100
MFH	2	ab ca. 80
MFH	3	ab ca. 60
EFH	1	ab ca. 100
EFH	2	ab ca. 80
EFH	3	ab ca. 60

Tabelle 24 Grenzwerte für die Optimierungswürdigkeit

Zusätzlich zu den nach Tabelle 24 als optimierungswürdig eingestuft Gebäuden wurden auf einer Arbeitsgruppensitzung am 28.05.2003 weitere Optimierungsmaßnahmen für folgende Gebäude beschlossen:

1. 64MFH, 65MFH und 66MFH, da es sich um ähnliche Objekte handelt, in denen verschiedene Optimierungsmaßnahmen vergleichend durchgeführt werden können,
2. 76EFH bis 83EFH, weil es sich hier um Etagenwohnungen handelt, in den trotz vorhandener Therme ein Pumpentausch erfolgen kann,
3. eines der Gebäude 51, 52, 53 oder 54 MFH, da es sich um baugleiche Objekte handelt und die verbleibenden 3 als Referenzobjekte ohne Optimierung verbleiben.

Tabelle 25 fasst die letztlich gewählten Objekte zusammen und ordnet sie den einzelnen Gebäudekategorien zu. Insgesamt wurden 31 Gebäude mit einer gesamten beheizten Fläche von fast 11.500 m² als optimierungswürdig eingestuft.

Wert in Klammern: insgesamt auswertbare Gebäude	EFH			MFH			Alle		
	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle	Kessel	Fernwärme	alle
1: älter als 1978	10 (15)	3 (7)	13 (22)	3 (13)	2 (6)	5 (19)	13 (28)	5 (13)	18 (41)
2: 1978-1994	3 (6)	1 (1)	4 (7)	4 (4)	1 (7)	5 (11)	7 (10)	2 (8)	9 (18)
3: neuer als 1994	3 (8)	0 (2)	3 (10)	0 (0)	1 (6)	1 (6)	3 (8)	1 (8)	4 (16)
alle	16 (29)	4 (10)	20 (39)	7 (17)	4 (19)	11 (36)	23 (46)	8 (29)	31 (75)

Tabelle 25 Optimierte Gebäude nach Kategorien

8.1.2 Optimierungsberechnungen

Für die zur Optimierung ausgewählten Gebäude wurden im Sommer und Anfang Herbst 2003 die optimalen Einstellwerte der Anlagentechnik mit dem "Ausführlichen Verfahren" ermittelt. Die Software "Optimierung von Heizungsanlagen" ermöglichte die kostengünstige Berechnung aller Einstellwerte für die Technik, so dass die bestehenden Anlagen ab Herbst 2003 nachträglich an die Gebäude angepasst werden konnten.

Da auch für die beteiligten Handwerksunternehmen sowohl die Berechnung mit der Software als auch die Kundendienstleistung "Optimierung" Neuland waren, wurden vor Beginn der Maßnahmen Treffen mit der Fachbetreuung der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) organisiert.

Am 25.07.2003 haben sich die im Bereich Braunschweig, Wolfsburg und Wolfenbüttel mit Optimierungsmaßnahmen beauftragten Fachhandwerker in den Räumen des TWW in Wolfenbüttel getroffen um innerhalb dieser Arbeitsgruppe die Optimierungsberechnung für die von Ihnen zu optimierenden Gebäude mit der Software zur Optimierung von Heizungsanlagen durchzuführen. Die an diesem Tag noch nicht fertig gestellten Optimierungsberechnungen wurden von den Fachhandwerkern in ihren Firmen eigenständig fortgeführt.

Am 21.08.2003 erfolgte dann ein weiteres Treffen, bei dem die Fachhandwerker ihre Berechnungsergebnisse vorstellten und zusammen mit der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) die durchzuführenden Optimierungsmaßnahmen abgesprochen wurden. Anhand der am 21.08.2003 abgesprochenen Maßnahmen erstellten die Betriebe Kostenvoranschläge und ließen diese Ange-

bote der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) zukommen. Nach Plausibilitätsprüfung und Abgleich der Angebote mit der vorliegenden projektinternen Kostenabschätzung wurden die Optimierungsmaßnahmen für den Bereich Wolfsburg, Braunschweig, Wolfenbüttel, Hannover und Bremen von der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) beauftragt.

Am 25.09.2003 trafen sich die Handwerker aus dem Raum Wilhelmshaven um in Begleitung durch Mitarbeiter der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) die Optimierungsberechnung durchzuführen. Der Umgang mit dem Berechnungsprogramm wurde vertieft, es wurden Beispielobjekte berechnet und Maßnahmen zur Optimierung ermittelt. Im Anschluss an diese Schulung wurden die noch ausstehenden Objekte selbständig von den verschiedenen Monteuren berechnet und die nötigen Maßnahmen ermittelt. Diese Berechnungen erfolgten in Abstimmung mit der FH Wolfenbüttel. Die Optimierung der Gebäude in Wilhelmshaven wurde durch die Innung organisiert. Das Ziel, alle Optimierungen vor Beginn der Heizperiode 2003/04 abzuschließen, konnte aufgrund diverser organisatorischer und technischer Probleme nicht vollständig realisiert werden.

8.2 Durchgeführte Arbeiten

Nach der Entscheidung, welche Objekte optimiert werden sollten, begleitete die FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) die Berechnung der Optimierungen durch die Fachhandwerker im Rahmen mehrerer Arbeitstreffen. Nach der projektinternen Kostenabschätzung erfolgte in der Region Braunschweig, Wolfenbüttel, Wolfsburg und Bremen die Absprache der Maßnahmen, Kontrolle der Kostenvoranschläge und Auftragsvergabe durch die FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW). Die Optimierung der Objekte in Wilhelmshaven erfolgte durch die Innung.

Insgesamt waren 7 Handwerksunternehmen an der Optimierung beteiligt.

- In Wilhelmshaven wurden 6 Gebäude von der Firma Jäger + Schulz sowie 15 Gebäude von der Firma Stein + Bösch optimiert.
- In Wolfsburg wurden 2 Gebäude von der Firma Jäger optimiert, in Bremen ein Gebäude von der Firma Wichmann, in Braunschweig 4 Gebäude von der Firma Pieczonka.
- Weiterhin wurde je ein Einfamilienhaus von der Firma Siegel, der Firma Taebel und von einem Mitarbeiter der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel optimiert.

Durchgeführte Optimierungsmaßnahmen in den Gebäuden

Die Optimierung vor Ort im Herbst und Winter 2003 umfasste:

1. die Voreinstellung der Thermostatventile zur Durchflussbegrenzung,
2. die Einstellung der Pumpe oder des Differenzdruckreglers auf die Anforderungen des nachgeschalteten Netzes,
3. die Einstellung der Regelung.

Einige Eindrücke von der Optimierung vor Ort zeigt Bild 108.



Der Thermostatkopf des vorhandenen Ventils wird zur Voreinstellung des Ventils abgenommen.



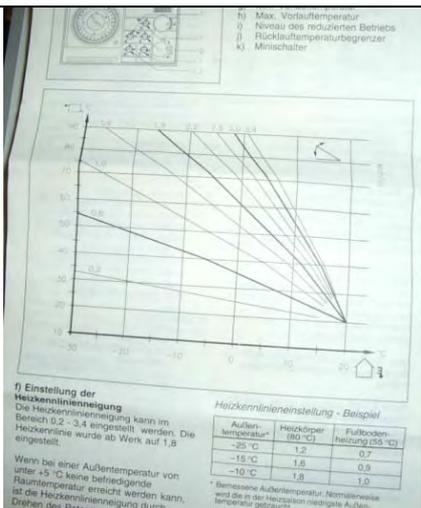
Neue voreinstellbare Thermostatventil werden bei Bedarf installiert.



Der Einbau des Schmutzfilters wird in der Werkstatt vorbereitet.



Aufsetzen des Ventilkopfes, nachdem der berechnete Voreinstellwert (nach Programmausdruck) eingestellt wurde.



Einstellung der Regelung nach den Herstellerunterlagen vor Ort.



Dokumentation der an der Anlage eingestellten Werte durch den Fachhandwerker.

Bild 108 Eindrücke von der Optimierung vor Ort

Die Optimierungen der Gebäude konnte im Januar 2004 vollständig abgeschlossen werden. Es wurden 31 Gebäude mit insgesamt fast 11500 m² beheizter Fläche optimiert. Eine genaue Aufstellung zeigt Tabelle 26.

Gebäudeschlüssel (verkürzt)	Baualtersklasse	Gebäudetyp	Art der Energieversorgung	Zeitpunkt der Optimierung
05 EFH	vor 1978	EFH	FERNWÄRME	Okt 03
07 EFH	vor 1978	EFH	FERNWÄRME	Nov 03
19 EFH	ab 1995	EFH	Gas	Nov 03
24 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Oktober 03 und März 04
38 EFH	1978 bis 1994	EFH	FERNWÄRME	Nov 03
43 EFH	vor 1978	EFH	FERNWÄRME	Okt 03
44 MFH	ab 1995	MFH	FERNWÄRME	Okt 03
47 MFH	1978 bis 1994	MFH	FERNWÄRME	Nov 03
48 MFH	vor 1978	MFH	FERNWÄRME	Nov 03
49 MFH	vor 1978	MFH	FERNWÄRME	Nov 03
52 MFH	vor 1978	MFH	Gas	Jan 04
57 MFH	vor 1978	MFH	Gas	Jan 04
61 MFH	vor 1978	MFH	Gas	Jan 04
64 MFH	1978 bis 1994	MFH	Gas	Dez 03
65 MFH	1978 bis 1994	MFH	Gas	Jan 04
66 MFH	1978 bis 1994	MFH	Gas	Jan 04
67 MFH	1978 bis 1994	MFH	Gas	Jan 04
76 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Jan 04
77 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Jan 04
78 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Dez 03
79 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Dez 03
80 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Dez 03
81 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Jan 04
82 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Jan 04
83 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Dez 03
86 EFH	vor 1978	EFH	Gas	Jan 04
89 EFH	1978 bis 1994	EFH	Gas	Jan 04
90 EFH	1978 bis 1994	EFH	Gas	Jan 04
92 EFH	1978 bis 1994	EFH	Gas	Jan 04
94 EFH	ab 1995	EFH	Gas	Jan 04
97 EFH	ab 1995	EFH	Gas	Jan 04

Tabelle 26 Optimierte Gebäude

Die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen, die in Tabelle 27 zusammengestellt sind, können verschiedenen Maßnahmenpaketen zugeordnet werden:

- Maßnahmenpaket 1: Die vorhandenen Komponenten müssen nur eingestellt werden.
- Maßnahmenpaket 2: Es müssen voreinstellbare Thermostatventile eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 3: Es muss eine neue Pumpe/neuer Differenzdruckregler eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 4: Pumpe/Differenzdruckregler und THKV müssen eingebaut werden.

Gebäude- schlüssel	beheizte Fläche, in [m ²]	Auszutauschende bzw. neue Komponenten							Optimierung						Maßna- hmen- paket	
		THKV DN 15	Pumpe WILO Star-E 25/1-3	DDR DN 15	DDR DN 20	DDR DN 25	Schmutzfilter DN 25	Schmutzfilter DN 40	Anlage entleeren und füllen	Einbau THKV	Einbau DDR	Einbau Pumpe	Einbau Schmutzfilter	Thermostatventile einstellen		Pumpe/ DDR/ Regelung einstellen
05 EFH 1 FW	158	11							1	11				11	1	2
07 EFH 1 FW	97	8				1			1	8	1			8	1	4
19 EFH 3 Gas	149			1					1		1			9	1	3
24 EFH 1 Gas	204	11					1		1	11			1	26	1	2
38 EFH 2 FW	149	12	1					1	1	12		1	1	12	1	4
43 EFH 1 FW	94	2							1	2				8		2
44 MFH 3 FW	1250													107	1	1
47 MFH 2 FW	407	40		2					1	40	2			40	1	4
48 MFH 1 FW	1019	80							1	80				80		2
49 MFH 1 FW	382	14			1				1	14	1			30	1	4
52 MFH 1 Gas	839	88	1						1	88		1		88	1	4
57 MFH 1 Gas	519	44							1	44				44	1	2
61 MFH 1 Gas	440	29							1	29				29	1	2
64 MFH 2 Gas	853	98	1						1	98		1		98	1	4
65 MFH 2 Gas	1159	138	1						1	138		1		138	1	4
66 MFH 2 Gas	1526	162	1						1	162		1		162	1	4
67 MFH 2 Gas	429	33	1						1	33		1		33	1	4
76 EFH 1 Gas	101		1						1			1		8	1	3
77 EFH 1 Gas	104		1						1			1		9	1	3
78 EFH 1 Gas	72		1						1			1		7	1	3
79 EFH 1 Gas	72		1						1			1		7	1	3
80 EFH 1 Gas	83		1						1			1		6	1	3
81 EFH 1 Gas	72		1						1			1		6	1	3
82 EFH 1 Gas	114		1						1			1		6	1	3
83 EFH 1 Gas	55		1						1			1		8	1	3
86 EFH 1 Gas	229	18							1	18				18	1	2
89 EFH 2 Gas	248	14	1						1	14		1		14	1	4
90 EFH 2 Gas	207	13				1			1	13	1			13	1	4
92 EFH 2 Gas	85	11							1	11				11	1	2
94 EFH 3 Gas	187	14				1			1	14	1			14	1	4
97 EFH 3 Gas	148	14	1						1	14		1		14	1	4
Summen	11451	854	16	3	1	3	1	1	30	854	7	16	2	1064	29	

Tabelle 27 Durchgeführte Optimierungsmaßnahmen

Sondermaßnahmen

Folgende Sondermaßnahmen wurden in den bauähnlichen Objekten durchgeführt:

- in den Etagenwohnungen 76EFH bis 83EFH erfolgte – trotz vorhandenen Kessel mit integrierter Pumpe – ein Pumpenaustausch.
- in den bauähnlichen Mehrfamilienhäusern 64MFH, 65MFH und 66MFH wurden einmal Siemens MiniCombi-Ventile mit selbsttätiger Differenzdruckregelung eingebaut (64MFH), zweimal wurden normale voreinstellbare Thermostatventile (65MFH, 66MFH) für den hydraulischen Abgleich verwendet.

Für die kostenlose Lieferung der MiniCombi-Ventile möchte sich die OPTIMUS-Projektgruppe herzlich bei der Firma Siemens bedanken. Gleicher Dank gilt für die Lieferung der Pumpen durch die Firma Wilo.

8.3 Kostenzusammenstellung

Die Kostenzusammenstellung erfolgt in den nächsten Abschnitten sowohl für die konkret im Projekt optimierten Gebäude als auch verallgemeinert für zwei Typgebäude. Es gelten dabei die in Tabelle 28 zusammengestellten Grunddaten.

Position (Preise ohne MwSt.)	EFH	MFH
Lohnkosten	38 €/h	
Aufnahme des Gebäudes und der Heizzentrale	0,25 h/Haus	0,5 h/Haus
Aufnahme der Räume	0,15 h/Raum	0,083 h/Raum
Eingabe in Rechenprogramm	0,13 h/Raum	
Datenrecherche	0,25 h/Haus	
Thermostatventil mit Kopf DN 15	16 €/Stück	
Pumpe Wilo-Star-E 25/1-3	131 €/Stück	
Pumpe Wilo-Star-E 25/1-5	146 €/Stück	
Differenzdruckregler mit Zubehör, DN 15	74 €/Stück	
Differenzdruckregler mit Zubehör, DN 20	87 €/Stück	
Differenzdruckregler mit Zubehör, DN 25	102 €/Stück	
Schmutzfilter, DN 25	46 €/Stück	
Schmutzfilter, DN 40	82 €/Stück	
Anlage entleeren und füllen	1 h/Haus	2 h/Haus
Einbau THKV (nur in Verbindung mit Voreinstellung)	0,2 h/Stück	
Einbau DDR	2 h/Stück	4,5 h/Stück
Einbau Pumpe	1 h/Stück	
Einbau Schmutzfilter	1 h/Stück	
THKV Voreinstellung	0,12 h/Stück	
Pumpe, DDR, Regelung einstellen	1 h/Haus	
An und Abfahrt	10 €/Haus	
Dokumentation	0,5 h/Haus plus 5 €/Haus	

Tabelle 28 Kalkulationsgrundlagen für die Kostenberechnung

Die Ansätze resultieren aus konkreten, im Rahmen des Projekts umgesetzten Optimierungen. Alle Kostendaten sind ohne Mehrwertsteuer angegeben.

8.3.1 Einzelkosten

Die tatsächlichen Kosten für die Optimierung der Gebäude unter Marktbedingungen können nicht angegeben werden. Gründe hierfür sind beispielsweise die für das Projekt teilweise kostenlos zur Verfügung gestellten Komponenten sowie die nicht vorhandenen Rechnungen aus Wilhelmshaven. Hier wurde die Umsetzung als Eigenleistung der Innung Wilhelmshaven angesetzt. Tabelle 29 zeigt daher eine Zusammenstellung der Kosten, wie sie unter realen Bedingungen hätte auftreten können.

Gebäudeschlüssel	1. Kosten für die Aufnahme, in [€]			2. Kosten für Berechnungen, in [€]		3. Kosten für Komponenten, in [€]				4. Kosten für Optimierung, in [€]						5. Kosten für Dokumentation, in [€]	Gesamtkosten		Maßnahmenpaket		
	An- und Abfahrt	Gebäudeaufnahme, anteilig Räume vor Ort	Gebäudeaufnahme, anteilig Datenrecherche	Eingabe in Programm	Suche in Katalogen	THKV	Pumpe	DDR	Schmutzfilter	An- und Abfahrt	Anlage entleeren und füllen	Einbau THKV	Einbau DDR	Einbau Pumpe	Einbau Schmutzfilter	Thermostatventile einstellen	Pumpe/DDR/Regelung einstellen	Ausdrucke, Ordner, CDs		Summe, in [€]	Summe, in [€/m²]
05EFH	10	57	10	51	9,5	176				10	38	84				50	38	24	557	3,5	2
07EFH	10	46	10	41	9,5	128		102		10	38	61	76			36	38	24	629	6,5	4
19EFH	10	51	10	46	9,5			74		10	38		76			41	38	24	427	2,9	3
24EFH	10	125	10	112	9,5	176		46		10	38	84		38	119	38	24	839	4,1	2	
38EFH	10	57	10	51	9,5	192		82		10	38	91		38	55	38	24	705	4,7	4	
43EFH	10	40	10	36	9,5	32				10	38	15			36		24	260	2,8	2	
44MFH	10	293	19	474	9,5					10					488	38	24	1365	1,1	1	
47MFH	10	101	19	163	9,5	640		148		10	76	304	342		182	38	24	2067	5,1	4	
48MFH	10	252	19	407	9,5	1280				10	76	608			365		24	3061	3,0	2	
49MFH	10	95	19	153	9,5	224		87		10	76	106	171		137	38	24	1159	3,0	4	
52MFH	10	189	19	306	9,5	1408	131			10	76	669		38	401	38	24	3328	4,0	4	
57MFH	10	126	19	204	9,5	704				10	76	334			201	38	24	1755	3,4	2	
61MFH	10	85	19	137	9,5	464				10	76	220			132	38	24	1226	2,8	2	
64MFH	10	243	19	392	9,5	1568	131			10	76	745		38	447	38	24	3750	4,4	4	
65MFH	10	347	19	560	9,5	2208	131			10	76	1049		38	629	38	24	5149	4,4	4	
66MFH	10	442	19	713	9,5	2592	131			10	76	1231		38	739	38	24	6072	4,0	4	
67MFH	10	114	19	183	9,5	528	131			10	76	251		38	150	38	24	1582	3,7	4	
76EFH	10	40	10	36	9,5		131			10	38			38	36	38	24	420	4,2	3	
77EFH	10	40	10	36	9,5		131			10	38			38	41	38	24	425	4,1	3	
78EFH	10	29	10	25	9,5		131			10	38			38	32	38	24	394	5,5	3	
79EFH	10	29	10	25	9,5		131			10	38			38	32	38	24	394	5,5	3	
80EFH	10	34	10	31	9,5		131			10	38			38	27	38	24	400	4,8	3	
81EFH	10	29	10	25	9,5		131			10	38			38	27	38	24	389	5,4	3	
82EFH	10	40	10	36	9,5		131			10	38			38	27	38	24	411	3,6	3	
83EFH	10	23	10	20	9,5		131			10	38			38	36	38	24	388	7,0	3	
86EFH	10	91	10	81	9,5	288				10	38	137			82	38	24	819	3,6	2	
89EFH	10	68	10	61	9,5	224	131			10	38	106		38	64	38	24	832	3,4	4	
90EFH	10	68	10	61	9,5	208		102		10	38	99	76		59	38	24	813	3,9	4	
92EFH	10	46	10	41	9,5	176				10	38	84			50	38	24	535	6,3	2	
94EFH	10	86	10	76	9,5	224		102		10	38	106	76		64	38	24	873	4,7	4	
97EFH	10	57	10	51	9,5	224	131			10	38	106		38	64	38	24	810	5,5	4	
Summe	310	3341	399	4634	295	13664	1965	615	128	310	1520	6490	817	570	76	4852	1102	744	41832		

Tabelle 29 Kosten für die Optimierung einzelner Gebäude

Auf Basis der Einzelkosten für die Maßnahmen ergeben sich die in Bild 109 zusammengefassten Kennwerte für die vier möglichen Maßnahmenpakete:

- Maßnahmenpaket 1: Die vorhandenen Komponenten müssen nur eingestellt werden.
- Maßnahmenpaket 2: Es müssen voreinstellbare Thermostatventile eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 3: Es muss eine neue Pumpe/neuer Differenzdruckregler eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 4: Pumpe/Differenzdruckregler und THKV müssen eingebaut werden.

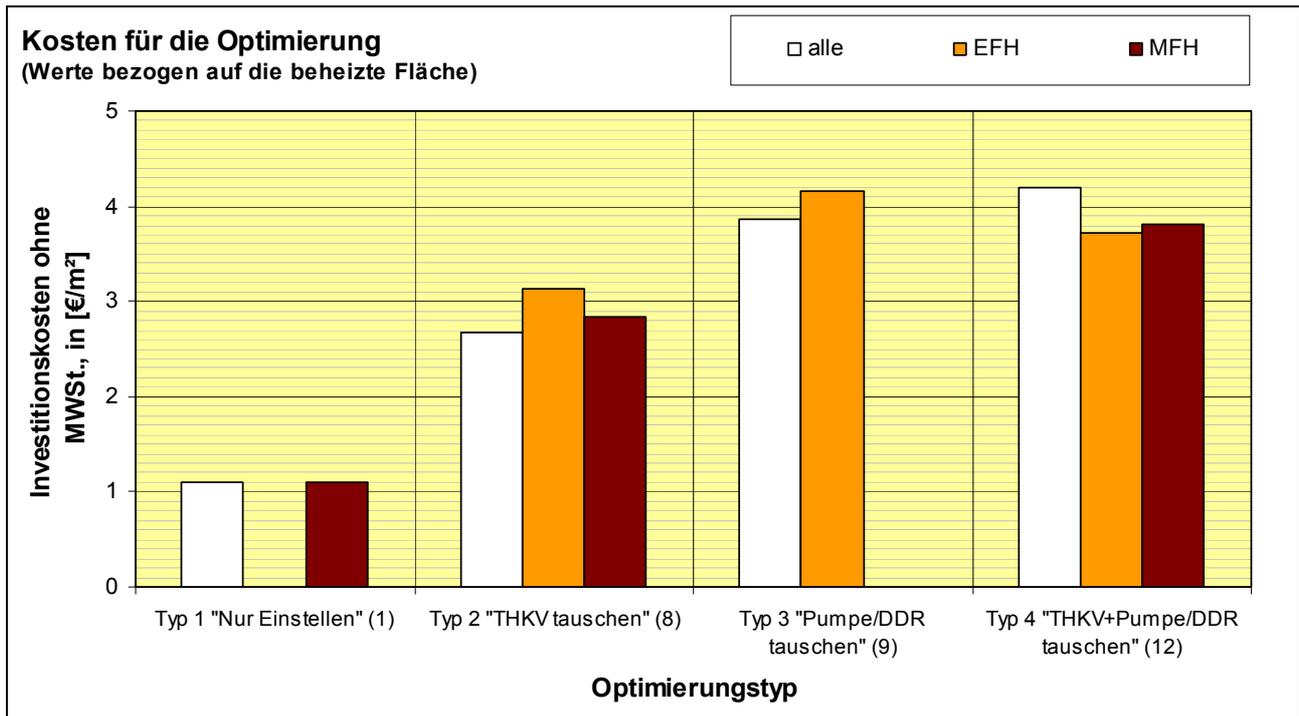


Bild 109 Kosten für die Optimierung einzelner Gebäude

Im Mittelwert aller optimierten Gebäude des OPTIMUS-Projekts ergeben sich Investitionskosten von 3,65 €/m².

8.3.2 Kostenfunktionen für Durchschnittsgebäude

Auf Basis der Kostenansätze nach Tabelle 28 ergeben sich die in Bild 110 zusammengestellten Kostenfunktionen je nach Maßnahmenpaket.

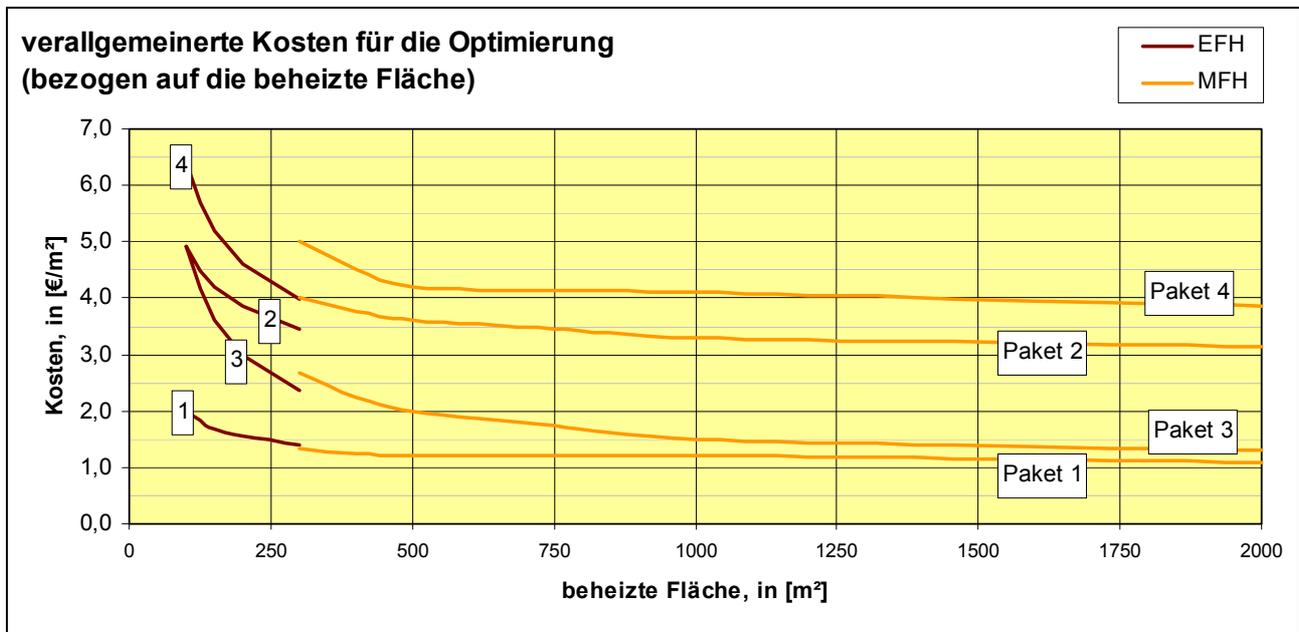


Bild 110 Durchschnittskosten für die Optimierung

Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte von 1,8 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 5,5 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte von 1,3 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 4,2 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR).

Notwendige Energieeinsparung zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit

Mit den Investitionskosten kann eine Gesamtwirtschaftlichkeitsberechnung, wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, aufgestellt werden. Es ergeben sich aus den Investitionen die einzusparenden Energiemengen, damit die Maßnahme gerade wirtschaftlich ist. Folgende Randbedingungen gelten:

- Kalkulationszins: 5 %/a
- Energiepreissteigerung: 6 %/a
- Anlagenteuerung: 2 %/a
- Betrachtungszeitraum: 15 a
- Lebensdauer der Investition: 15 a, bei Pumpen 10 a
- Energiekosten ohne MwSt: 5 Cent/kWh thermisch und 15 Cent/kWh elektrisch

Die Ergebnisse dieser Betrachtung zeigt Bild 111, für den Fall dass ausschließlich Wärmeenergie eingespart wird. Wenn nur elektrische Energie eingespart wird (Pumpenstrom) müssen die Werte mit 1/3 multipliziert werden.

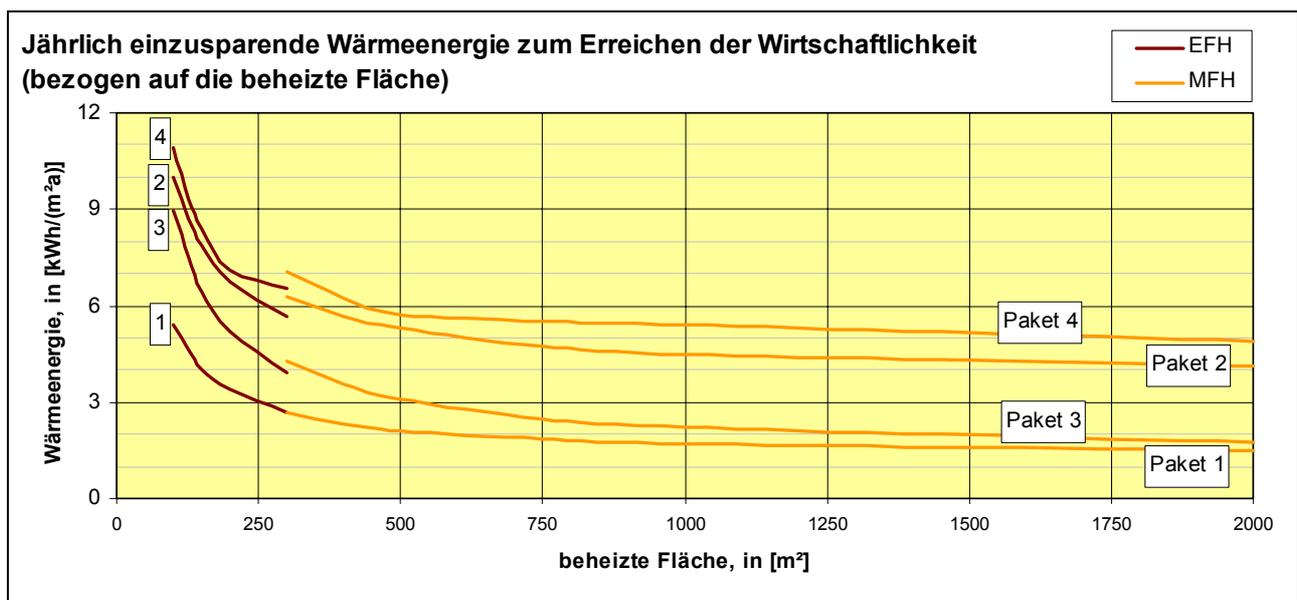


Bild 111 Jährlich einzusparende Wärmeenergie zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit

Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte von 4,4 kWh/(m²a) Wärmeenergie für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 9,2 kWh/(m²a) Wärmeenergie für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte von 2,2 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 6,0 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR).

Die notwendige elektrische Energieeinsparung würde etwa 30 % der genannten Mengen betragen. Wird beides eingespart, Wärme und Strom, ergeben sich entsprechende Zwischenwerte.

8.4 Nutzerbefragung nach der Optimierung

In Abschnitt 6.4.5 sind die Ergebnisse der Nutzerbefragung zu Beginn des Projekts zusammengestellt. Im Jahr 2004 wurden noch einmal 50 Bewohner und 5 Hausmeister hinsichtlich der Zufriedenheit und Problemen mit der Heizungsanlage befragt.

Die Auswahl der Personen war wahllos und über optimierte und nicht optimierte Gebäude verteilt. Es handelte sich um die Gebäude, die zur Vervollständigung der Anlagen- und Gebäudeerfassung sowieso noch einmal aufgesucht werden mussten (vgl. Abschnitt 6.2).

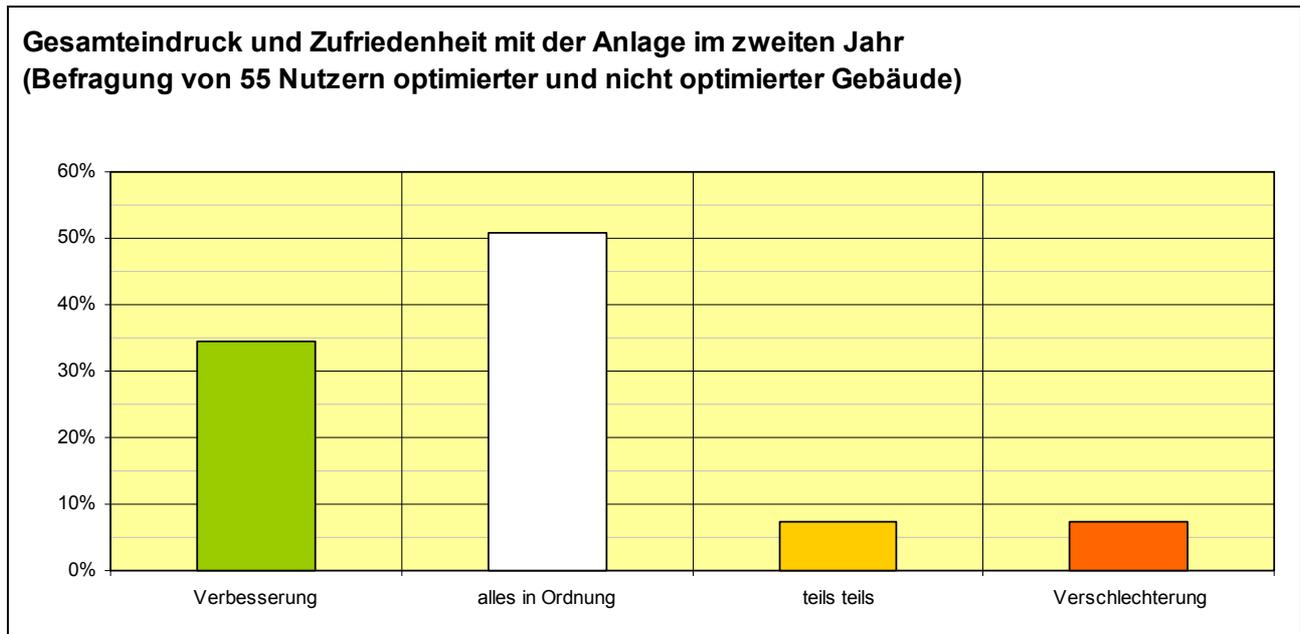


Bild 112 Gesamteindruck und Zufriedenheit der Nutzer mit der Heizung im zweiten Jahr

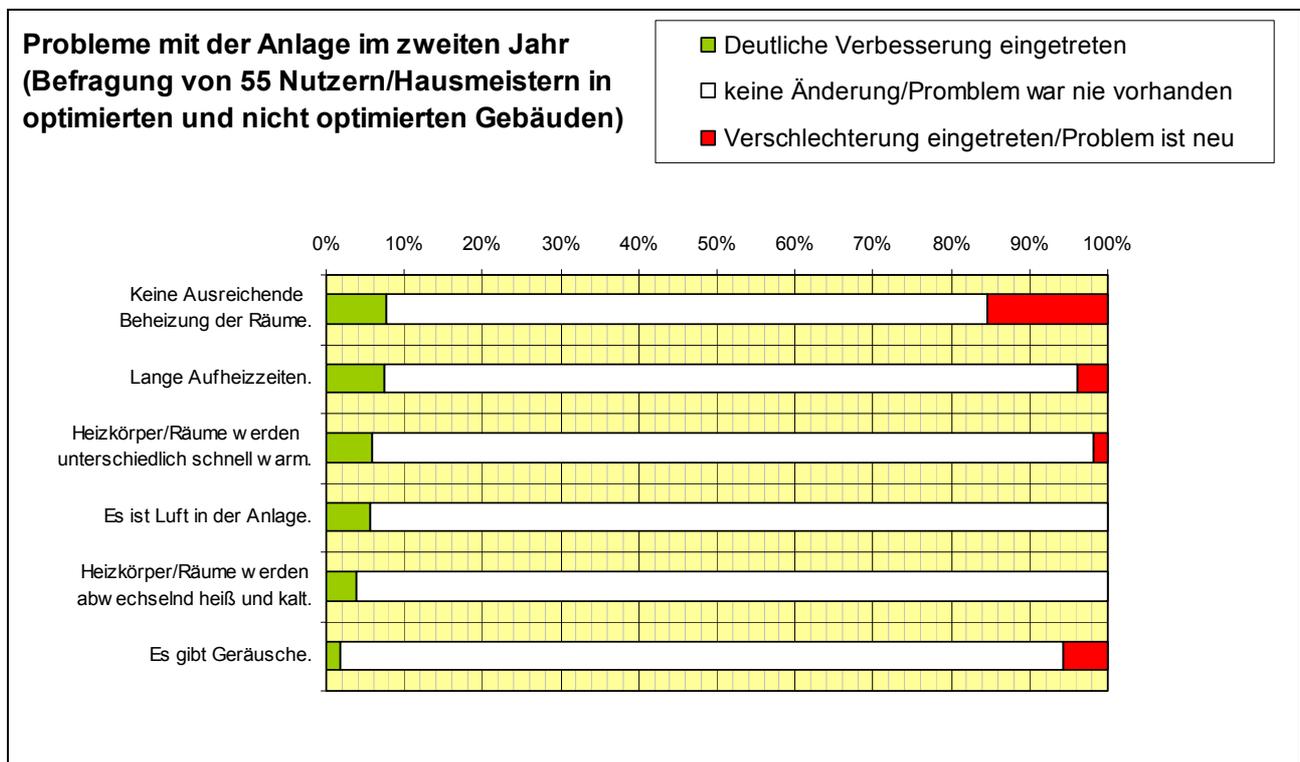


Bild 113 Probleme mit der Anlage im zweiten Jahr

Insgesamt liefert die Befragung ein positives Ergebnis der Nutzer hinsichtlich Gesamteindruck und Zufriedenheit, vgl. Bild 112. Etwa ein Drittel der Befragten ist zufriedener als vorher, viele können jedoch nicht genau spezifizieren, warum dies so ist. Allerdings haben sich für 8 % der befragten Nutzer die Probleme gehäuft. Diese Auswertung betrifft noch alle Befragten, d.h. auch die Bewohner der nicht optimierten Gebäude. Detailaussagen für die Bewohner der optimierten Gebäude folgen weiter unten.

Bild 113 zeigt die Veränderung der Einzelprobleme. Es ist deutlich zu sehen, dass die Beheizung der Räume offenbar die größten für die Nutzer sichtbaren bzw. fühlbaren Änderungen mit sich bringt. Hiermit sind fast 9 % der Befragten zufriedener, aber auch 16 % unzufriedener als vorher.

Bild 114 verdeutlicht dies noch einmal nur für die optimierten Gebäude. Nach der Optimierung nehmen die Probleme mit zu langen Aufheizzeiten, unterschiedlich warmen Räumen/Heizkörpern und Luft in der Anlage ab. Geräuschprobleme und eine nicht ausreichende Beheizung werden dagegen als Problem gesehen.

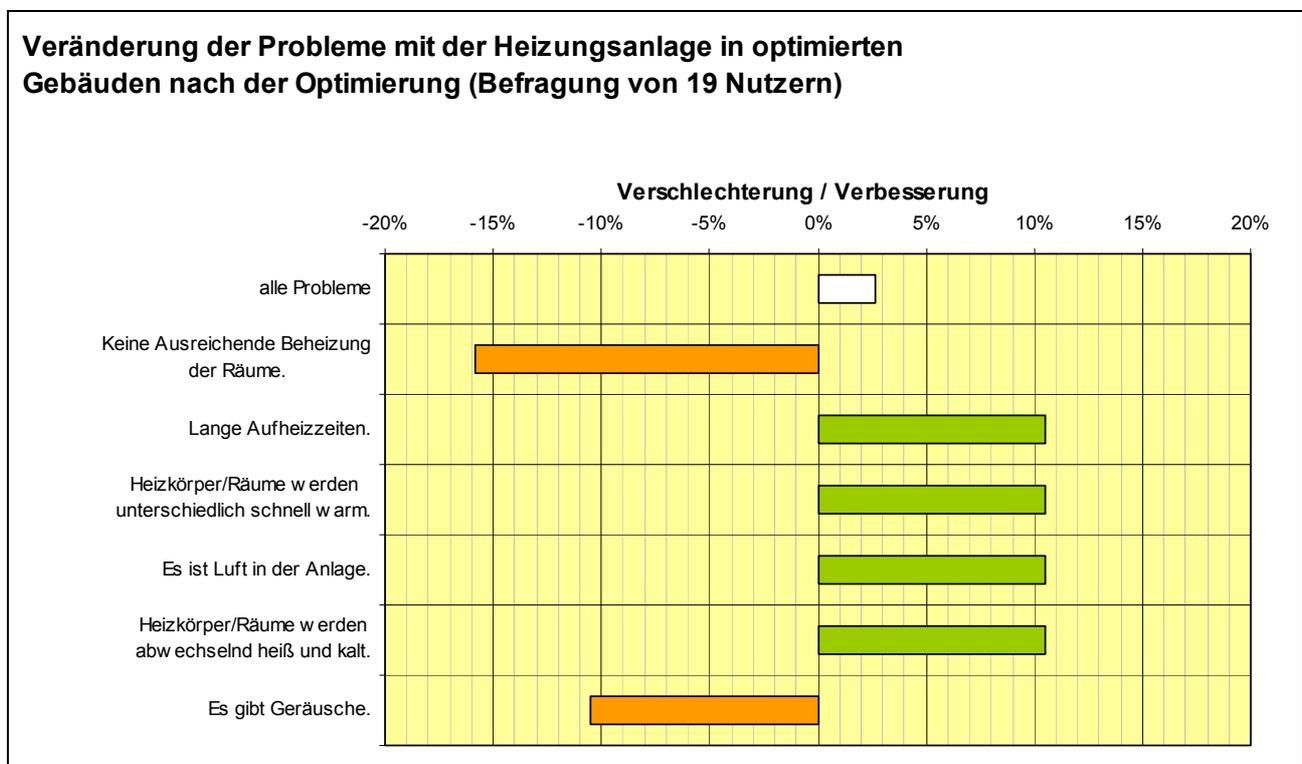


Bild 114 Veränderung der Probleme mit der Heizungsanlage in optimierten Gebäuden

Eine Querauswertung (Untersuchung der Befragungsergebnisse auf Korrelation) zeigt, dass in der überwiegenden Zahl von Gebäuden, in denen die Probleme abgenommen haben, die Nutzer gleichzeitig ein sparsameres Nutzerverhalten angeben. Dies ist insofern interessant, weil sich dies offensichtlich aufgrund der verbesserten Beheizung aller Räume erst ermöglichen lässt.

Es gibt wenige Anlagen, in denen einzelne Probleme abgestellt werden und andere dafür auftreten (3 Fälle). Und dann wurde festgestellt, dass entweder die Geräusche abgestellt wurden, aber die Beheizung der Räume verschlechtert wird oder der umgekehrte Fall eintritt. In den Fällen, wo sich die Probleme vermehren (6 Fälle), geben die Nutzer als neu hinzukommendes Manko an, dass sich keine ausreichende Beheizung der Räume mehr ergibt.

Eine Problemhäufung (Vermehrung verschiedener Probleme mit der Anlage im Vergleich zur ersten Heizperiode) konnte in zwei Einfamilienhäusern in Bremen und Wolfsburg festgestellt werden. Diese sind auf Probleme der Handwerker bei der Umsetzung der Optimierung zurückzuführen und könnten künftig bei intensiverer Schulung vermutlich abgestellt werden.

Bild 115 zeigt die Ergebnisse der Nutzerbefragung hinsichtlich ihres Heizverhaltens. Es ist festzustellen, dass in den optimierten Gebäuden der Anteil der sparsamen Nutzer höher ist als in den nicht optimierten Gebäuden. Es ist festzustellen: **die Optimierung ermöglicht es den Nutzern, sparsamer zu heizen.**

Die Aussage, dass man sich insgesamt sparsamer verhält wird in den optimierten Gebäuden in fast allen Fällen nur von Personen getätigt, in denen sich die Anlage verbessert oder nicht verändert hat. Im umgekehrten Fall geben Personen, bei denen sich die Zufriedenheit verschlechtert hat an, dass sich auch ihr Nutzerverhalten nicht geändert hat.

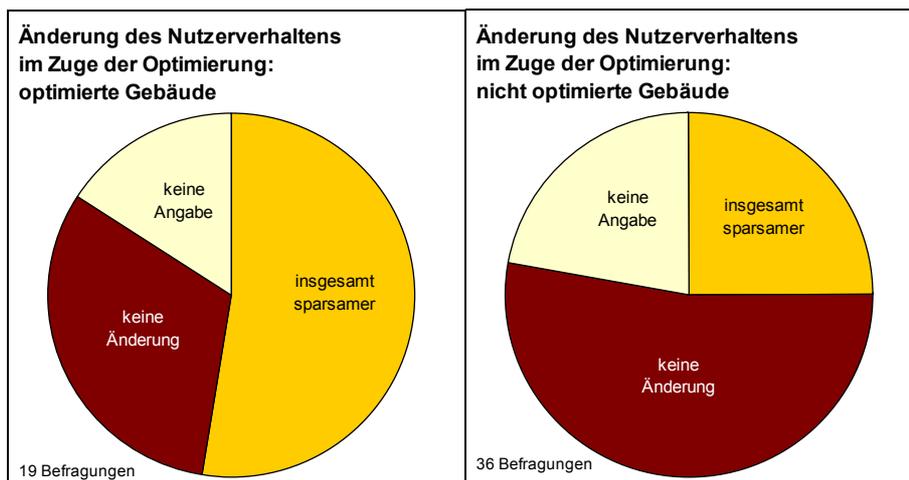


Bild 115 Änderung des Heizverhaltens der Nutzer im zweiten Jahr

Fazit

Die Auswertungen zeigen, dass eine Optimierung immer mit größter Sorgfalt durchgeführt werden muss, sonst ergeben sich Defizite für die Nutzer. In den untersuchten Gebäuden kann, da der hydraulische Abgleich durchgeführt wurde, durch einfache Maßnahmen eine Nutzerzufriedenheit hergestellt werden:

- werden alle Räume als zu kühl empfunden, wird die Heizkurve in kleinen Schritten angehoben, bis die Beschwerden aufhören
- wird nur ein Raum als zu kühl empfunden, wird dessen Voreinstellung in kleinen Schritten vermindert, bis die Beschwerden aufhören

Der Effekt des hydraulischen Abgleichs scheint in zwei verschiedenen Ausprägungen bei den Nutzern anzukommen:

- einzelne Nutzer sind sehr zufrieden mit der sich ergebenden gleichmäßigen Beheizung und können nun sparsamer heizen
- andere Nutzer haben das Gefühl, die Räume werden einzeln oder alle nicht mehr ausreichend beheizt.

Es ergibt sich auch im OPTIMUS-Projekt die Erkenntnis, **dass die Nutzer unbedingt in den Optimierungsprozess einbezogen werden müssen, damit die Auswirkungen der Optimierung verstanden werden.**

8.5 Nicht optimierbare bzw. optimierte Gebäude

Im Projektverlauf stellten sich einige der 83 letztlich teilnehmenden Projektgebäude als nicht optimierbar heraus. Diese wurden dann – trotz eines in Einzelfällen recht hohen Energieverbrauchs im ersten Messjahr und damit vorhandener Optimierungswürdigkeit – der Referenzgruppe zugeordnet, deren Energieverbrauch zu Vergleichszwecken weiter erfasst wurde (siehe Abschnitt 9.1.1).

Im Einzelnen handelte es sich um folgende nicht im Sinne des OPTIMUS-Projekts aus technischen oder finanziellen Gründen optimierbare Gebäude:

- 13EFH: Es ist ein separater Fußbodenheizkreis vorhanden, dessen Leistung mit der vorhandenen Optimierungssoftware nicht rechnerisch an den Bedarf des Raums angepasst werden kann.
- 15EFH: Es ist neben den Heizkörpern teilweise Fußbodenheizung vorhanden.
- 21EFH: Im Erdgeschoss gibt es sowohl Fußboden- als auch Heizkörperheizung.
- 33EFH: Es sind ein Hoch- und ein Niederdruckheizkreis vorhanden, die Unterflurkonvektoren in mehreren Räumen sind nicht ohne Baumaßnahmen zugänglich; die Optimierung wäre zu aufwändig.
- 34MFH: Die Optimierung wäre zu aufwändig, weil zunächst eine Umstellung auf witterungsgeführte Regelung sowie der Austausch mehrerer Heizflächen notwendig wären.
- 35EFH: Es ist neben den Heizkörpern teilweise Fußbodenheizung vorhanden.
- 42MFH: Die Optimierung wäre zu aufwändig, weil zunächst eine Umstellung auf witterungsgeführte Regelung notwendig wäre.
- 46MFH: In den einzelnen Räumen sind die Heizkörper zum Teil nach dem Prinzip der Einrohrheizung angeschlossen; in diesem Fall kann die Leistung mit der vorhandenen Optimierungssoftware nicht rechnerisch an den Bedarf des Raums angepasst werden.

Folgende Gebäude wurden nicht optimiert, weil bis zur Entscheidung über die Optimierung entweder Messdaten nicht plausibel waren oder die Bestandsaufnahme noch nicht abgeschlossen war:

- 30MFH: Die Bestandsaufnahme konnte nicht rechtzeitig durchgeführt werden, so dass die Optimierung nicht planbar war.
- 93EFH: Die Bestandsaufnahme konnte nicht rechtzeitig durchgeführt werden, so dass die Optimierung nicht planbar war.
- 95EFH: Die Bestandsaufnahme konnte nicht rechtzeitig durchgeführt werden, so dass die Optimierung nicht planbar war.
- 96EFH: Die Bestandsaufnahme konnte nicht rechtzeitig durchgeführt werden, so dass die Optimierung nicht planbar war.
- 53MFH: Es lagen bis zur Planung der Optimierung keine plausiblen Messdaten vor.
- 54MFH: Es lagen bis zur Planung der Optimierung keine plausiblen Messdaten vor.
- 75MFH: Es lagen bis zur Planung der Optimierung keine plausiblen Messdaten vor.
- 98EFH: Es lagen bis zur Planung der Optimierung keine plausiblen Messdaten vor.
- 39MFH: Der Wärmemengenzähler erfasst mehrere Gebäude, so dass die Verbrauchsminde- rung nach der Optimierung schwer zu ermitteln wäre.
- 45MFH: Der Wärmemengenzähler erfasst mehrere Gebäude, so dass die Verbrauchsminde- rung nach der Optimierung schwer zu ermitteln wäre.

8.6 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Die Planung und Umsetzung der Anlagenoptimierung sollte nur von geschulten Handwerkern durchgeführt werden, die im Umgang mit einem Optimierungsprogramm trainiert sind. Alternativ sollte während der ersten Optimierungen Hilfe (z.B. über eine Hotline) verfügbar sein.

9 Auswertung der Messdaten

Während der fast 3-jährigen Projektlaufzeit wurden kontinuierlich monatliche Verbrauchsmessungen in den beteiligten Gebäuden durchgeführt. Mit Hilfe der erfassten Gas-, Wärme- und Stromverbräuche kann rückgeschlossen werden, wie hoch der Energieeinspareffekt aufgrund der Heizungsanlagenoptimierung tatsächlich ist.

Für die OPTIMUS-Gebäude werden nachfolgend zunächst die witterungsbereinigten Heizwärmeverbrauchswerte, der zeitbereinigte Trinkwasserwärmeverbrauch sowie die Nutzungsgrade der Erzeugung angegeben. Aus diesen Grunddaten wird die Energieeinsparung an Heizwärme und Heizenergie (inkl. Erzeugerbewertung) durch eine Optimierung abgeleitet. Es wird dargestellt, welche Merkmale von Gebäuden und Anlagen dazu führen, dass ein höheres Einsparpotential entsteht. Schließlich gibt der nachfolgende Abschnitt auch Aufschluss über die Umweltrelevanz des Gesamtprojektes OPTIMUS.

Alle zuvor genannten Auswertungen werden für alle OPTIMUS-Gebäude einzeln sowie in Summe durchgeführt. Für die Projektpartner ist dabei der Summenerfolg von größter Bedeutung. Für die einzelnen Gebäudebesitzer zählt jedoch die Einzelauswertung. Deshalb wurde auf Basis der Einzelergebnisse für jedes Gebäude ein "Gebäudeendbericht" erstellt, der ebenfalls nachfolgend exemplarisch erläutert wird.

9.1 Energieverbrauch der Gebäude

Für die OPTIMUS-Gebäude, deren Energieverbrauchsdaten auswertbar sind, werden in den folgenden Unterabschnitten der Heizwärmeverbrauch, der Trinkwasserwärmeverbrauch, die Nutzungsgrade der Erzeugung und der Hilfsenergieverbrauch bestimmt. Für alle Werte erfolgt eine Witterungs- bzw. Zeitkorrektur zur Normierung.

Es wird bei den optimierten Gebäuden in die Zeit vor und nach der Optimierung unterschieden. Bei den nicht optimierten Gebäuden werden in Anlehnung an diese Teilung auch zwei Jahreswerte (ca. November 2002 bis November 2003 und Dezember 2003 bis März 2004) bestimmt.

9.1.1 Vorgehensweise bei der Datenauswertung

Die gemessenen Verbrauchsdaten wurden anhand der nachfolgend beschriebenen Strategie ausgewertet.

Korrektur der Zählermesswerte für den Heizwärmeverbrauch

Für alle Gebäude wurde aus einem Wärmemengenzählermesswert der Heizwärmeverbrauch bestimmt. In den einzelnen Gebäuden ist die Lage des auswertbaren Wärmemengenzählers innerhalb der Anlage unterschiedlich, siehe Abschnitt 4.2.1. Es ergeben sich folgende Szenarien:

1. Für Gebäude, in denen ein separater Wärmemengenzähler für die Heizwärme hinter dem Erzeuger installiert ist, ist der Messwert dieses Zählers maßgeblich für den Heizwärmeverbrauch. Es erfolgt keine weitere Korrektur für eventuell vorhandene Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereichs, siehe auch Abschnitt 3.2.2.
2. Für Gebäude, in denen kein separater Wärmemengenzähler für die Heizwärme hinter dem Erzeuger installiert ist, wird die Differenz zwischen dem Primärwärmemengenzähler und dem Trinkwasserwärmemengenzähler gebildet. Da diese Differenz noch den Nutzungsgrad des Erzeugers enthält, erfolgt eine entsprechende Korrektur. Der sich ergebende Heizwärmeverbrauch wird nicht weiter um eventuell vorhandene Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereichs vermindert.

Korrektur der Zählermesswerte für den Trinkwasserwärmeverbrauch

Soweit vorhanden, wird der Trinkwasserwärmeverbrauch aus einem Wärmemengenzählermesswert bestimmt. In den einzelnen Gebäuden ist die Lage des auswertbaren Wärmemengenzählers innerhalb der Anlage unterschiedlich, siehe Abschnitt 4.2.1. Es ergeben sich folgende Szenarien:

1. Für Gebäude, in denen ein separater Wärmemengenzähler für den Trinkwasserwärmeverbrauch hinter dem Erzeuger installiert ist, ist der Messwert dieses Zählers maßgeblich. Es erfolgt keine weitere Korrektur um die vorhandenen Verteilverluste, siehe auch Abschnitt 3.2.2.
2. Für Gebäude, in denen kein separater Wärmemengenzähler für den Trinkwasserwärmeverbrauch hinter dem Erzeuger installiert ist, wird die Differenz zwischen dem Primärwärmemengenzähler und dem Heizwärmemengenzähler gebildet. Da diese Differenz noch den Nutzungsgrad des Erzeugers enthält, erfolgt eine entsprechende Korrektur. Der sich ergebende Trinkwasserwärmeverbrauch wird nicht weiter um vorhandene Verteilverluste vermindert.
3. in Anlagen ohne separaten Zähler wird kein Trinkwasserwärmeverbrauch gebildet.

Heizwärmeverbrauch aus den Messwerten in der Kernheizzeit

Der Heizwärmeverbrauch wird zum einen aus den Verbrauchsmesswerten der Kernheizzeit bestimmt. Die Kernheizzeit ist im Rahmen des Projekts etwa als Zeit von November bis einschließlich März definiert. Die Mitteltemperatur aller Tage der Kernheizzeit liegt unterhalb der Heizgrenztemperatur. Innerhalb dieser Zeit wird daher von einer Vollbeheizung ohne Heizpausen ausgegangen.

Die gemessenen Verbrauchswerte werden mit den Heizgradtagen (unter Beachtung der individuellen Heizgrenztemperatur ϑ_{HG}) bereinigt. Es gilt die Gleichungen (37).

$$Q_{h,Standard} = Q_{h,Mess} \cdot \frac{G_{\vartheta_{HG},Standard}}{G_{\vartheta_{HG},Mess}} \quad (37)$$

Als Standardwerte für die Wetterdaten gelten die Zahlen nach Tabelle 30 – in Anlehnung an [26].

Heizgrenze in °C	Heiztage, t_{HP} in [d/a]	mittlere Außentemperatur $\vartheta_{a,m}$ in [°C]	Heizgradtage G , in [kKh/a]
10	188	3,3	29,9
11	207	3,9	35,3
12	225	4,5	41,1
13	241	4,9	47,3
14	256	5,2	53,8
15	270	5,5	60,7
16	283	5,9	68,0
17	295	6,3	75,6
18	307	6,7	83,6
19	318	7,0	91,9
20	328	7,3	100,6

Tabelle 30 Standardwerte für Wetterdaten

Für die Messwerte werden die Wetterdaten des betreffenden Standorts ausgewertet und die mittlere Außentemperatur sowie die Heizzeit bestimmt. Es gilt auch hier die individuelle Heizgrenze. Sollte die individuelle Heizgrenze eines Gebäudes unter 10 °C liegen, so wird 10 °C zur Bereinigung verwendet. Analoges gilt für individuelle Heizgrenztemperaturen über 20 °C.

Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten

Der Heizwärmeverbrauch wird darüber hinaus auch noch einmal durch Auswertung voller Jahre inklusive der Übergangsjahreszeiten bestimmt. Es wird jeweils der maximal verfügbare Zeitraum ausgewertet. Die Bereinigung auf ein Standardjahr erfolgt ebenfalls anhand der Gleichung (37), jedoch entsprechend mit den ausgewerteten Wetterdaten des ganzen Jahres.

Trinkwasserwärmeverbrauch

Die Zählermesswerte für Trinkwarmwasser werden nach Gleichung (38) auf die Zeit eines Jahres hochgerechnet. Es wird der längste aller auswertbaren Zeiträume verwendet und ein Mittelwert für die gesamte Projektlaufzeit bestimmt.

$$\frac{Q_{TW,Standard}}{Q_{TW,Mess}} = \frac{365 \text{ d/a}}{t_{Mess}} \quad (38)$$

Nutzungsgrade zur Umrechnung von Wärme- in Endenergie

Für jede Anlage wird, sofern Messdaten vorhanden sind, aus den Zählermesswerten ein Nutzungsgrad für den Erzeuger bestimmt. Es wird der längste aller auswertbaren Zeiträume verwendet und ein Mittelwert für die gesamte Projektlaufzeit bestimmt.

Dazu wird nach Gleichung (39) die abgegebene Wärmemenge zur aufgewendeten Wärmemenge ins Verhältnis gesetzt.

$$\eta_{Mittel} = \frac{Q_{Output}}{Q_{Input}} \quad (39)$$

Bei Gebäuden, in denen auf diesem Weg keine Nutzungsgradbestimmung möglich ist, wird auf Standardwerte zurückgegriffen. Es gilt der Hessische Energiepass [30], [31].

Hilfsenergieverbrauch

Die Zählermesswerte für Hilfsenergie werden nach Gleichung (40) auf die Zeit einer Heizperiode hochgerechnet. Es gilt dabei die individuelle Heizgrenze eines Gebäudes.

$$\frac{Q_{EI,Standard}}{Q_{EI,Mess}} = \frac{t_{HP,Standard}}{t_{HP,Mess}} \quad (40)$$

Die Heizzeittlänge im Messintervall ergibt sich durch Auswertung der betreffenden Wetterdaten. Die Standardheizzeittlänge ergibt sich nach Tabelle 30. Es werden wie bei der Auswertung sowohl die Werte für die Kernheizzeit als auch Jahresmesswerte bereinigt. Darüber hinaus werden auch mittlere Hilfsenergieleistungen aus den Verbrauchswerten bestimmt.

9.1.2 Heizwärmeverbrauch aus Messwerten der Kernheizzeit

Für alle energetisch auswertbaren Gebäude (88) wurde der Heizwärmeverbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Maßgeblich für die Kennwerte in diesem Abschnitt sind die Messwerte der Kernheizzeit (durchgehende Beheizung). Diese Messwerte sind mit den Heizgradtagen auf ein Standardjahr bereinigt. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnten in jeder der beiden Heizperioden (in der Mehrzahl der Gebäude handelt es sich um die Winterperioden 2002/2003 und 2003/2004) Heizwärmeverbrauchswerte bestimmt werden. Daher ergibt sich für jedes Gebäude ein bereinigter Heizwärmeverbrauch in der ersten und in der zweiten Messperiode. Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigt Bild 116.

Es zeigt sich, dass etwa zwei Drittel der Gebäude in der zweiten Heizperiode einen geringeren Heizwärmeverbrauch (aus Messdaten der Kernheizzeit) aufweisen. Die bei der Optimierung erreichte Energieeinsparung wird in der Grafik sichtbar.

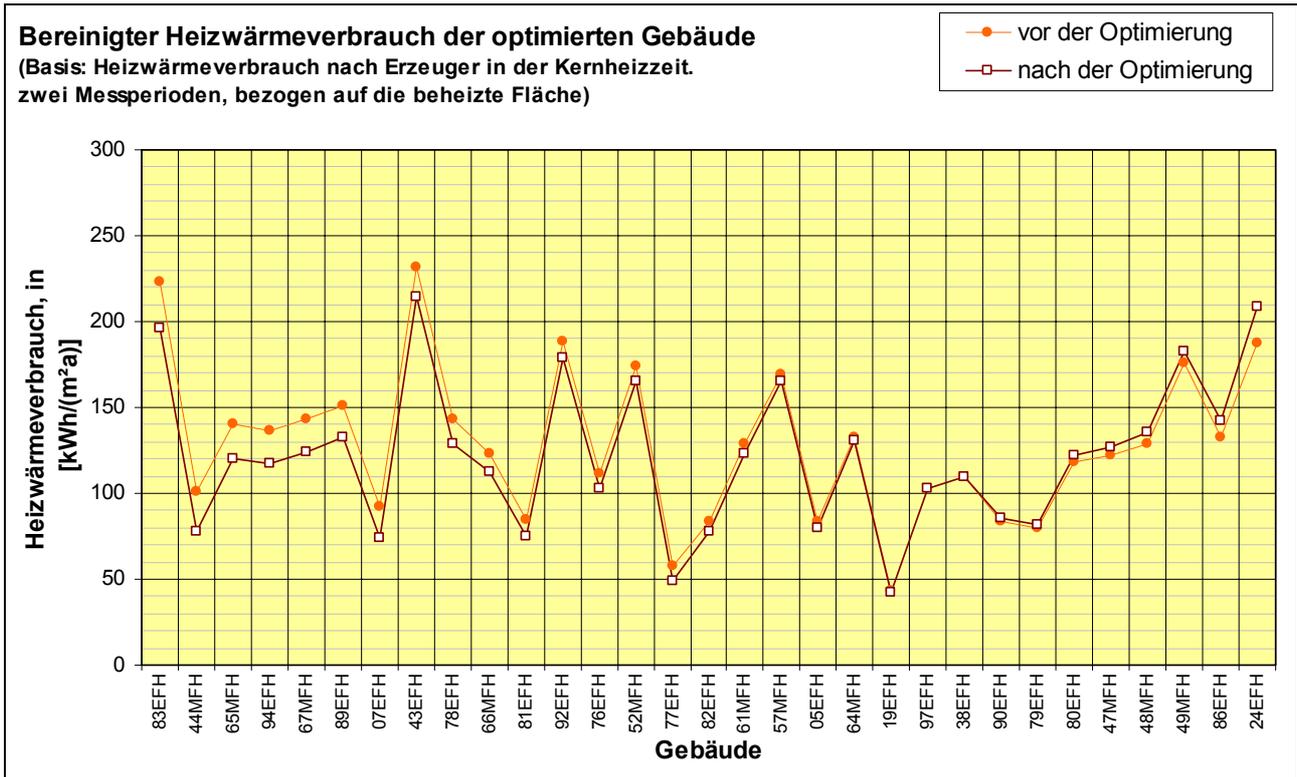


Bild 116 Bereinigter Heizwärmeverbrauch der optimierten Gebäude (Kernheizzeit)

Bild 117 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Auch hier sind Verbrauchsveränderungen sichtbar. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten des Verbrauchs angezeigt. Bis auf wenige Ausnahmen ergibt sich eine nur sehr geringe Streuung. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

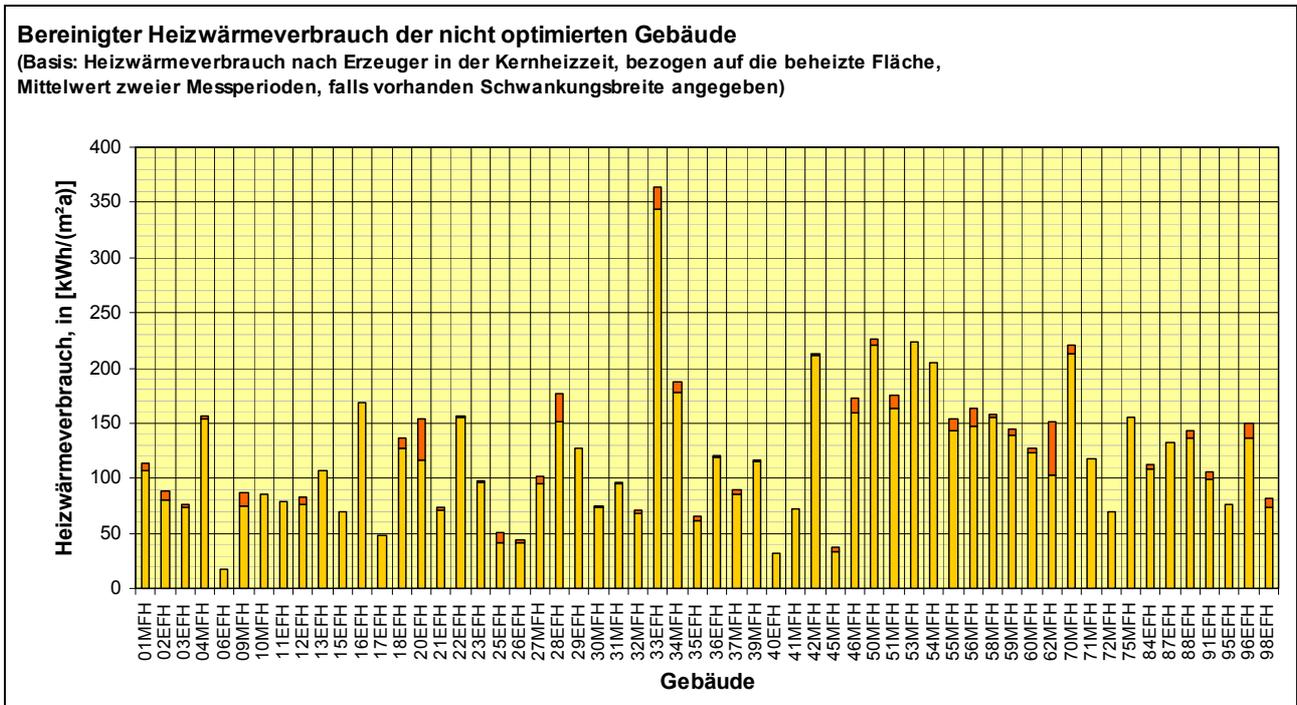


Bild 117 Bereinigter Heizwärmeverbrauch der nicht optimierten Gebäude (Kernheizzeit)

Bei den Gebäuden, die eine stärkere Veränderung des Verbrauchs in den beiden Perioden aufweisen (z.B. 20EFH, 62MFH) ist auf unterschiedliches Heizverhalten der Nutzer zu schließen. Bauliche und anlagentechnische Veränderungen sind nicht vorgenommen worden.

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 31 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Heizwärmeverbrauchswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Messwerte der Kernheizzeit), in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		128	88
alle	bis 1977	155	46
	1978 bis 1994	115	20
	ab 1995	89	22
EFH	bis 1977	142	25
	1978 bis 1994	109	9
	ab 1995	78	14
	alle	116	48
MFH	bis 1977	158	21
	1978 bis 1994	116	11
	ab 1995	92	8
	alle	130	40

Tabelle 31 Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Kernheizzeit)

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizwärmeverbrauchs von 155 ... 115 ... 89 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Die Einfamilienhäuser weisen in allen Altersklassen einen geringeren bezogenen Heizwärmeverbrauch als die Mehrfamilienhäuser auf. Dies ist zunächst verwunderlich, weil es aufgrund der geringeren Gebäudekompaktheit gegenüber den MFH gerade anders zu erwarten wäre. Diese Tatsache wird auf das Nutzerverhalten zurückgeführt, d.h. größere Anteile unbeheizter oder gering beheizter Flächen bei den EFH wegen der geringeren Personenbelegung. Dieser Effekt macht sich vor allem in der Kernheizzeit bemerkbar.

9.1.3 Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten

Für die energetisch auswertbaren Gebäude (88) wurde der Heizwärmeverbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Maßgeblich für die Kennwerte in diesem Abschnitt sind die Messwerte der gesamten Heizzeit, u.U. auch Anteile der Sommerheizung (daher Jahresmesswerte genannt). Diese Messwerte sind mit den Heizgradtagen auf ein Standardjahr bereinigt. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnten in jeder der beiden Heizperioden (in der Mehrzahl der Gebäude handelt es sich um die Winterperioden 2002/2003 und 2003/2004) Heizwärmeverbrauchswerte bestimmt werden. Daher ergibt sich für jedes Gebäude ein bereinigter Heizwärmeverbrauch in der ersten und in der zweiten Messperiode. Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigt Bild 118. Der Verlauf ähnelt der Auswertung der Messwerte in der Kernheizzeit (Abschnitt 9.1.2). Etwa zwei Drittel der Gebäude weisen in der zweiten Heizperiode einen geringeren Heizwärmeverbrauch (aus Jahresmesswerten) auf. Die bei der Optimierung erreichte Energieeinsparung wird in der Grafik sichtbar.

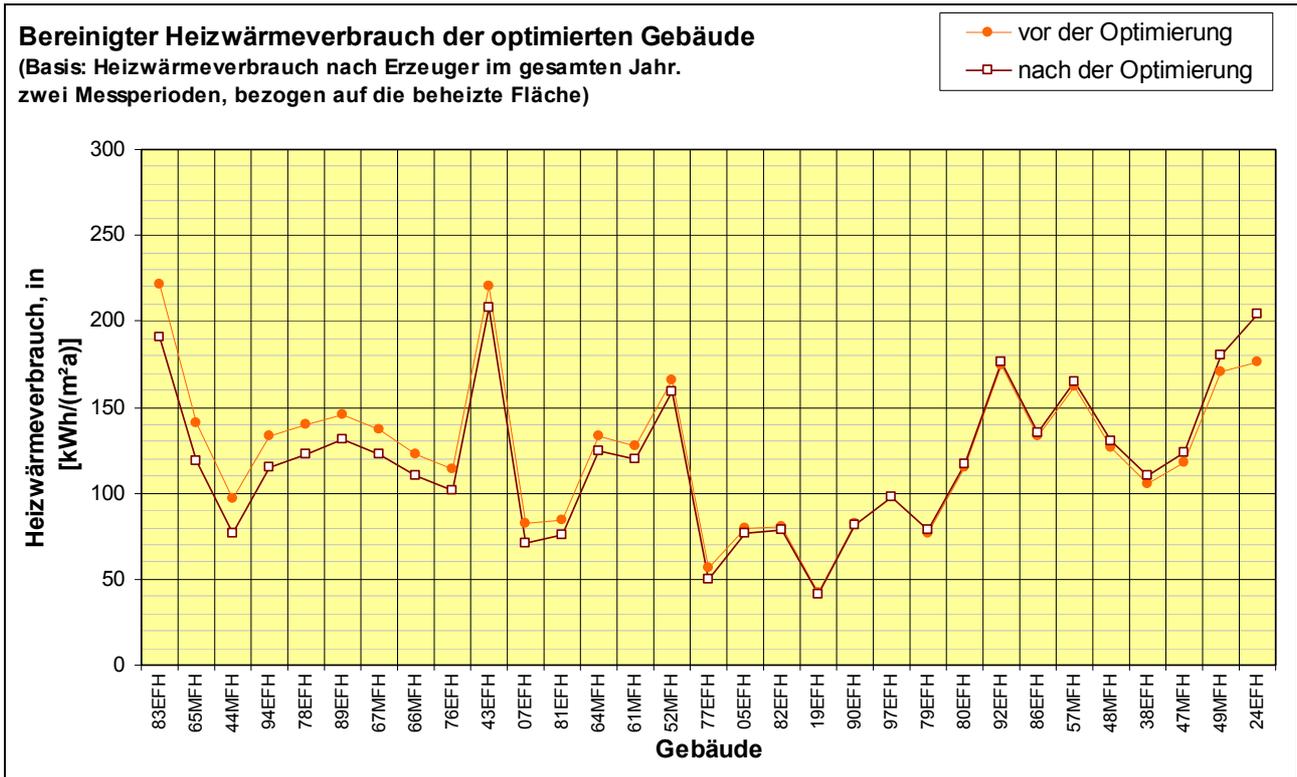


Bild 118 Bereinigter Heizwärmeverbrauch der optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Bild 119 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Auch hier sind Verbrauchsveränderungen sichtbar. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten des Verbrauchs angezeigt. Bis auf wenige Ausnahmen ergibt sich eine nur sehr geringe Streuung. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

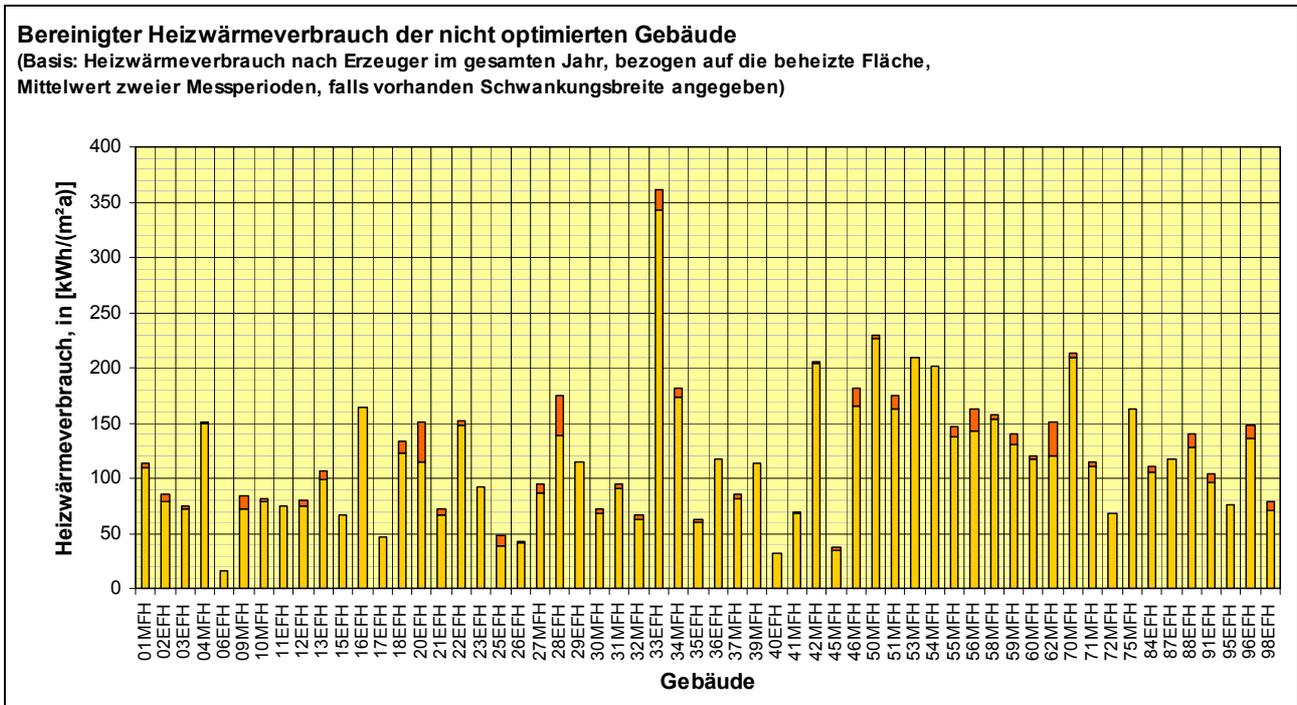


Bild 119 Bereinigter Heizwärmeverbrauch der nicht optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 32 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Heizwärmeverbrauchswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m ² a)]	Zahl
alle		125	88
alle	bis 1977	151	46
	1978 bis 1994	114	20
	ab 1995	88	22
EFH	bis 1977	138	25
	1978 bis 1994	104	9
	ab 1995	76	14
	alle	112	48
MFH	bis 1977	154	21
	1978 bis 1994	115	11
	ab 1995	91	8
	alle	128	40
Fernwärme	bis 1977	143	14
	1978 bis 1994	100	9
	ab 1995	80	9
	alle	108	32
Gas/Ölkessel	bis 1977	155	32
	1978 bis 1994	129	11
	ab 1995	98	13
	alle	138	56

Tabelle 32 Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Jahresmesswerte)

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizwärmeverbrauchs von 151 ... 114 ... 88 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Verglichen mit den Kennwerten der Kernheizzeit (Tabelle 31) sind folgende Tendenzen sichtbar:

- Der bereinigte Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten ist geringer als der Heizwärmeverbrauch aus Messwerten der Kernheizzeit. Dies ist auf die in den Übergangszeiten verstärkt anfallenden Fremdwärmemengen zurückzuführen.
- Der Effekt der Verminderung beträgt bei den EFH etwa 4 kWh/(m²a) und bei den MFH etwa 2 kWh/(m²a).

Die Einfamilienhäuser weisen in allen Altersklassen einen geringeren bezogenen Heizwärmeverbrauch als die Mehrfamilienhäuser auf. Dies ist auf ein sparsameres Nutzerverhalten zurückzuführen. Denn insgesamt weist die Gruppe der EFH mit 1,94 W/(m²K) einen höheren theoretischen Kennwert $U_m \cdot A/A_{EB}$ (vergleiche Abschnitt 10.3.1) auf als die Gruppe der MFH mit 1,83 W/(m²K).

Die mit Fernwärme versorgten Gebäude weisen insgesamt einen geringeren Heizwärmeverbrauch auf. Gründe hierfür wurden nicht detailliert untersucht. Die Gebäudeaufnahme ergab jedoch als Erklärung u.a. geringere Kompaktheitsgrade A/A_{EB} bzw. bessere U_m -Werte (vergleiche Abschnitt 10.3.1)

9.1.4 Trinkwarmwasserwärmeverbrauch

Für 66 Gebäude, in denen Messwerte der zentralen Trinkwarmwasserbereitung auswertbar waren, wurde der Trinkwasserwärmeverbrauch in der gesamten Messzeit ermittelt. Der auf einen Jahreswert bereinigte Verbrauch wurde für jedes Objekt genau einmal für die gesamte Messzeit bestimmt. Es wurde nicht in optimierte und nicht optimierte Gebäude unterschieden, da das Trinkwassersystem nicht direkt von der Optimierung betroffen ist. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Die Ergebnisse für die Einfamilienhäuser ohne Zirkulation zeigt Bild 120. Die Verbrauchswerte für die Gebäude mit Zirkulation sind in Bild 121 wiedergegeben – sortiert nach Ein- und Mehrfamilienhäusern. Dargestellt sind in beiden Fällen die Messwerte ab Wärmeerzeuger, d.h. die Wärmemenge, die zur Deckung des Trinkwassernutzens als auch der Verteilverluste anfällt.

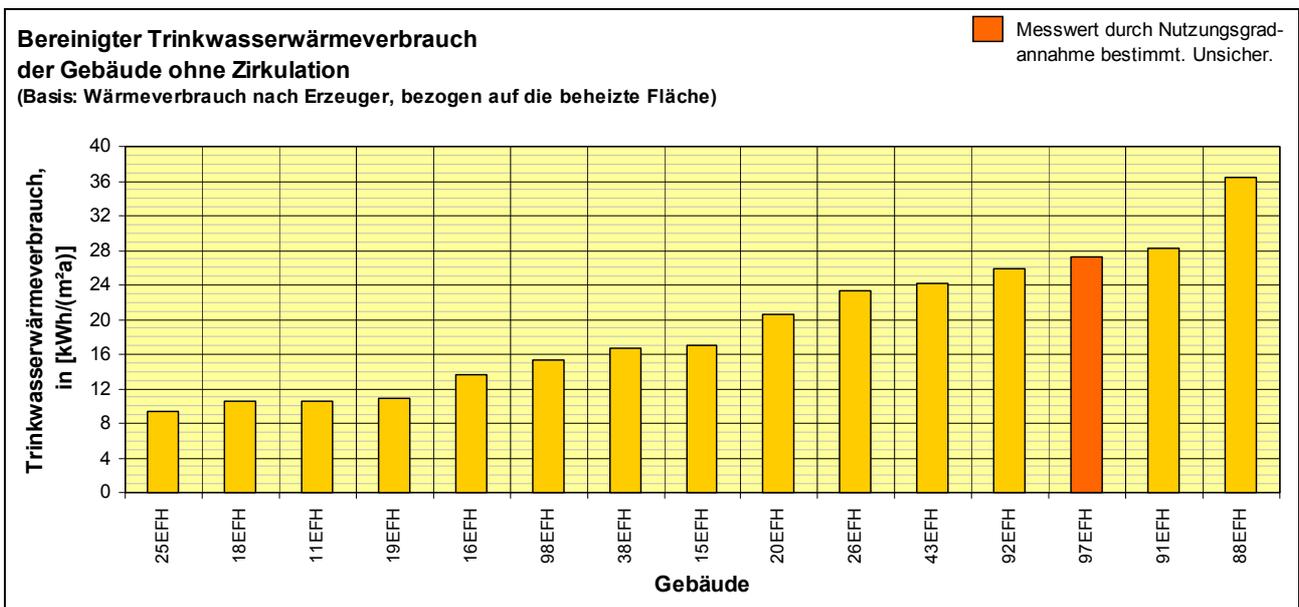


Bild 120 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch der Gebäude ohne Zirkulation (ab Erzeuger)

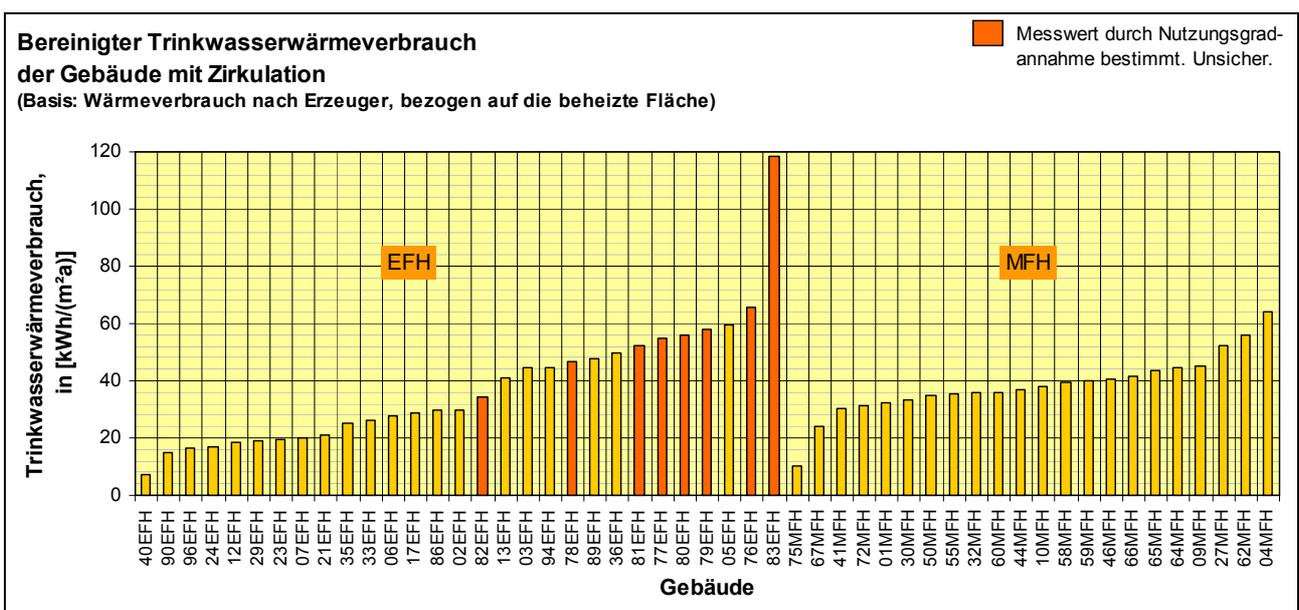


Bild 121 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch der Gebäude mit Zirkulation (ab Erzeuger)

In beiden Fällen ist eine starke Streuung der flächenbezogenen Werte festzustellen. Für das Gebäude 83EFH kann von Messunsicherheiten ausgegangen werden, zumal der dargestellte Wert nicht durch direkte Messung bestimmt werden konnte. In den dunkler (rot) gekennzeichneten Gebäuden waren nur Gaszähler und Heizwärmeverbrauchsähler vorhanden. Der Anteil der Trinkwasserwärme konnte erst bestimmt werden, nach dem ein Nutzungsgrad für den Kessel angenommen wurde.

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 33 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe des absoluten Trinkwasserwärmeverbrauchs bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Fläche.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch (ab Wärmeerzeuger), in [kWh/(m ² a)]	Zahl
alle		35	57
alle	bis 1977	37	20
	1978 bis 1994	37	17
	ab 1995	33	20
EFH	bis 1977	25	14
	1978 bis 1994	25	8
	ab 1995	26	13
	mit Zirkulation	29	21
	ohne Zirkulation	18	14
	alle	25	35
MFH	bis 1977	42	6
	1978 bis 1994	39	9
	ab 1995	35	7
	alle	38	22
Fernwärme	EFH	29	12
	MFH	40	10
	alle	38	22
Gas/Ölkessel	EFH	23	23
	MFH	37	12
	alle	34	35

Tabelle 33 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch (ab Wärmeerzeuger)

Die Gruppenbildung ergibt, dass in EFH ein deutlich geringerer Trinkwasserwärmeverbrauch zu verzeichnen ist (25 kWh/m²a) als in MFH (38 kWh/m²a). Dies u.a. ist auf den geringeren Anteil der Gebäude mit Zirkulation bei den EFH und die geringere Belegungsdichte zurückzuführen.

Bei den MFH nimmt der Trinkwasserwärmeverbrauch mit besserem Baustandard ab. Dies kann durch die festgestellte bessere Leitungsdämmung begründet sein. Die Gebäude mit Fernwärme weisen geringfügig höhere Verbrauchswerte auf als die Gebäude mit Kessel.

Bild 122 zeigt zwei Detailauswertungen. Zum einen den flächenbezogenen Trinkwasserwärmeverbrauch für Gebäude mit Zirkulation (EFH, MFH) und ohne Zirkulation (nur EFH). Hier ist deutlich zu sehen, dass der Zirkulationseinfluss etwa 11 kWh/(m²a) für die EFH beträgt.

Die im Bild dargestellten MFH sind alle mit Zirkulation ausgestattet und können daher nur mit den gleichartig ausgestatteten EFH verglichen werden (Auswertung elektrisch versorgter Gebäude liegen nicht vor). Der flächenbezogene Wärmeverlust ist im MFH größer. Dies wird vor allem auf die höhere Personenbelegung zurückgeführt. Diese Aussage wird von der Darstellung des personenbezogenen Trinkwasserwärmeverbrauchs untermauert. Dort schneiden die MFH besser ab. Aus den Darstellungen kann geschlussfolgert werden, dass die Nutzwärmemenge etwa 600 kWh/(Person · a) beträgt. Damit bestätigen sich Werte aus der Literatur [31].

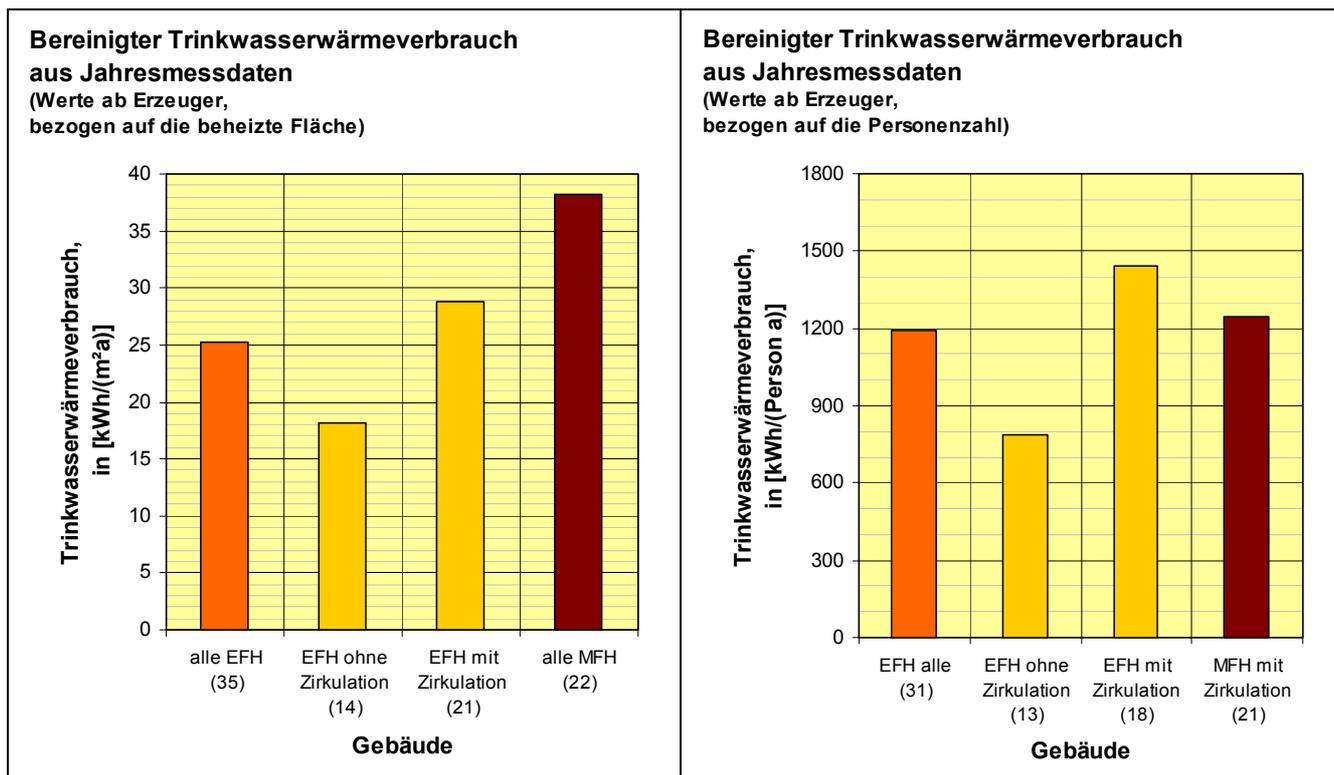


Bild 122 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch in Gebäuden mit und ohne Zirkulation

Im EFH kommen somit zum flächenbezogenen Nutzen von etwa 12 kWh/(m²a) noch einmal Verteilverluste (mit Speicher) von etwa 6 kWh/(m²a) in Netzen ohne Zirkulation oder 17 kWh/(m²a) in Netzen mit Zirkulation hinzu. Der Verteilungsnutzungsgrad liegt entsprechend bei 67 ... 42 %. Im MFH ergibt sich ein flächenbezogener Nutzen von etwa 19 kWh/(m²a). Hinzu kommen weitere etwa 19 kWh/(m²a) als Verteilverluste (mit Speicher), womit der Verteilungsnutzungsgrad bei 50 % liegt.

Primärenergetisch betrachtet liegen zentrale Trinkwasserbereitung und dezentral elektrische Warmwasserbereitung unter diesem Gesichtspunkt sehr nahe beieinander – insbesondere in Gebäuden mit geringer Belegungsdichte und Kesselanlagen (zusätzlich weitere Erzeugungsverluste).

9.1.5 Nutzungsgrade zur Umrechnung von Wärme- in Endenergie

Die Auswertung der Nutzungsgrade erfolgt – soweit vorhanden – anhand von Messwerten, sonst mit Standardwerten. In jedem Fall sind die Ergebnisse bezogen auf den Heizwert H_U . Der Nutzungsgrad wurde für jedes Objekt genau einmal für die gesamte Messzeit bestimmt. Es wurde nicht in optimierte und nicht optimierte Gebäude unterschieden und nur ein Kennwert für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung ermittelt. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für 43 Gebäude mit Kesseln lieferten die Messergebnisse des Gasverbrauchs und des Nutzwärmeverbrauchs ab Erzeuger reale Nutzungsgrade der Geräte. Diese sind in Bild 123 für die EFH und in Bild 124 für die MFH mit den gelben Balken gekennzeichnet.

Für 16 Gebäude mit Kessel konnte kein Nutzungsgrad bestimmt werden, weil entweder keine zugeführte Energiemenge dokumentiert wurde (z.B. Ölkessel) oder nicht alle vom Kessel abgegebenen Energiemengen mit Wärmemengenzähler erfasst wurden. Hier wurden – um überhaupt Auswertungen vornehmen zu können – die Nutzungsgrade anhand der Standardwerte des Hessischen Energiepasses angesetzt [30], [31]. Die Ergebnisse sind in Bild 123 für die EFH und in Bild 124 für die MFH mit den orangenen Balken gekennzeichnet.

Die mit Fernwärme versorgten Gebäude wurden durchgehend nur anhand von Standardkennwerten bewertet. Der angenommenen Nutzungsgrad für die Übergabestation ist ebenfalls dem Hessischen Energiepass [30], [31] entnommen und in den Bildern dunkelrot/braun dargestellt.

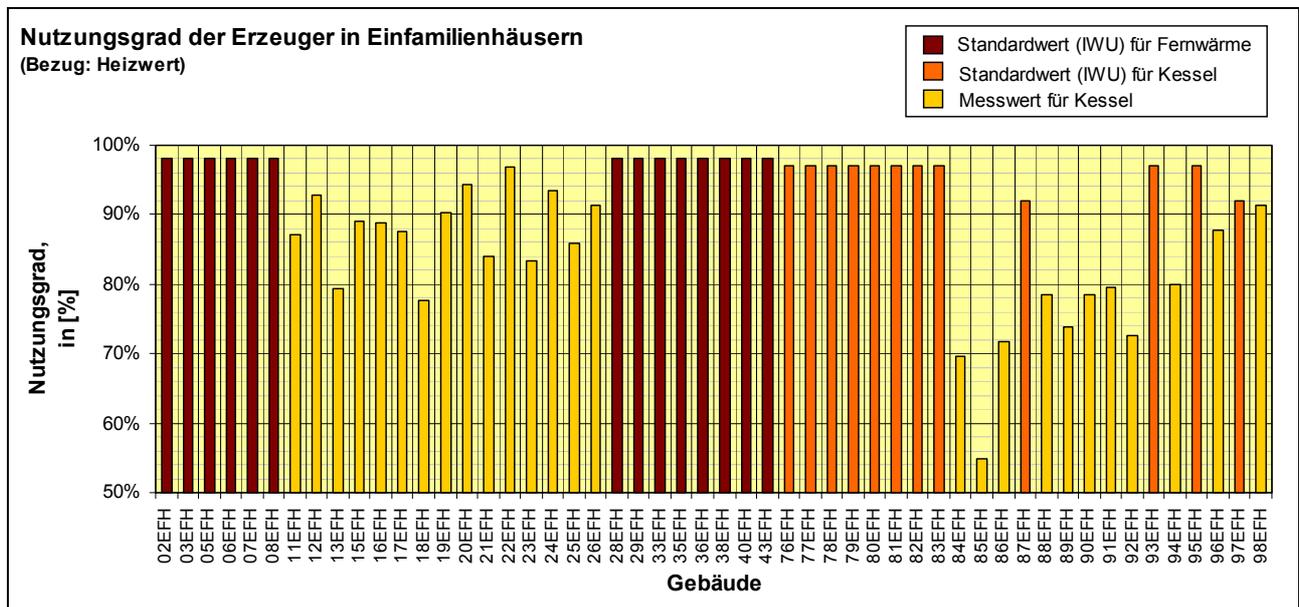


Bild 123 Nutzungsgrade der Erzeuger in Einfamiliengebäuden

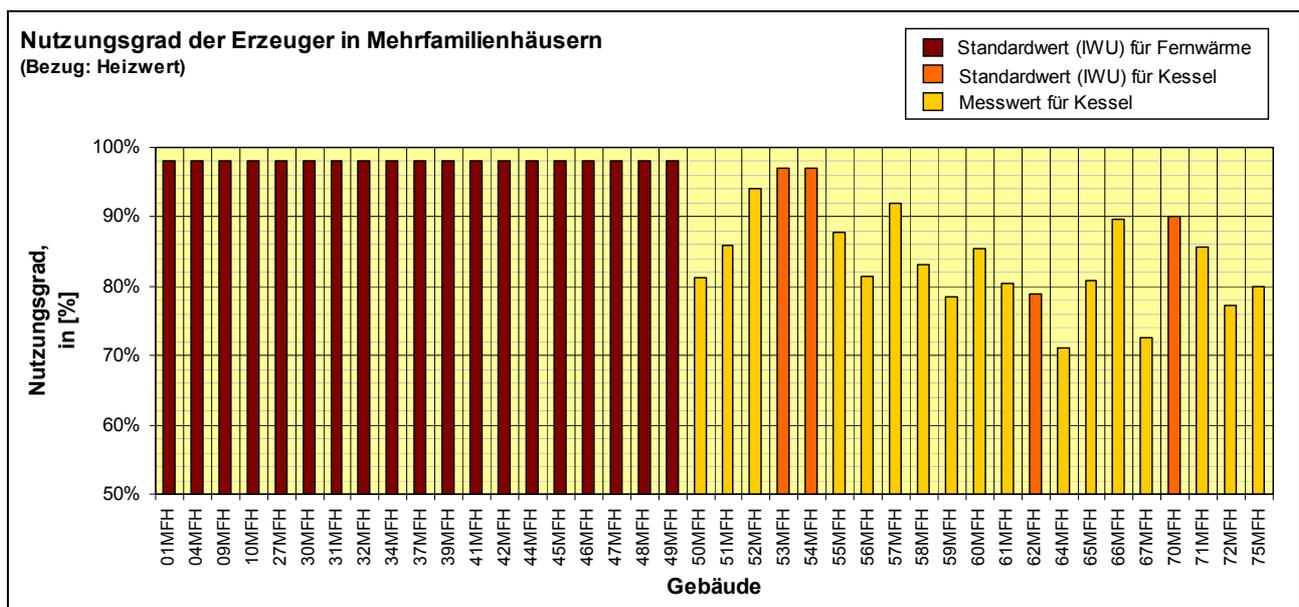


Bild 124 Nutzungsgrade der Erzeuger in Mehrfamiliengebäuden

Für die Anlagen mit Kesseln zeigt sich, dass die real ermittelten Nutzungsgrade im Mittel niedriger liegen als die Standardwerte. Eine Detailuntersuchung der Einzelwerte zeigt Bild 125. Die gemessenen Nutzungsgrade der Kessel sind aufgetragen über dem Kesselbaujahr. Sie schwanken erheblich, jedoch ist die Unterscheidung zwischen Brennwert- und Niedertemperaturkessel gut sichtbar. Die Nutzungsgrade der Brennwertkessel liegen größtenteils oberhalb der Werte für NT-Kessel – im Mittel um 9 Prozentpunkte – besser.

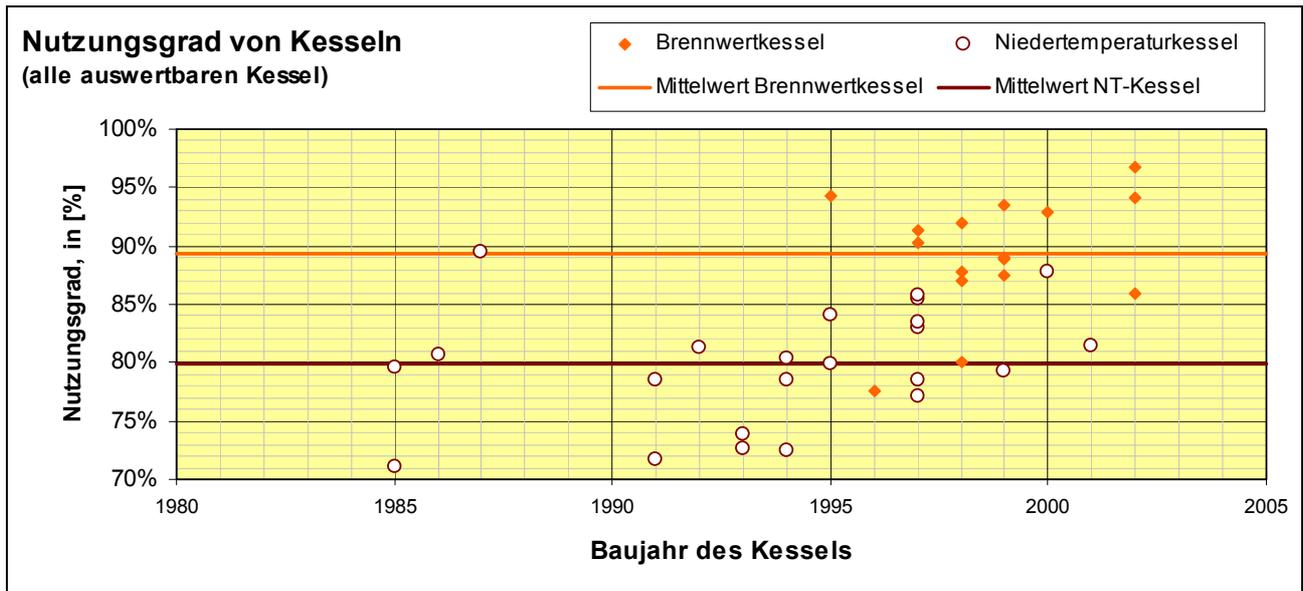


Bild 125 Nutzungsgrad von Kesseln abhängig vom Kesselbaujahr und -typ

Gruppenauswertung

In Tabelle 34 sind die Nutzungsgrade aller untersuchten Brennwert- und Niedertemperaturkessel als Gruppenwerte zusammengefasst. Die Kennwerte sind durch einfache Mittelwertbildung gebildet, d.h. die Summe aller Nutzungsgrade durch die Anzahl der Gebäude.

Art	Nutzungsgrad (Heizwert), in [%]					
	EFH		MFH		Alle	
	Wert	Zahl	Wert	Zahl	Wert	Zahl
Brennwertkessel	90 %	12	88 %	4	89 %	16
Niedertemperaturkessel	78 %	10	81 %	13	80 %	23

Tabelle 34 Nutzungsgrade von Kesseln

Die im Feld in durchschnittlichen Anlagen und Gebäuden ermittelten Nutzungsgrade liegen deutlich unter Standardwerten. Insbesondere die Anlagen mit Brennwertkessel weisen mit 89 % Nutzungsgrad große Abweichungen gegenüber den erreichbaren Prüfstandswerten auf.

Der Unterschied von Brennwertkesseln zu Niedertemperaturkesseln ist im EFH deutlich besser zu erkennen (90 % \leftrightarrow 78 %). Im MFH unterscheiden sich die beiden Technologien nur um 9 Prozentpunkte (89 % \leftrightarrow 80 %).

Eine detaillierte Untersuchung der Nutzungsgrade erfolgte im Rahmen des OPTIMUS-Projekts nicht. Hier wird auf andere Projekte, z.B. das ebenfalls von der DBU geförderte Projekt "Brennwertkessel im Feld" (Brennwertkessel in EFH) verwiesen [1].

9.1.6 Heizenergieverbrauch

Der Heizenergieverbrauch konnte für 88 Gebäude ermittelt werden. Er umfasst den Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten nach Abschnitt 9.1.3 sowie den Nutzungsgrad des Erzeugers nach Abschnitt 9.1.5. Der Heizenergieverbrauch ist somit die bereinigte Wärmeenergie, die dem Gebäude zum Zwecke der Beheizung zugeführt werden muss. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für alle optimierten Gebäude wurde der Heizenergieverbrauch vor und nach der Optimierung bestimmt. Die Ergebnisse des bereinigten Heizenergieverbrauchs in der ersten und in der zweiten Messperiode für die optimierten Gebäude zeigt Bild 126. Der Verlauf ähnelt der Auswertung des Heizwärmeverbrauchs (Abschnitt 9.1.3). Etwa zwei Drittel der Gebäude weisen in der zweiten Heizperiode einen geringeren Heizenergieverbrauch auf. Die bei der Optimierung erreichte Energieeinsparung wird in der Grafik sichtbar.

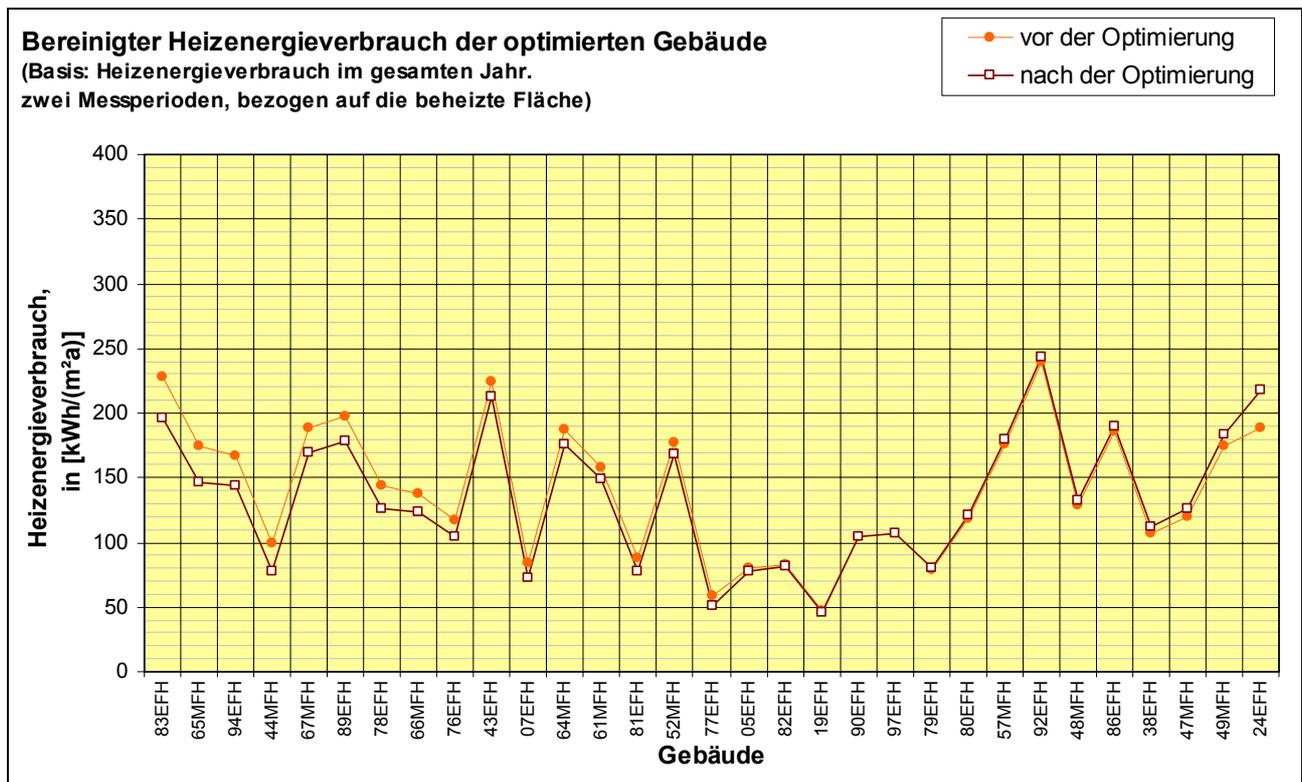


Bild 126 Bereinigter Heizenergieverbrauch der optimierten Gebäude (Jahreswerte)

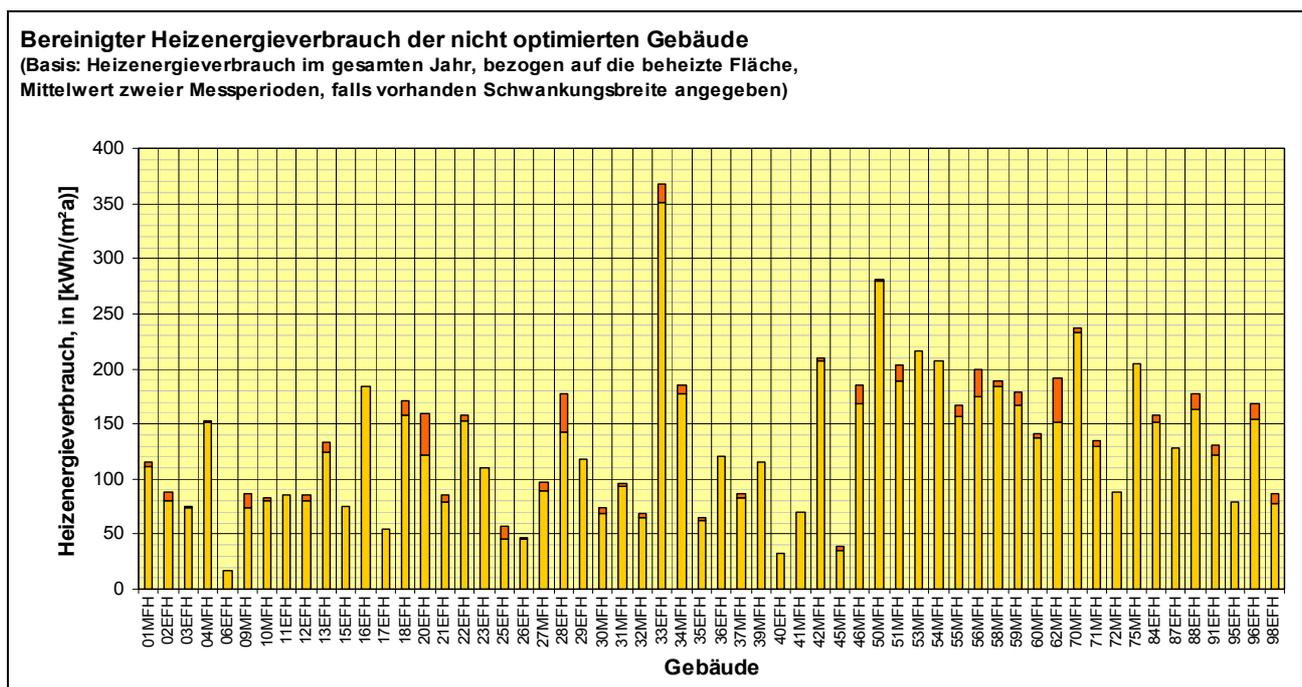


Bild 127 Bereinigter Heizenergieverbrauch der nicht optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Bild 127 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Auch hier sind Verbrauchsveränderungen sichtbar. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten des Verbrauchs angezeigt. Bis auf wenige Ausnahmen ergibt sich eine nur sehr geringe Streuung. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 35 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Heizenergieverbrauchswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Heizenergieverbrauch, in [kWh/(m ² a)]	Zahl
alle		140	88
alle	bis 1977	168	46
	1978 bis 1994	130	20
	ab 1995	98	22
EFH	bis 1977	151	25
	1978 bis 1994	128	9
	ab 1995	87	14
	alle	127	48
MFH	bis 1977	172	21
	1978 bis 1994	131	11
	ab 1995	101	8
	alle	143	40
Fernwärme	bis 1977	146	14
	1978 bis 1994	102	9
	ab 1995	82	9
	alle	110	32
Gas/Ölkessel	bis 1977	178	32
	1978 bis 1994	161	11
	ab 1995	121	13
	alle	164	56

Tabelle 35 Bereinigter Heizenergieverbrauch nach mehreren Kriterien

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizenergieverbrauchs von 168 ... 130 ... 98 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards.

Die Einfamilienhäuser weisen in allen Altersklassen einen geringeren bezogenen Heizenergieverbrauch als die Mehrfamilienhäuser auf. Dies ist auf ein sparsameres Nutzerverhalten zurückzuführen. Denn insgesamt weist die Gruppe der EFH mit 1,94 W/(m²K) einen höheren theoretischen Kennwert $U_m \cdot A/A_{EB}$ (vergleiche Abschnitt 10.3.1) auf als die Gruppe der MFH mit 1,83 W/(m²K).

Die mit Fernwärme versorgten Gebäude weisen insgesamt einen geringeren Heizenergieverbrauch auf. Zum einen liegt dies am geringeren Heizwärmeverbrauch (vergleiche Abschnitt 9.1.3) zum anderen an den im Mittel besseren Nutzungsgraden der Erzeuger (vergleiche Abschnitt 9.1.5). Der Einfluss einer eventuell besseren Anlagenplanung auf den Verbrauch wurde nicht untersucht.

9.1.7 Endenergieverbrauch der Wärmeenergien

Der Endenergieverbrauch der Wärmeenergie, d.h. der Endenergieverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung konnte für 65 Gebäude ermittelt werden. Er umfasst den Heizwärmeverbrauch aus Jahresmesswerten nach Abschnitt 9.1.3, den Trinkwasserwärmeverbrauch nach Abschnitt 9.1.4 sowie den Nutzungsgrad des Erzeugers nach Abschnitt 9.1.5.

Der Endenergieverbrauch der Wärmeenergien wurde nur für Gebäude ermittelt, in denen alle 3 genannten Einzelkennwerte vorlagen. In den anderen Gebäuden lag kein Trinkwasserwärmeverbrauch vor, weil dezentrale Trinkwasserbereitung erfolgt oder bei zentraler Trinkwasserversorgung keine entsprechenden Zähler installiert waren.

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für alle optimierten Gebäude wurde der Endenergieverbrauch vor und nach der Optimierung bestimmt. Die Ergebnisse für die beiden Messperioden zeigt Bild 128.

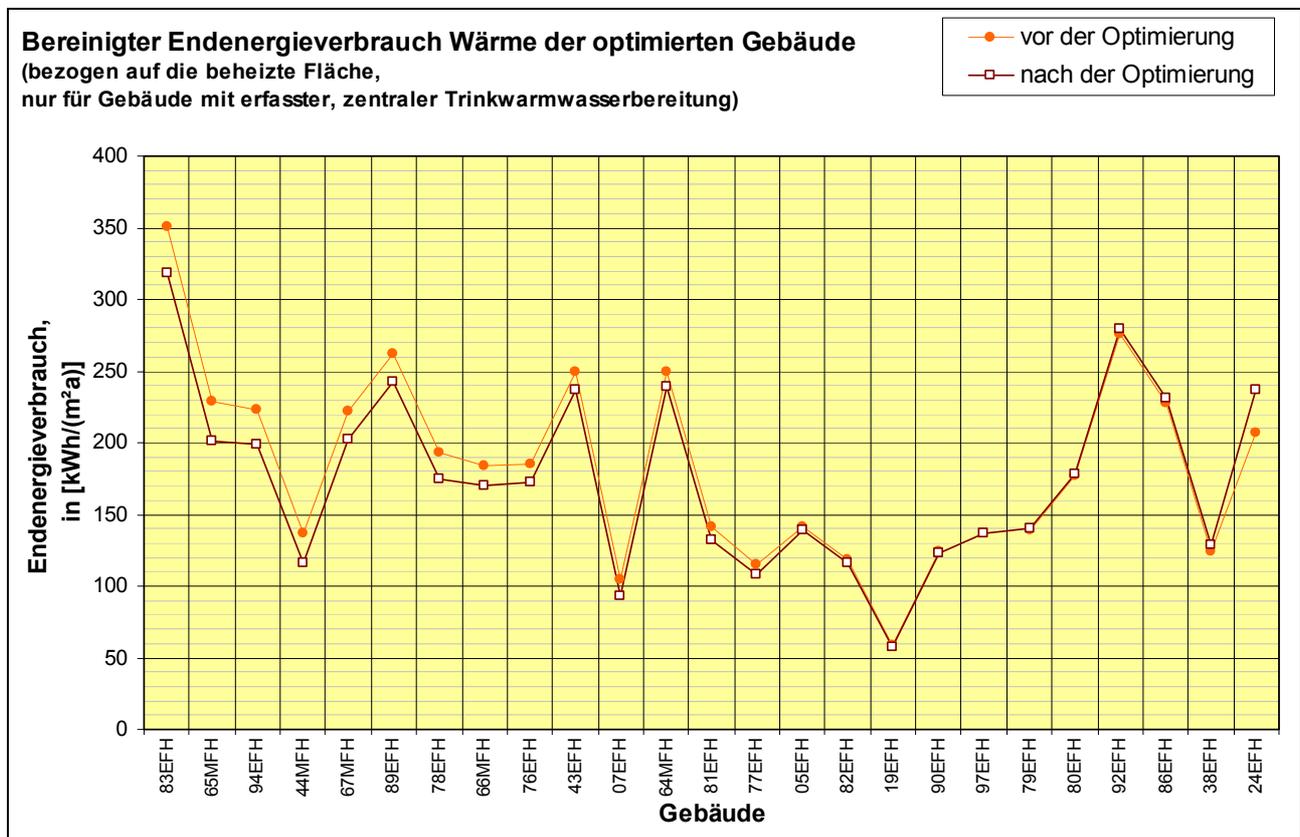


Bild 128 Bereinigter Endenergieverbrauch der optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Der Verlauf ähnelt der Auswertung des Heizenergieverbrauchs (Abschnitt 9.1.6). Etwa zwei Drittel der optimierten Gebäude weisen in der zweiten Heizperiode einen geringeren Endenergieverbrauch auf. Die bei der Optimierung erreichte Energieeinsparung wird in der Grafik sichtbar. Bild 129 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

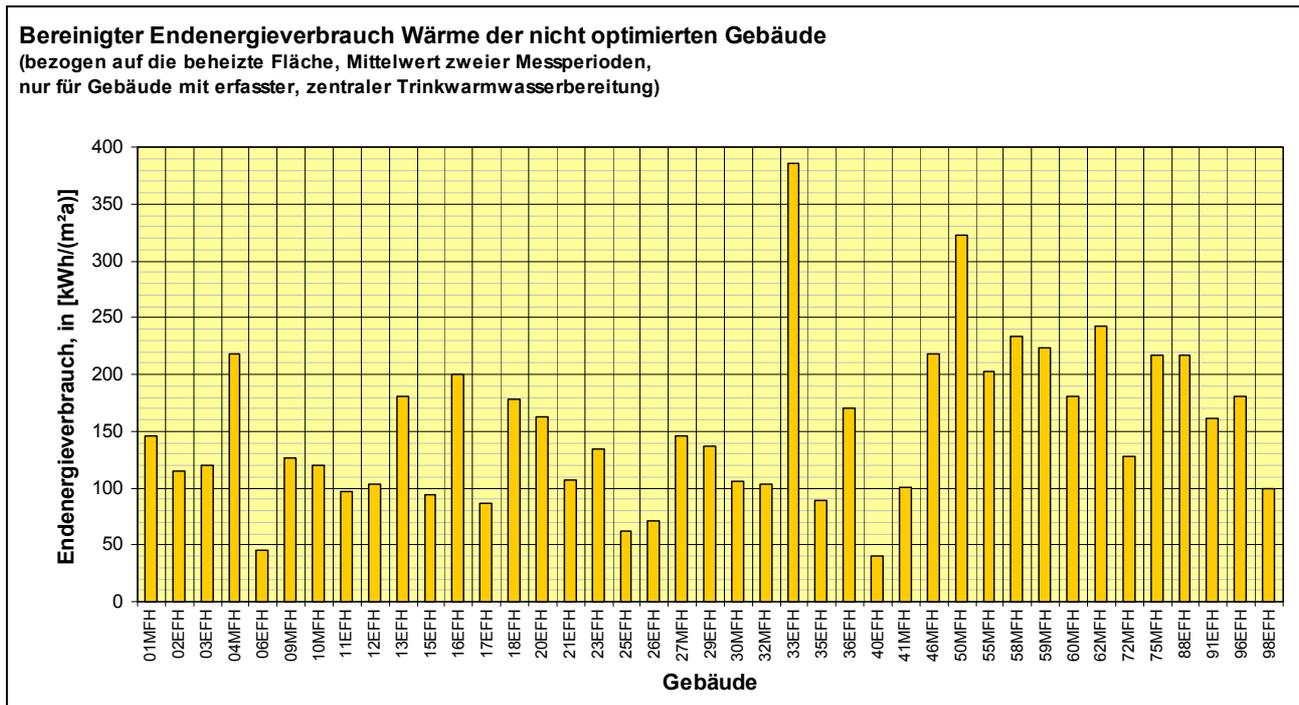


Bild 129 Bereinigter Endenergieverbrauch der nicht optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 36 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Endenergieverbrauchswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Endenergieverbrauch, in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		175	65
alle	bis 1977	214	28
	1978 bis 1994	176	17
	ab 1995	140	20
EFH	bis 1977	184	22
	1978 bis 1994	159	8
	ab 1995	117	13
	alle	157	43
MFH	bis 1977	233	6
	1978 bis 1994	179	9
	ab 1995	147	7
	alle	180	22
Fernwärme	EFH	160	12
	MFH	139	10
	alle	143	22
Gas/Ölkessel	EFH	155	31
	MFH	213	12
	alle	197	43

Tabelle 36 Bereinigter Endenergieverbrauch für Wärmeenergien (Jahreswerte)

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizenergieverbrauchs von 214 ... 176 ... 140 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Vereinfacht heißt dies, dass zwischen Gebäuden im Bestand und der neuesten Baualtersklasse der Faktor 1,5 liegt. Der Mittelwert aller untersuchten Gebäude liegt bei 175 kWh/(m²a).

Damit ist das typische untersuchte Gebäude ein "18-Liter-Haus" zusammen für Raumheizung und Trinkwarmwasser.

Die Einfamilienhäuser weisen in allen Altersklassen einen geringeren bezogenen Endenergieverbrauch als die Mehrfamilienhäuser auf. Dies ist auf ein sparsameres Nutzerverhalten in der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung (mit geringerer Belegungsdichte, nicht beheizten Räumen usw.) zurückzuführen.

9.1.8 Hilfsenergieverbrauch

Für 80 auswertbare Gebäude wurde der Hilfsenergieverbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Maßgeblich für die Kennwerte in diesem Abschnitt sind die Messwerte des gesamten Jahres. Diese Messwerte sind mit den Heiztagen auf ein Standardjahr bereinigt. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnten in jeder der beiden Heizperioden (in der Mehrzahl der Gebäude handelt es sich um die Jahre 2002/2003 und 2003/2004) Hilfsenergieverbrauchswerte bestimmt werden. Daher ergibt sich für jedes Gebäude ein bereinigter Hilfsenergieverbrauch in der ersten und in der zweiten Messperiode. Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigt Bild 130. Die Mehrzahl der Gebäude weist in der zweiten Heizperiode einen geringeren Hilfsenergieverbrauch auf. Die bei der Optimierung erreichte Energieeinsparung wird in der Grafik sichtbar.

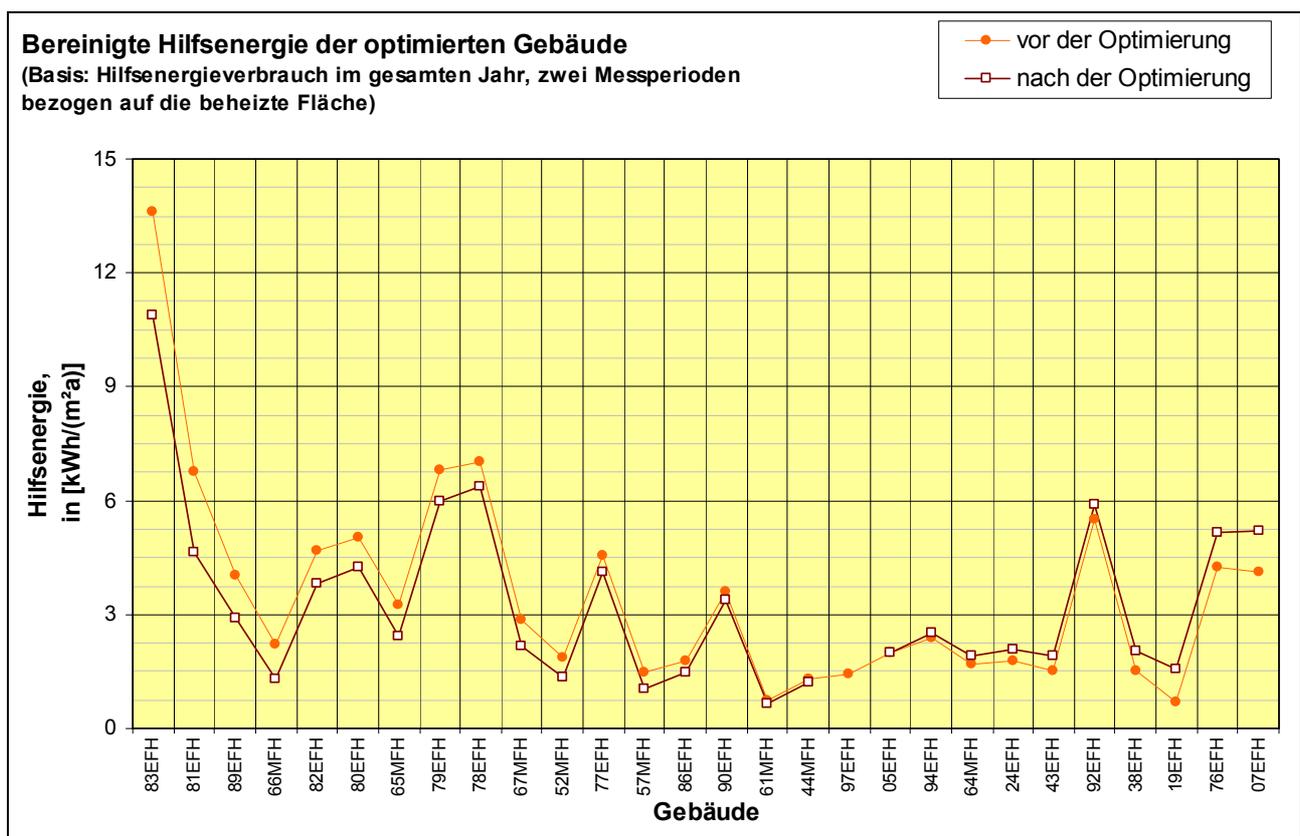


Bild 130 Bereinigter Hilfsenergieverbrauch der optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Bild 131 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Auch hier sind Verbrauchsveränderungen sichtbar. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten des Verbrauchs angezeigt. Die Streuung ist teilweise recht erheblich. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

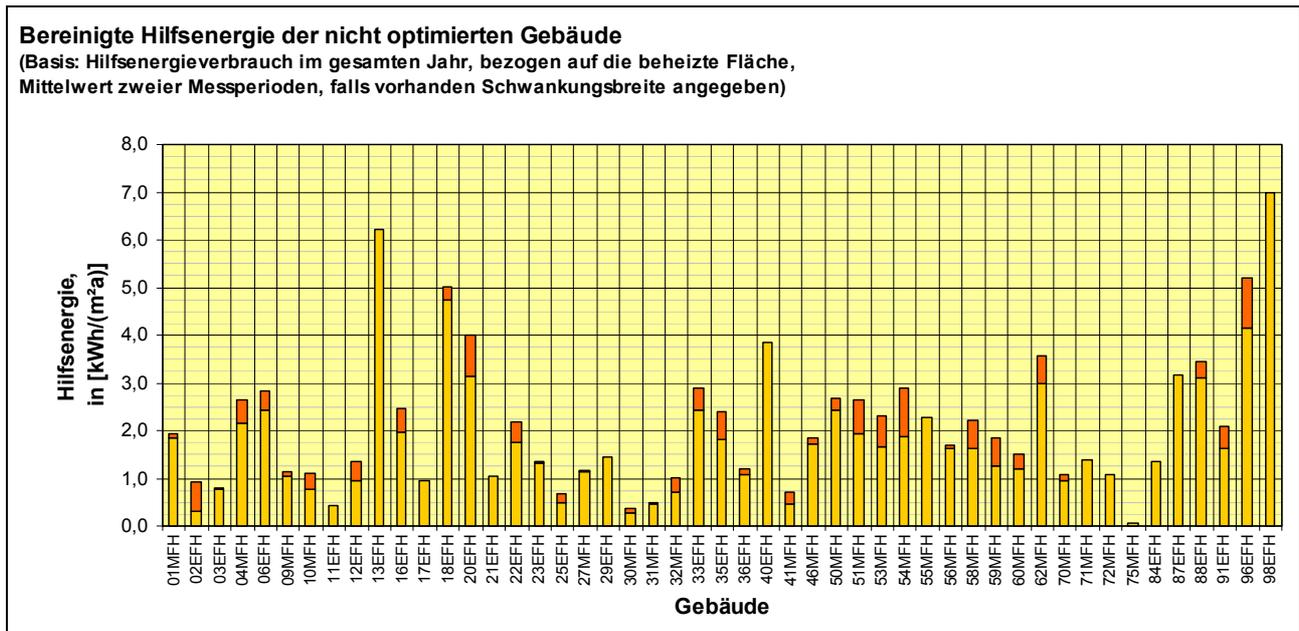


Bild 131 Bereinigter Hilfsenergieverbrauch der nicht optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 37 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Hilfsenergieverbrauchswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium 1	Kriterium 2	Bereinigter Hilfsenergieverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		1,8	80
alle	bis 1977	2,0	41
	1978 bis 1994	2,0	18
	ab 1995	1,4	21
EFH	bis 1977	2,8	25
	1978 bis 1994	3,1	9
	ab 1995	3,2	14
	alle	3,0	48
MFH	bis 1977	1,8	16
	1978 bis 1994	1,8	9
	ab 1995	0,9	7
	alle	1,6	32

Tabelle 37 Bereinigter Hilfsenergieverbrauch (Jahresmesswerte)

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters ergibt, dass der Hilfsenergiebedarf in neuen Gebäuden insgesamt deutlich geringer ist als in Gebäuden mit Baujahren vor 1995. Diese Gesamttendenz wird allerdings durch die MFH begründet. In den EFH steigt der bezogene Hilfsenergiebedarf in neueren Gebäuden an.

Die EFH haben einen höheren bezogenen Hilfsenergieverbrauch als die MFH. Die Kennwerte sollten jedoch nicht allzu detailliert interpretiert werden, da die jeweils gemessenen Hilfsenergieverbraucher von Gebäude zu Gebäude verschieden waren. In allen Gebäuden sind Umwälzpumpen vorhanden, in einzelnen Gebäuden darüber hinaus auch die Regelung, Speicherladepumpen, Zirkulationspumpen – je nach Messsituation vor Ort.

9.2 Einsparung durch Optimierung

Für alle am OPTIMUS-Projekt teilnehmenden Gebäude wird bestimmt, welche Energieeinsparung sich aufgrund der Heizungsanlagenoptimierung ergeben hat. Diese Einsparung wird auf mehreren unterschiedlichen Wegen nachgewiesen:

1. Einzelauswertung

Vergleich der witterungsbereinigten Verbrauchswerte (Heizwärmeverbrauch, Heizenergieverbrauch, Hilfsenergieverbrauch) für die optimierten Gebäude in der Zeit vor der Optimierung mit der Zeit nach der Optimierung. Vorteil dieser Betrachtungsweise ist, dass für die konkreten Gebäude eine eindeutige Energieeinsparaussage getroffen werden kann, die auch Basis für Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist. Nachteil ist, dass Fehler in der Witterungskorrektur sich direkt im Ergebnis niederschlagen und die Aussage in die eine oder andere Richtung verfälschen können.

2. Gruppenauswertung

Vergleich der witterungsbereinigten Energieverbrauchswerte aller optimierten Gebäude mit denen aller nicht optimierten Gebäude. Hier wird gegenüber gestellt, welche Veränderung hat sich im Verbrauch der optimierten Gebäude und welche Veränderung sich bei den nicht optimierten im gleichen Zeitraum ergeben hat. Verglichen werden zwei aufeinander folgende Messperioden (wobei für die optimierten Gebäude die zweite Messperiode dem optimierten Zustand entspricht).

Sinn dieser Auswertung ist es, Fehler aufgrund des Witterungsbereinigungsverfahrens zu minimieren. Es zeigt sich, dass die Verbrauchswerte der nicht optimierten Gebäude in zwei aufeinanderfolgenden Jahren auch nach der Witterungsbereinigung nicht genau gleich sind. Der Fehler in der Witterungskorrektur fälscht natürlich auch die Ergebnisse der optimierten Gebäude. Um diesen Fehler zu vermeiden bzw. zu minimieren, werden beide Gruppen von Gebäuden parallel betrachtet. Nachteil hier ist, dass dieses Ergebnis nur für das gesamte Projekt, nicht jedoch für einzelne Gebäude ausweisbar ist.

Die erreichten Einsparungen werden nachfolgend tabellarisch und grafisch aufbereitet angegeben.

9.2.1 Energieeinsparung Heizwärme

Auswertung der Einzelgebäude

Die Auswertung der Einzelgebäude befindet sich in den Abschnitten 9.1.2 (Auswertung der Messwerte der Kernheizzeit) und 9.1.3 (Auswertung von Jahresmesswerten). Bild 116 (für die Kernheizzeit) und Bild 118 (Jahresmesswerte) zeigen, dass die Mehrzahl der 31 optimierten Gebäude in der zweiten Heizperiode einen verminderten Heizwärmeverbrauch aufweist.

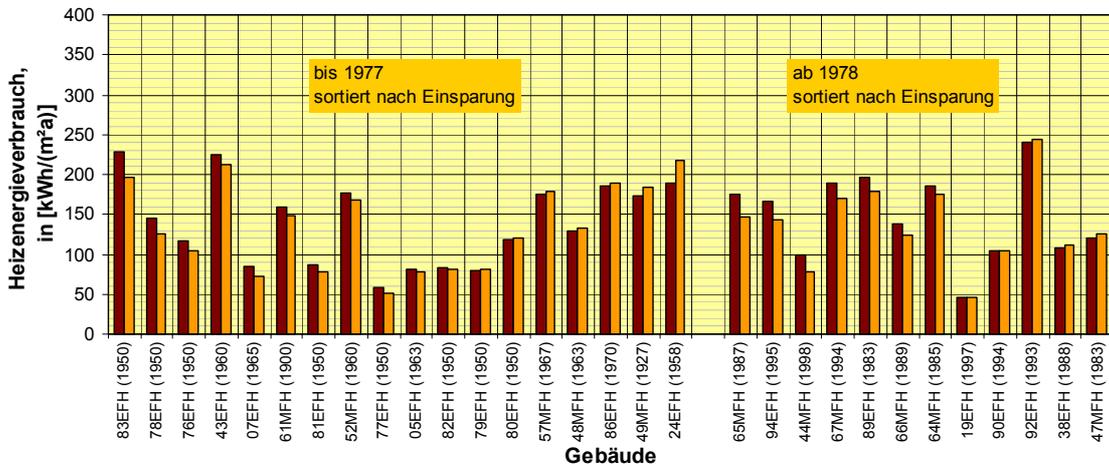
Die Detailbetrachtung der Gebäude zeigt, dass in jeder Rubrik (optimierte und nicht optimierte, Baujahre vor und nach 1978) Mehr- und Minderverbräuche festzustellen sind.

Von den optimierten Gebäuden bis 1977 verbrauchen 11 weniger und 7 mehr nach der Optimierung. Im Mittel ergibt sich keine nachweisbare Einsparung. Unter den optimierten Gebäuden nach 1978 sind 9 Wenigerverbraucher und 3 Mehrverbraucher. Insgesamt ergibt sich eine deutlich sichtbare Einsparung.

Bei den nicht optimierten Gebäuden beider Altersklassen (vor und ab 1978) sieht die Verteilung wie folgt aus: 10 Minder- und 13 Mehrverbraucher bei den alten Gebäuden sowie 10 Minder- und 12 Mehrverbraucher bei den neuen Gebäuden. Im Mittel gleichen sich die Mehr- und Minderverbraucher aus.

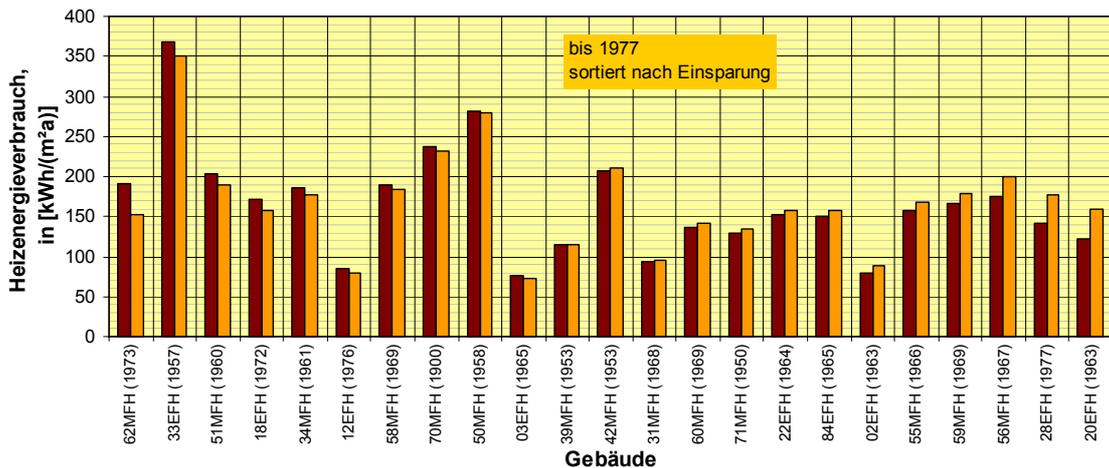
Bereinigter Heizenergieverbrauch der optimierten Gebäude
 (Basis: Heizenergieverbrauch im gesamten Jahr.
 zwei Messperioden, bezogen auf die beheizte Fläche)

■ vor der Optimierung
 ■ nach der Optimierung



Bereinigter Heizenergieverbrauch der nicht optimierten Gebäude
 (Basis: Heizenergieverbrauch im gesamten Jahr.
 zwei Messperioden, bezogen auf die beheizte Fläche)

■ erste Messperiode
 ■ zweite Messperiode



Bereinigter Heizenergieverbrauch der nicht optimierten Gebäude
 (Basis: Heizenergieverbrauch im gesamten Jahr.
 zwei Messperioden, bezogen auf die beheizte Fläche)

■ erste Messperiode
 ■ zweite Messperiode

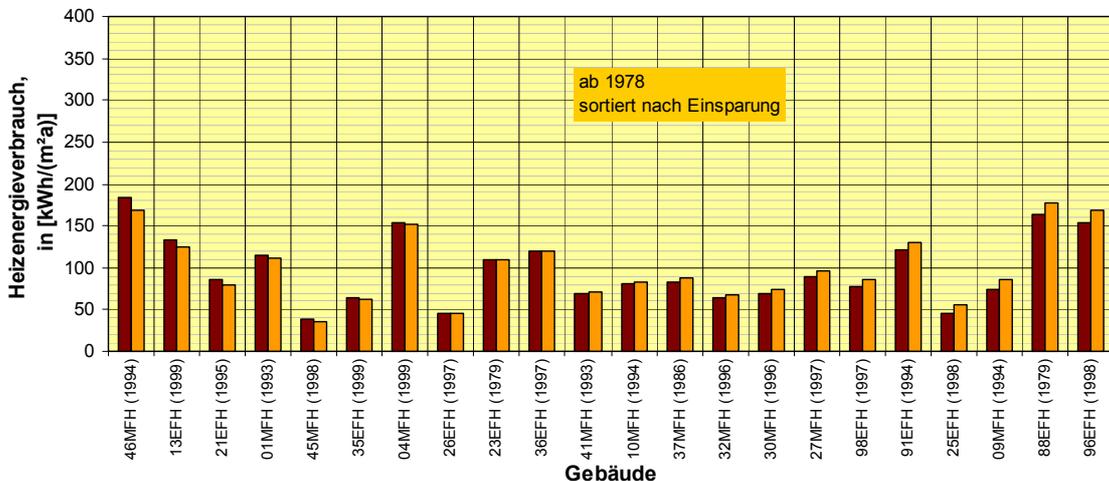


Bild 132 Bereinigter Heizwärmeverbrauchs der optimierten und nicht optimierten Gebäude

Gruppenauswertung

Die Verminderung des Heizwärmeverbrauchs (nur Jahresmesswerte) für verschiedene Gruppen von Gebäuden zeigt Tabelle 38. Es sind jeweils die bereinigten Heizwärmeverbräuche für die optimierten und die nicht optimierten Gebäude getrennt angegeben. Bild 133 zeigt die wichtigsten Ergebnisse zudem noch einmal graphisch. In die Betrachtung sind nur Gebäude einbezogen, für die in beiden Messperioden Heizwärmeverbrauchswerte verfügbar sind.

Kriterium	Status	Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m ² a)]			Zahl
		Messperiode I	Messperiode II	Differenz	
alle	optimiert	129	121	-7,9	30
	nicht optimiert	122	121	-0,8	45
EFH	optimiert	118	115	-3,4	19
	nicht optimiert	122	125	+2,8	20
MFH	optimiert	132	123	-9,2	11
	nicht optimiert	122	121	-1,4	25
Fernwärme	optimiert	118	113	-5,0	8
	nicht optimiert	122	121	-0,8	21
Gas/Ölkessel	optimiert	134	125	-9,3	22
	nicht optimiert	107	108	+0,3	26
bis 1977	optimiert	140	139	-0,5	18
	nicht optimiert	151	148	-2,2	23
1978 - 1994	optimiert	129	118	-11,4	9
	nicht optimiert	102	102	-0,5	9
ab 1995	optimiert	96	78	-18,5	4
	nicht optimiert	77	79	+2,1	13
Heizwärme bis 130 kWh/(m ² a)	optimiert	109	101	-7,7	16
	nicht optimiert	151	143	-8,2	14
Heizwärme ab 130 kWh/(m ² a)	optimiert	82	85	3,1	28
	nicht optimiert	174	169	-5,9	17

Tabelle 38 Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Jahresmesswerte) in zwei Messperioden

Das gewählte Bereinigungsverfahren (mit Heizgradtagen und individueller Heizgrenze) führt dazu, dass der bereinigte Heizwärmeverbrauch der 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in beiden Messperioden praktisch gleich ist. Es ergibt sich eine geringe Differenz von unter 1 kWh/(m²a) bezogen auf einen mittleren Jahresnutzwärmeverbrauch von 122 kWh/(m²a), d.h. deutlich unter 1 %. Die 30 auswertbaren optimierten Gebäude weisen mit der gleichen Bereinigungsverfahren einen um 7,9 kWh/(m²a) geringeren bereinigten Heizwärmeverbrauch (aus Jahresmessdaten) auf.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizwärmeeinsparung von 7 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Folgende Detailaussagen lassen sich für die Heizwärmeeinsparung ableiten:

- Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_h = -6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) etwas geringer als in den MFH ($\Delta q_h = -8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_h = -18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_h = -9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$). In der ältesten Baualtersklasse sind im Mittel überraschend keine Einsparungen nachweisbar ($\Delta q_h = 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_h = -11 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_h = -2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden mit Kessel ($\Delta q_h = -10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) deutlich höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss ($\Delta q_h = -4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

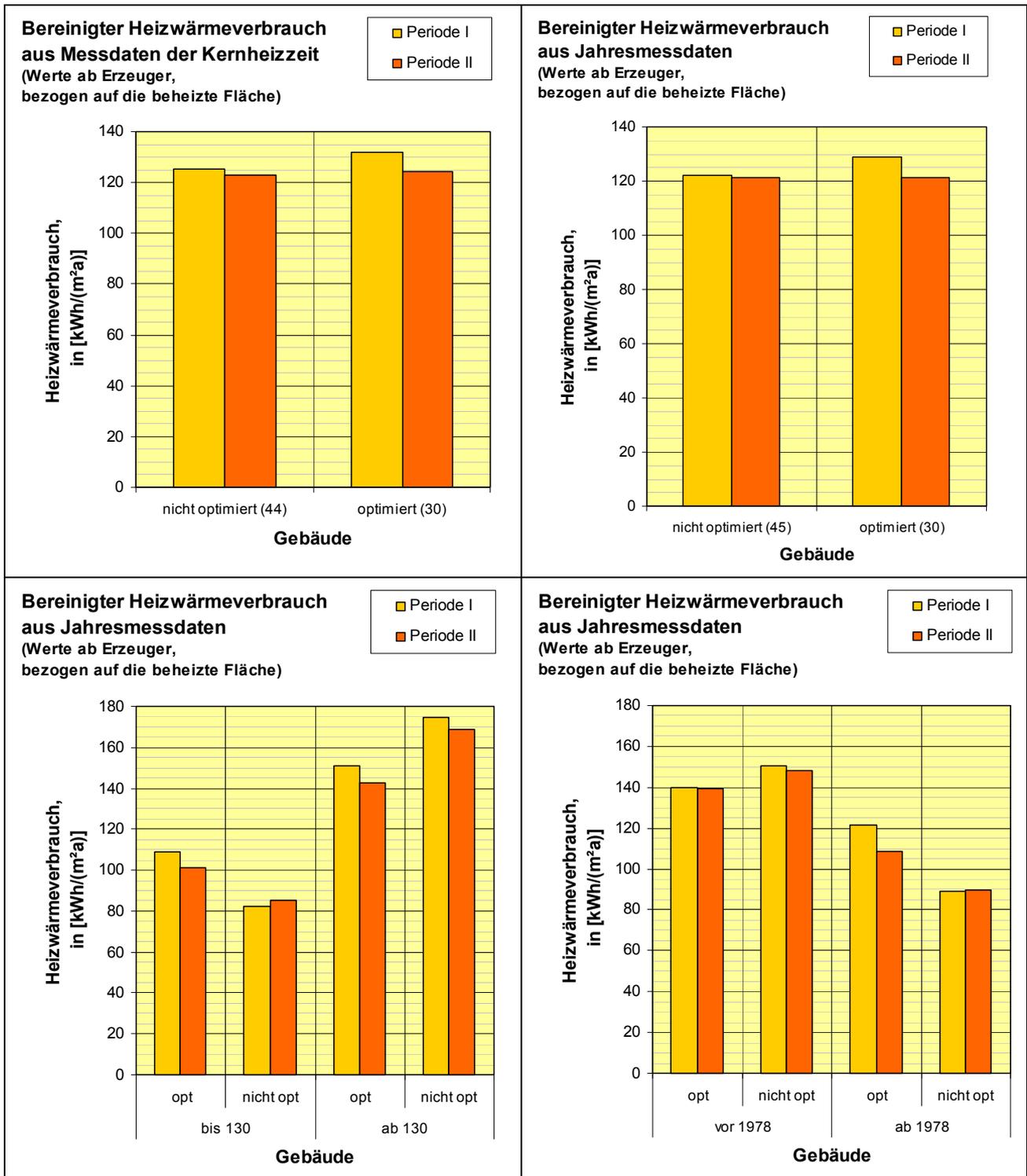


Bild 133 Vergleich des bereinigten Heizwärmeverbrauchs (Kernheizzeit und Jahresmessdaten)

Die Optimierung beeinflusst den Heizwärmeverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualterklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch). Hier führt eine nicht optimierte, größtenteils überdimensionierte Anlage im Mittel anscheinend zu einem nicht notwendigen Mehrverbrauch (zu hohe Raumtemperaturen, unkontrolliertes Ablüften), der im Zuge der Optimierung vermindert wird. Wäre diese Tendenz bereits bekannt gewesen, bevor die Gebäudeauswahl für die Optimierung stattfand, wären mehr Gebäude mit neuem Baulter optimiert worden.

In alten Gebäuden bzw. Gebäuden mit ohnehin hohem Verbrauch bewirkt die Optimierung im Mittel keine nennenswerte Heizwärmeeinsparung. Ein aufgrund fehlender Optimierung auftretendes Wärmepotential wird in diesem Gebäudetyp nicht sofort zum Verschwendungspotential, weil aufgrund des schlechteren Baustandards insgesamt eine höhere Wärmeanforderung besteht. Bei den Gebäuden mit hohem Verbrauch bzw. bei alten Gebäuden muss damit gerechnet werden, dass sich durch die Optimierung sogar eine geringfügiger Mehrverbrauch ergibt, da nun eine homogene Wärmeverteilung erreicht wird und alle Räume gleichmäßig beheizt werden (können). Eine vergleichbare Verbrauchserhöhung konnte man in der Vergangenheit bei der Umstellung von Einzelofen- auf Zentralheizung feststellen.

Gesamteinsparung

Es konnten insgesamt fast 90.000 kWh/a Heizwärme eingespart werden.

9.2.2 Energieeinsparung Heizenergie

Auswertung der Einzelgebäude

Die Auswertung der Einzelgebäude befindet sich im Abschnitt 9.1.6. Bild 126 zeigt, dass knapp zwei Drittel der 31 optimierten Gebäude in der zweiten Heizperiode einen verminderten Heizenergieverbrauch aufweist.

Gruppenauswertung

Die Verminderung des Heizenergieverbrauchs (auf Basis von Jahresmesswerte) für verschiedene Gruppen von Gebäuden zeigt Tabelle 39. Es sind jeweils die bereinigten Heizenergieverbräuche für die optimierten und die nicht optimierten Gebäude getrennt angegeben. Bild 135 zeigt die wichtigsten Ergebnisse zudem noch einmal graphisch. In die Betrachtung sind nur Gebäude einbezogen, für die in beiden Messperioden Heizenergieverbrauchswerte verfügbar sind.

Typ	Status	Bereinigter Heizenergieverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m ² a)]			Zahl	
		Messperiode I	Messperiode II	Differenz		
alle	optimiert	148	139	-9,4	30	
	nicht optimiert	135	134	-1,1	45	
bis 1977	optimiert	151	150	-1	18	
	nicht optimiert	172	169	-3	23	
1978 - 1994	optimiert	160	145	-14	9	
	nicht optimiert	106	106	0	9	
ab 1995	optimiert	102	83	-19	3	
	nicht optimiert	81	83	2	13	
EFH	alle	optimiert	137	133	-4	19
		nicht optimiert	136	139	3	20
	bis 1977	optimiert	125	123	-2	12
		nicht optimiert	170	173	3	9
	ab 1978	optimiert	142	133	-8	6
		nicht optimiert	102	104	2	11
MFH	alle	optimiert	151	140	-11	11
		nicht optimiert	135	133	-2	25
	bis 1977	optimiert	158	158	0	5
		nicht optimiert	172	168	-4	14
	ab 1978	optimiert	147	130	-17	6
		nicht optimiert	91	91	1	11
Heizwärmeverbrauch bis 130 kWh/(m ² a)	optimiert	117	109	-8	16	
	nicht optimiert	88	91	3	28	
Heizwärmeverbrauch ab 130 kWh/(m ² a)	optimiert	182	171	-11	14	
	nicht optimiert	197	190	-7	17	
Fernwärme	optimiert	121	115	-5	8	
	nicht optimiert	110	110	0	21	
Gas/Ölkessel	optimiert	161	149	-11	22	
	nicht optimiert	171	168	-3	24	

Tabelle 39 Bereinigter Heizenergieverbrauch (Jahresmesswerte) in zwei Messperioden

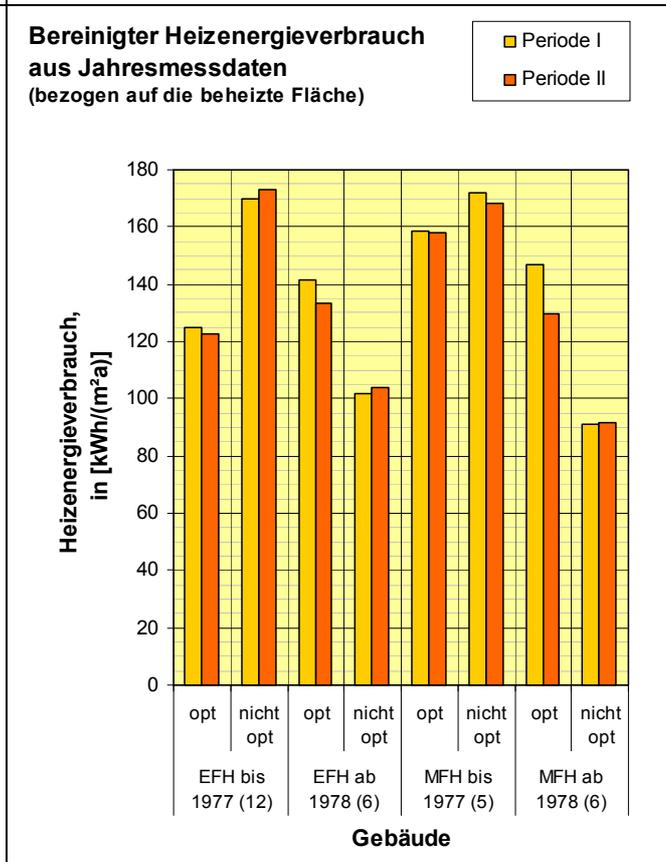
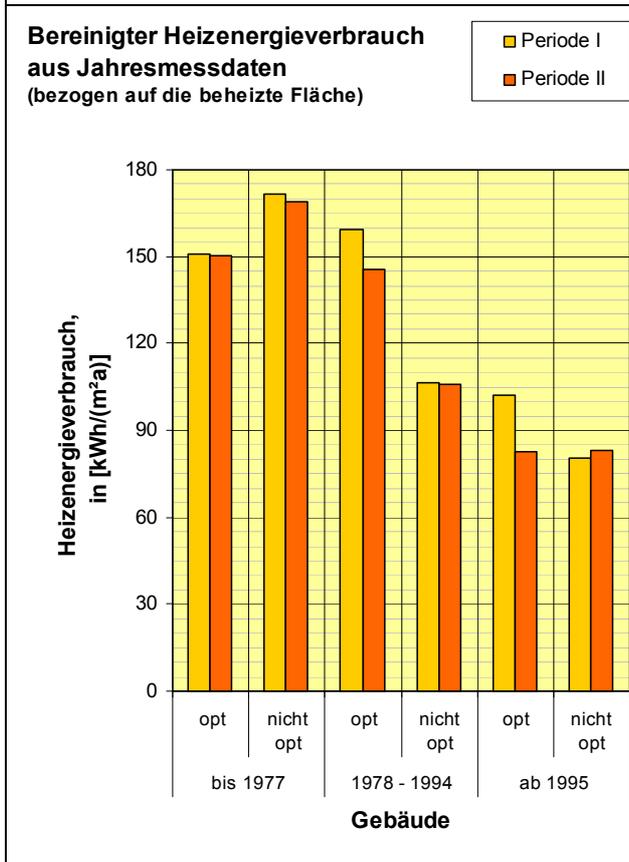
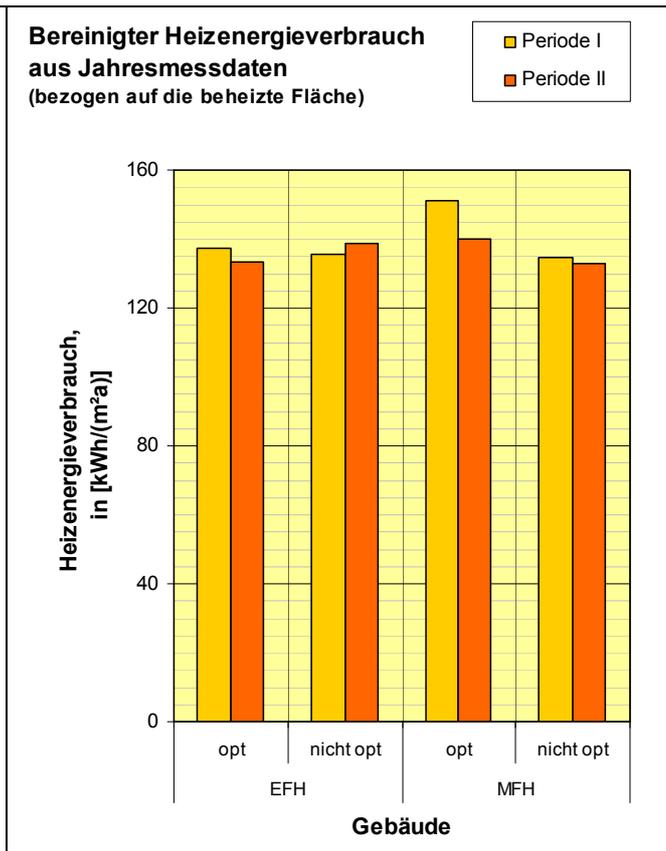
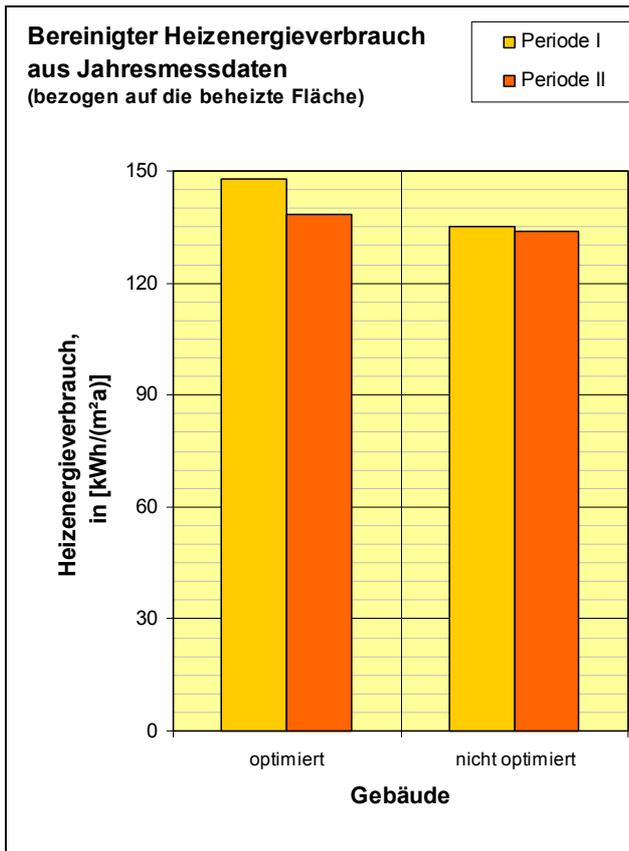


Bild 134 Vergleich des bereinigten Heizenergieverbrauchs nach Gebäudetyp und Alter

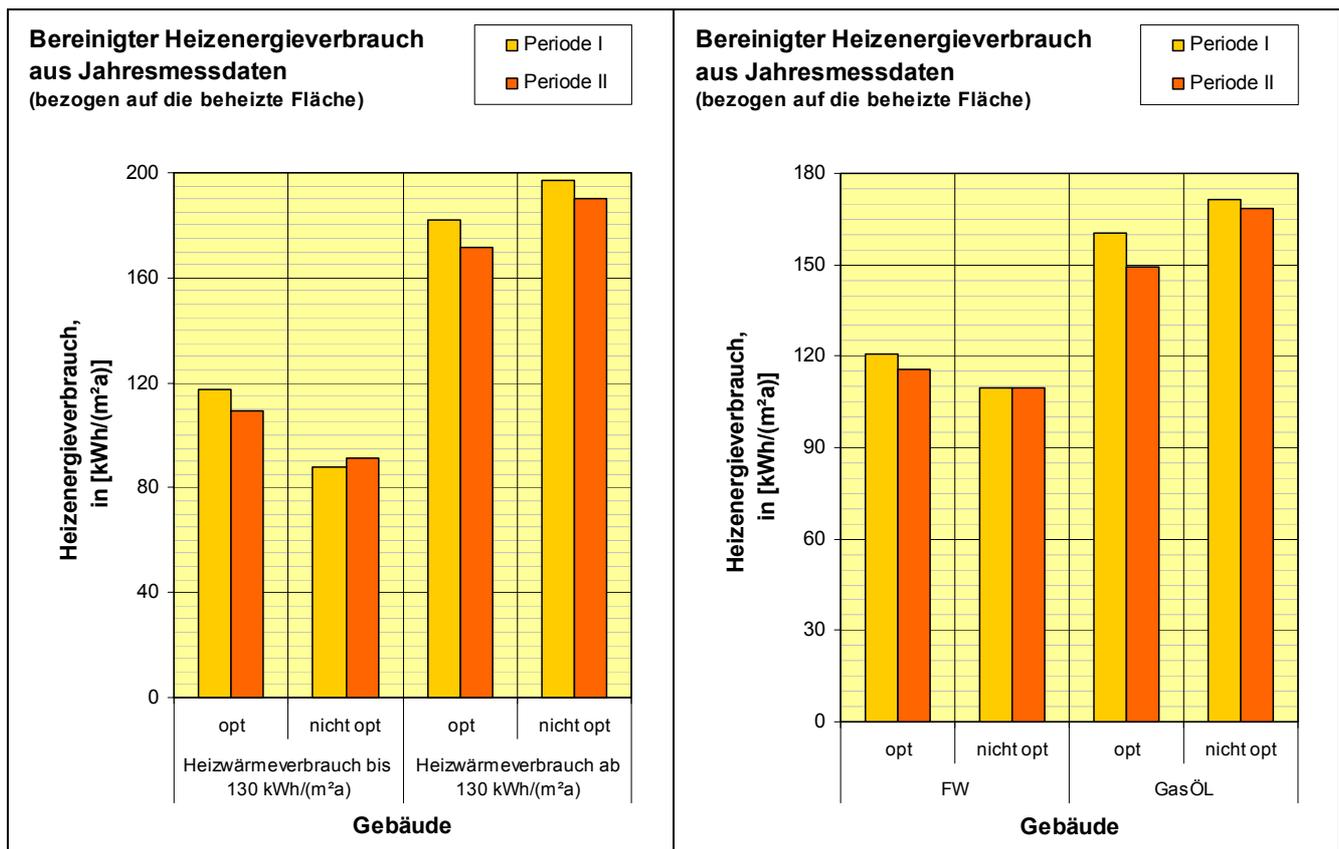


Bild 135 Vergleich des bereinigten Heizenergieverbrauchs nach Versorgungsart und Verbrauch

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 1,1 kWh/(m²a) geringeren Heizenergieverbrauch auf, während sich für die 30 auswertbaren, optimierten Gebäude ein um 9,4 kWh/(m²a) geringerer Heizenergieverbrauch ergibt.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von 8 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Folgende Detailaussagen lassen sich für die Heizenergieeinsparung ableiten:

- Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_H = -4$ kWh/m²a) insgesamt geringer als in den MFH ($\Delta q_H = -11$ kWh/m²a).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_H = -19$ kWh/m²a) deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_H = -14$ kWh/m²a). In der ältesten Baualtersklasse sind keine wesentlichen Einsparungen nachweisbar ($\Delta q_H = -1$ kWh/m²a).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_H = -12$ kWh/m²a) deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch ($\Delta q_H = -4$ kWh/m²a).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden mit Kessel ($\Delta q_H = -11$ kWh/m²a) höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss ($\Delta q_H = -5$ kWh/m²a).

Untersucht man die EFH und MFH getrennt nach Baualtersklassen, ergibt sich folgendes Bild:

- Die Einsparung ist in den untersuchten EFH der älteren Baualtersklasse ($\Delta q_H = -2$ kWh/m²a) geringer als in den neueren Baualtersklassen ($\Delta q_H = -8$ kWh/m²a).
- In den untersuchten MFH der älteren Baualtersklasse ($\Delta q_H = 0$ kWh/m²a) konnte keine Heizenergie eingespart werden, in den neueren Baualtersklassen konnte eine große Einsparung erzielt werden ($\Delta q_H = -17$ kWh/m²a).

Die Aussagen, die in Abschnitt 9.2.1 für den Heizwärmeverbrauch getroffen wurden gelten hier analog auch für den Heizenergieverbrauch.

Die Optimierung beeinflusst den Heizenergieverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualterklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch). Da wegen des guten Baustandards ohnehin eine geringere Wärmeanforderung besteht, führt jedes zusätzliche (ungeregelt) auftretende Wärmepotential in diesem Gebäudetyp sehr schnell zum Mehrverbrauch. Die Optimierung beseitigt bzw. vermindert das Verschwendungspotential und führt zu größeren Einsparpotentialen. In alten Gebäuden bzw. Gebäuden mit ohnehin hohem Verbrauch ist es umgekehrt. Wegen der baulich bedingten hohen Wärmeanforderung können Überschüsse besser genutzt werden und die mangelnde Qualität führt zu geringen Verschwendungspotentialen. Folglich ergeben sich dann auch geringere Einsparpotentiale. Ein möglicher weiterer Grund, der jedoch vertiefende Untersuchungen erfordert: Systeme vor 1977 kannten anfangs noch keine Thermostatventile, daher kann von einer genaueren Anlagenauslegung ausgegangen werden. Im Einzelfall kann es sogar zum geringfügigen Mehrverbrauch kommen, da nun eine homogene Wärmeverteilung erreicht wird und alle Räume gleichmäßig beheizt werden (können).

Gesamteinsparung

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 106.000 kWh/a Heizenergie eingespart werden.

9.2.3 Energieeinsparungen Hilfsenergie

Auswertung der Einzelgebäude

Die Auswertung der Einzelgebäude befindet sich im Abschnitt 9.1.8. Bild 130 zeigt, dass die Mehrzahl der auswertbaren optimierten Gebäude in der zweiten Heizperiode einen verminderten Hilfsenergieverbrauch aufweist.

Gruppenauswertung

Die Verminderung des Hilfsenergieverbrauchs (auf Basis von Jahresmesswerten) für verschiedene Gruppen von Gebäuden zeigt Tabelle 40. Es sind jeweils die bereinigten Hilfsenergieverbräuche für die optimierten und die nicht optimierten Gebäude getrennt angegeben. Bild 136 zeigt die wichtigsten Ergebnisse zudem noch einmal graphisch. In die Betrachtung sind nur Gebäude einbezogen, für die in beiden Messperioden Hilfsenergieverbrauchswerte verfügbar sind.

Typ	Status	Bereinigter Hilfsenergieverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m ² a)]			Zahl
		Messperiode I	Messperiode II	Differenz	
alle	optimiert	2,4	2,0	-0,4	27
	nicht optimiert	1,6	1,5	-0,1	38
EFH	optimiert	3,5	3,3	-0,2	19
	nicht optimiert	2,0	2,1	0,1	18
MFH	optimiert	2,0	1,6	-0,4	8
	nicht optimiert	1,6	1,4	-0,2	20
Fernwärme	optimiert	1,5	1,6	0,1	5
	nicht optimiert	1,0	1,2	0,2	17
Gas/Ölkessel	optimiert	2,6	2,1	-0,5	22
	nicht optimiert	2,3	1,9	-0,4	21
bis 1977	optimiert	2,6	2,2	-0,4	16
	nicht optimiert	2,0	1,7	-0,3	20
1978 - 1994	optimiert	2,6	2,1	-0,5	8
	nicht optimiert	1,2	1,3	0,1	8
ab 1995	optimiert	1,4	1,4	0,0	3
	nicht optimiert	1,2	1,3	0,1	10

Tabelle 40 Bereinigter Hilfsenergieverbrauch (Jahresmesswerte) in zwei Messperioden

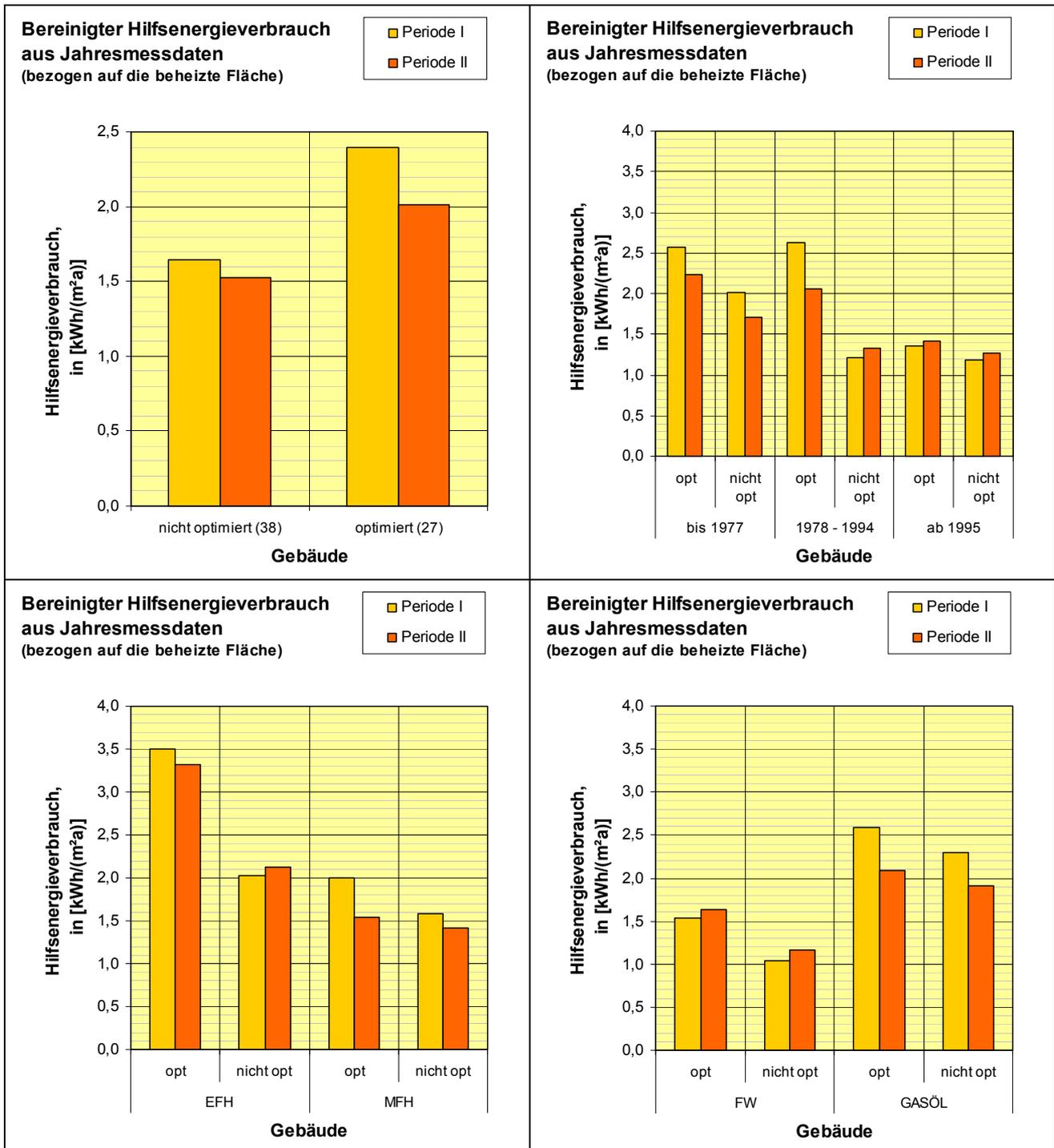


Bild 136 Vergleich des bereinigten Hilfsenergieverbrauchs (Jahresmessdaten)

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 38 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 0,1 kWh/(m²a) geringeren Hilfsenergieverbrauch auf, während sich für die 27 auswertbaren optimierten Gebäude ein um 0,4 kWh/(m²a) geringerer Hilfsenergieverbrauch ergibt.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel eine Hilfsenergieeinsparung von 0,3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Folgende Detailaussagen lassen sich für die Heizenergieeinsparung ableiten:

- Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH ($\Delta q_{EI} = -0,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) etwas größer als in den MFH ($\Delta q_{EI} = -0,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).
- Die Einsparung ist in den Gebäuden der mittleren Baualtersklasse ($\Delta q_{EI} = -0,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) deutlich größer als in der ältesten und neuesten Baualtersklasse ($\Delta q_h = -0,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

Gesamteinsparung

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 4000 kWh/a Hilfsenergie eingespart werden.

9.3 Umweltrelevanz

Aus den witterungsbereinigten Messwerten für den Endenergieverbrauch (Heizenergie und Hilfsenergie) aller untersuchten Gebäude wird bestimmt, welche Umweltrelevanz das Projekt "OPTIMUS" insgesamt hat. Dazu wird zum einen die Primärenergieeinsparung, zum anderen die Verminderung des CO₂-Ausstoßes berechnet.

Die Definition der beiden Größen findet sich in Abschnitt 3.2.1. Es gelten in Deutschland übliche Umrechnungsfaktoren für die Endenergie in umweltrelevante Größen. Aufgrund der im OPTIMUS-Projekt erreichten Einsparungen wird eine Prognose der möglichen Bereiche von Primärenergieeinsparung und CO₂-Minderung für den Gebäudebestand in Deutschland gewagt.

9.3.1 Einsparungen an Primärenergie

Die Primärenergieeinsparung wird nach Gleichung (41) bestimmt. Ausgangsgrößen der Berechnung sind:

- die Endenergieeinsparung für Heizung (nur Heizung ohne Trinkwarmwasser, incl. Nutzungsgrad, witterungsbereinigt),
- die Hilfsenergieeinsparung (zeitbereinigt),
- Primärenergiefaktoren nach GEMIS entnommen aus der Hessischen Energiebilanztoolbox [30].

$$\Delta Q_P = f_P \cdot \Delta Q_H + f_{P,Strom} \cdot \Delta Q_{EI} \quad (41)$$

Die Primärenergiefaktoren betragen:

- Gas: 1,07
- Heizöl: 1,10
- Fernwärme: 0,71 ... 1,10 für Kraft-Wärme-Kopplungsanteile von 70 ... 35 %
gerechnet wird hier mit 1,00 (entspricht 44 % KWK)
- Strom: 2,97

Die Berechnung erfolgt für jedes Einzelobjekt und für die Summe aller optimierten Gebäude.

Auswertung der Einzelgebäude

Bild 137 zeigt die Einsparung an Primärenergie für die 31 optimierten Einzelobjekte. Anhand des Kurvenverlaufs wird deutlich, dass insgesamt eine Einsparung erreicht werden konnte.

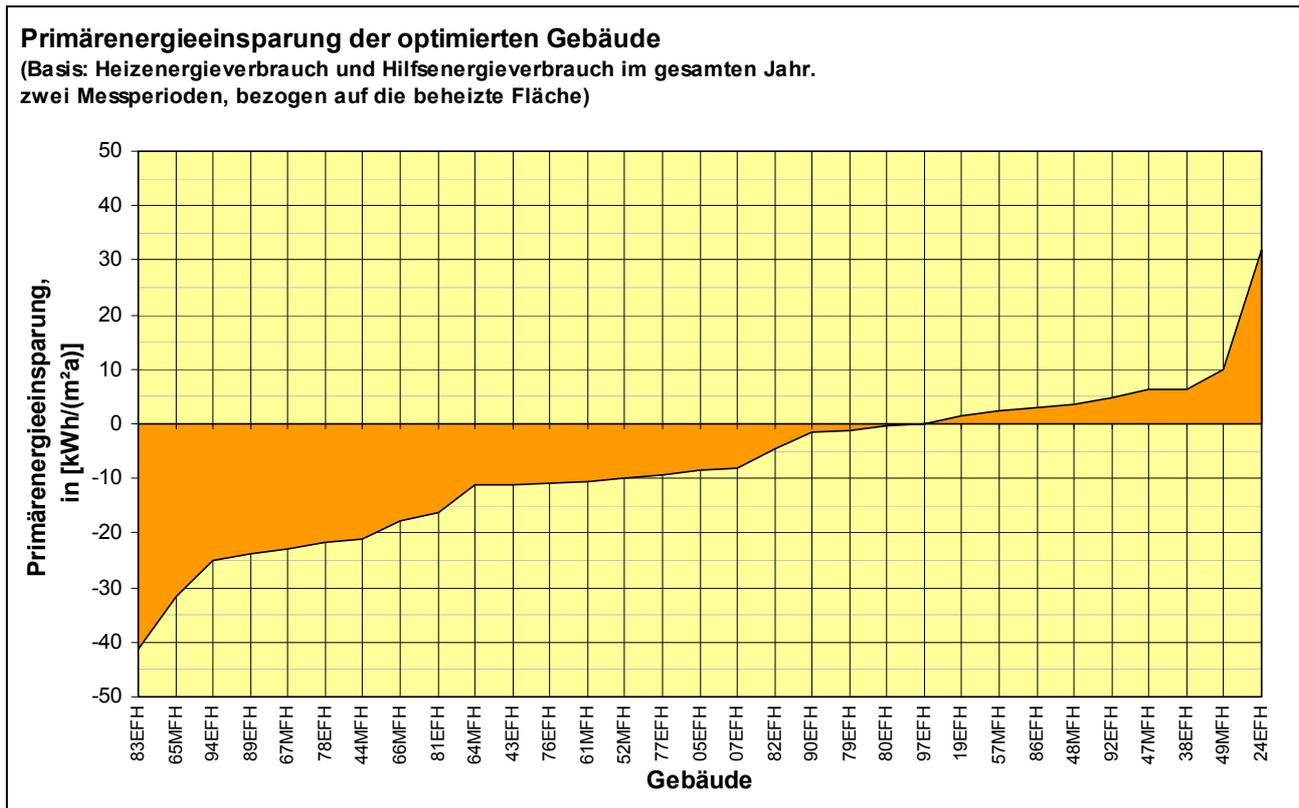


Bild 137 Primärenergieeinsparung in den optimierten Gebäuden

Gruppenauswertung

Tabelle 41 gibt einen Überblick über die erreichte Primärenergieeinsparung. Es sind nur die bereinigten Primärenergieeinsparungen für die auswertbaren 30 optimierten Gebäude angegeben. Der Vergleich mit den nicht optimierten Gebäuden wurde hier aus Gründen der Übersichtlichkeit unterlassen.

Kriterium		Primärenergieeinsparung der optimierten Gebäude (Jahresmesswerte), in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		-11	30
Typ	EFH	-5	19
	MFH	-13	11
Energieversorgung	Fernwärme	-5	8
	Gas/Ölkessel	-14	22
Baualtersklasse	vor 1978	-2	18
	ab 1978	-17	12
Heizwärmeverbrauch	bis 130 kWh/(m²a)	-10	16
	bis 130 kWh/(m²a)	-13	14

Tabelle 41 Primärenergieeinsparung der optimierten Gebäude bezogen auf die beheizte Fläche

Gesamteinsparung

Durch die Optimierung können in den betroffenen Gebäuden insgesamt etwa 124.000 kWh Primärenergie eingespart werden. Gegenüber den nicht optimierten Gebäude weisen die optimierten Gebäude eine Verminderung des Primärenergieverbrauchs von 10 kWh/(m²a) auf.

9.3.2 Einsparung an CO₂-Äquivalent

Die Einsparung an äquivalenter CO₂-Menge, welche hier stellvertretend für alle Schadstoffe der Energieumwandlung steht, wird nach Gleichung (42) bestimmt. Ausgangsgrößen der Berechnung sind:

- die Endenergieeinsparung für Heizung (nur Heizung ohne Trinkwarmwasser, incl. Nutzungsgrad, witterungsbereinigt),
- die Hilfsenergieeinsparung (zeitbereinigt),
- CO₂-Äquivalente nach GEMIS entnommen aus der Hessischen Energiebilanztoolbox [30].

$$\Delta Q_P = m_{CO_2} \cdot \Delta Q_H + m_{CO_2,Strom} \cdot \Delta Q_{EI} \quad (42)$$

Die Primärenergiefaktoren betragen:

- Gas: 232 g/kWh
- Heizöl: 297 g/kWh
- Fernwärme: 214 ... 306 g/kWh für Kraft-Wärme-Kopplungsanteile von 70 ... 35 %
gerechnet wird hier mit 282 g/kWh (entspricht 44 % KWK)
- Strom: 689 g/kWh

Die Berechnung erfolgt für jedes Einzelobjekt und für die Summe aller optimierten Gebäude.

Auswertung der Einzelgebäude

Bild 138 zeigt die Einsparung an CO₂-Äquivalent für die 31 optimierten Einzelobjekte. Anhand des Kurvenverlaufs wird deutlich, dass insgesamt eine Einsparung erreicht werden konnte, obwohl es Objekte mit einem Mehrverbrauch gibt.

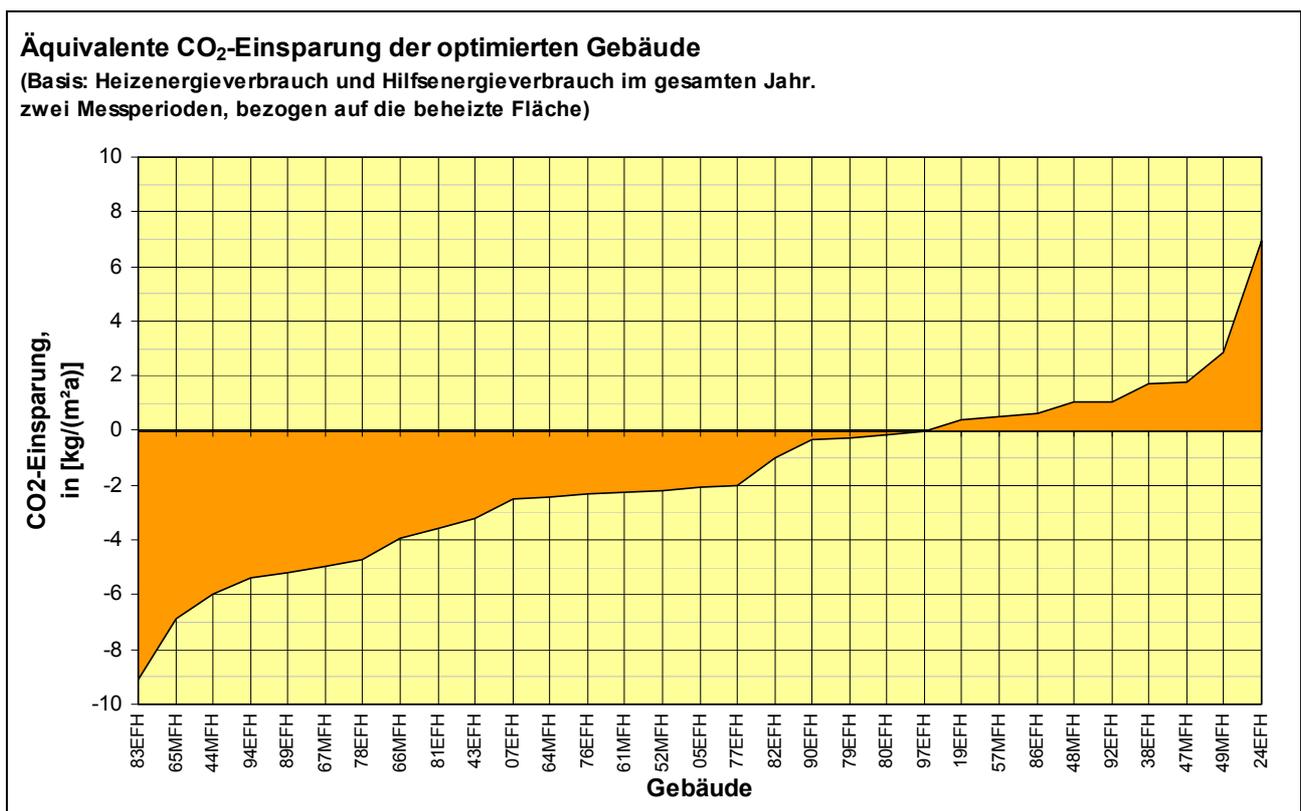


Bild 138 Einsparung äquivalenter CO₂-Menge in den optimierten Gebäuden

Gruppenauswertung

Tabelle 42 gibt einen Überblick über die erreichte CO₂-Einsparung. Es sind nur die bereinigten Werte für die 30 auswertbaren 30 optimierten Gebäude angegeben. Der Vergleich mit den nicht optimierten Gebäuden wurde hier aus Gründen der Übersichtlichkeit unterlassen.

Kriterium 1	Kriterium 2	CO ₂ -Einsparung der optimierten Gebäude (Jahresmesswerte), in [kg CO ₂ /(m ² a)]	Zahl
alle		-2,5	31
Typ	EFH	-1,2	20
	MFH	-2,9	11
Energieversorgung	Fernwärme	-1,5	8
	Gas/Ölkessel	-3,0	22
Baualtersklasse	vor 1978	-0,3	18
	ab 1978	-4,0	12
Heizwärmeverbrauch	bis 130 kWh/(m ² a)	-2,3	16
	bis 130 kWh/(m ² a)	-2,7	14

Tabelle 42 CO₂-Einsparung der optimierten Gebäude bezogen auf die beheizte Fläche

Gesamteinsparung

Durch die Optimierung können in den betroffenen Gebäuden insgesamt etwa 28.300 kg/a CO₂-Äquivalent eingespart werden.

Gegenüber den nicht optimierten Gebäude weisen die optimierten Gebäude eine Verminderung des CO₂-Verbrauchs von 2,1 kg CO₂/(m²a) auf.

9.4 Hochrechnungen für den Gebäudebestand

Ausgehend von der Einsparung an Primärenergie und äquivalenter CO₂-Menge wird für den Gebäudebestand in Deutschland eine Hochrechnung durchgeführt. Im deutschen Bestand ist der Anteil der Gebäude alter Baualtersklassen bzw. der Gebäude mit hohem Heizwärmeverbrauch größer als im OPTIMUS-Projekt. Daher ergeben sich im Mittel andere erreichbare Einsparungen. Folgende Randdaten werden der Abschätzung zugrundegelegt:

- Es wird von insgesamt 3,2 Milliarden Quadratmetern beheizter Fläche in bestehenden Wohngebäuden ausgegangen [37].
- Der überwiegende Anteil aller Wohnungen in Deutschland ist mit zentralen Heizsystemen ausgestattet, d.h. es sind nur diese für das Projekt OPTIMUS interessant. Die Gebäude werden mit Gas (ca. 44 %), Heizöl (ca. 34 %), Fernwärme (ca. 13 %) und sonstigen Energieträgern wie Holz, Strom und Kohle beheizt [37]. Die Betrachtung erfolgt für die genannten 91 % der Gebäude mit den drei am häufigsten eingesetzten Energieträgern/Versorgungssystemen.
- 43 % der Fläche befindet sich in Mehrfamilienwohngebäuden (ca. 3 Mio. Gebäude mit mehr als 3 Wohneinheiten) und die restlichen 57 % in Ein- und Zweifamilienhäusern (ca. 14 Mio. Gebäude) [37].

Da für die künftige Umsetzung der Optimierung in der Zukunft mehrere Alternativen bestehen, werden nachfolgend vier Szenarien betrachtet und am Ende zusammengefasst.

9.4.1 Szenario 1 und 2: Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung

Diese Szenarien gehen davon aus, dass die Optimierung der Heizungsanlage in allen Gebäuden des Bestands durchgeführt wird – ohne jedoch weitere bauliche Maßnahmen parallel durchzuführen. Die Optimierung macht sich in EFH und MFH der verschiedenen Altersklassen bzw. in Gebäuden unterschiedlichen Verbrauchs unterschiedlich stark bemerkbar.

Szenario 1: Hochrechnung aufgrund der Altersklassenverteilung

Es wird zusätzlich zu den Randdaten oben davon ausgegangen, dass etwa 80 % der Gebäude im Bestand Baujahre vor 1977 aufweisen und damit in die OPTIMUS-Baualtersklasse 1 fallen. Die verbleibenden 20 % der Gebäude sind ab 1977 erstellt (Baualtersklassen 2 und 3). Diese Zahlen sind Abschätzungen aus heutiger Sicht auf Basis von Literaturquellen [12], [21], [29]. Aus den genannten Randbedingungen ergeben sich die in Tabelle 43 abgeschätzten Teilflächen. Die erreichbaren Primärenergieeinsparungen zeigt Tabelle 44.

Gesamtwohnfläche	Erzeugeranteile		Gebäudetypen		Baujahranteile		Teilflächen
3.200.000.000 m ²	zentrale Systeme	91 %	EFH	57 %	vor 77	80 %	1.327.872.000 m ²
					nach 78	20 %	331.968.000 m ²
	andere	9 %	MFH	43 %	vor 77	80 %	1.001.728.000 m ²
					nach 78	20 %	250.432.000 m ²
							288.000.000 m ²

Tabelle 43 Ermittlung der Wohnflächen Szenario 1

Gebäude im deutschen Bestand			Projektergebnisse OPTIMUS		Primärenergieeinsparpotential im deutschen Bestand	
Versorgung	Baujahr	Fläche, in [m ²]	bezogene Primärenergieeinsparung, in [kWh/(m ² a)]	OPTIMUS-Stichprobe (Gebäudezahl)	in [kWh/a]	in [GWh/a]
EFH	vor 77	1.327.872.000	-2,5	13	-3.319.680.000	
	nach 78	331.968.000	-9,0	6	-2.987.712.000	
MFH	vor 77	1.001.728.000	-1,3	5	-1.302.246.400	
	nach 78	250.432.000	-19,0	6	-4.758.208.000	
Summe / Mittelwerte		2.912.000.000	-4,3	30	-12.367.846.400	-12.400

Tabelle 44 Abgeschätztes Primärenergieeinsparpotential (Deutschland) Szenario 1

Szenario 2: Hochrechnung aufgrund der Verbrauchsverteilung

Es wird davon ausgegangen, dass etwa 70 % der Gebäude im Bestand Heizwärmeverbräuche über 130 kWh/(m²a) aufweisen. Diese Zahlen sind Abschätzungen aus heutiger Sicht auf Basis von Literaturquellen [12], [21], [29], [35]. Aus den genannten Randbedingungen ergeben sich die in Tabelle 43 abgeschätzten Teilflächen. Die unter diesen Randbedingungen erreichbaren Einsparungen zeigt Tabelle 46.

Gesamtwohnfläche	Erzeugeranteile		Gebäudetypen		Heizwärmebedarf Anteile		Teilflächen
3.200.000.000 m ²	zentrale Systeme	91 %	EFH	57 %	bis 130 kWh/(m ² a)	30 %	497.952.000
					ab 130 kWh/(m ² a)	70 %	1.161.888.000
	andere	9 %	MFH	43 %	bis 130 kWh/(m ² a)	30 %	375.648.000
					ab 130 kWh/(m ² a)	70 %	876.512.000
							288.000.000

Tabelle 45 Ermittlung der Wohnflächen Szenario 2

Gebäude im deutschen Bestand			Projektergebnisse OPTIMUS		Primärenergieeinsparpotential im deutschen Bestand	
Typ	Heizwärmeverbrauch	Fläche, in [m ²]	bezogene Primärenergieeinsparung, in [kWh/(m ² a)]	OPTIMUS-Stichprobe (Gebäudezahl)	in [kWh/a]	in [GWh/a]
EFH	bis 130 kWh/(m ² a)	497.952.000	-3,9	11	-1.942.012.800	
	ab 130 kWh/(m ² a)	1.161.888.000	-6,6	8	-7.668.460.800	
MFH	bis 130 kWh/(m ² a)	375.648.000	-11,2	5	-4.207.257.600	
	ab 130 kWh/(m ² a)	876.512.000	-14,2	6	-12.446.470.400	
Summe / Mittelwerte		2.912.000.000	-9,0	30	-26.264.201.600	-26.300

Tabelle 46 Abgeschätztes Primärenergieeinsparpotential (Deutschland) Szenario 2

9.4.2 Szenario 3 und 4: Hochrechnungen bei kombinierter Optimierung

Diese Szenarien setzen voraus, dass die Optimierung kombiniert mit einer baulichen Verbesserung des Bestands einhergeht. Die Optimierung macht sich in EFH und MFH der verschiedenen Altersklassen bzw. in Gebäuden unterschiedlichen Verbrauchs unterschiedlich bemerkbar.

Szenario 3: Hochrechnung aufgrund der Altersklassenverteilung

Es wird zusätzlich zu den Randdaten oben davon ausgegangen, dass langfristig etwa 90 % der Gebäude im Bestand auf einen baulichen Standard gebracht werden können, der dem der Gebäude mit Baujahren ab 1978 entspricht. Erst dann wird eine Optimierung kombiniert mit der baulichen Verbesserung durchgeführt. Diese Zahlen sind Abschätzungen aus heutiger Sicht auf Basis von Literaturquellen [12], [21], [29], [35]. Aus den genannten Randbedingungen ergeben sich die in

Tabelle 43 abgeschätzten Teilflächen. Die unter diesen Randbedingungen erreichbaren Einsparungen zeigt Tabelle 44.

Gesamtwohnfläche	Erzeugeranteile		Gebäudetypen		Baujahranteile		Teilflächen
3.200.000.000 m ²	zentrale Systeme	91 %	EFH	57 %	vor 77	10 %	165.984.000
					nach 78	90 %	1.493.856.000
	andere	9 %	MFH	43 %	vor 77	10 %	125.216.000
					nach 78	90 %	1.126.944.000
							288.000.000 m ²

Tabelle 47 Ermittlung der Wohnflächen Szenario 3

Gebäude im deutschen Bestand			Projektergebnisse OPTIMUS		Primärenergieeinsparpotential im deutschen Bestand	
Versorgung	Baujahr	Fläche, in [m ²]	bezogene Primärenergieeinsparung, in [kWh/(m ² a)]	OPTIMUS-Stichprobe (Gebäudezahl)	in [kWh/a]	in [GWh/a]
EFH	vor 77	165.984.000	-2,5	13	-414.960.000	
	nach 78	1.493.856.000	-9,0	6	-13.444.704.000	
MFH	vor 77	125.216.000	-1,3	5	-162.780.800	
	nach 78	1.126.944.000	-19,0	6	-21.411.936.000	
Summe / Mittelwerte		2.912.000.000	-12,2	30	-35.434.380.800	-35.400

Tabelle 48 Abgeschätztes Primärenergieeinsparpotential (Deutschland) Szenario 3

Szenario 4: Hochrechnung aufgrund der Verbrauchsverteilung

Es wird davon ausgegangen, dass etwa 90 % der Gebäude nach der baulichen Modernisierung einen Heizwärmebedarf unter 130 kWh/(m²a) aufweisen. Die verbleibenden 10 % der Gebäude liegen darüber, weil verschiedene Umstände eine weitere Verbesserung verhindern. Diese Zahlen sind Abschätzungen aus heutiger Sicht auf Basis von Literaturquellen [12], [21], [29], [35]. Aus den genannten Randbedingungen ergeben sich die in Tabelle 43 abgeschätzten Teilflächen. Die unter diesen Randbedingungen erreichbaren Einsparungen zeigt Tabelle 46.

Gesamtwohnfläche	Erzeugeranteile		Gebäudetypen		Heizwärmebedarf Anteile		Teilflächen
3.200.000.000 m ²	zentrale Systeme	91 %	EFH	57 %	bis 130 kWh/(m ² a)	90 %	1.493.856.000
					ab 130 kWh/(m ² a)	10 %	165.984.000
	andere	9 %	MFH	43 %	bis 130 kWh/(m ² a)	90 %	1.126.944.000
					ab 130 kWh/(m ² a)	10 %	125.216.000
							288.000.000

Tabelle 49 Ermittlung der Wohnflächen Szenario 4

Gebäude im deutschen Bestand			Projektergebnisse OPTIMUS		Primärenergieeinsparpotential im deutschen Bestand	
Typ	Heizwärmeverbrauch	Fläche, in [m ²]	bezogene Primärenergieeinsparung, in [kWh/(m ² a)]	OPTIMUS-Stichprobe (Gebäudezahl)	in [kWh/a]	in [GWh/a]
EFH	bis 130 kWh/(m ² a)	1.493.856.000	-3,9	11	-5.826.038.400	
	ab 130 kWh/(m ² a)	165.984.000	-6,6	8	-1.095.494.400	
MFH	bis 130 kWh/(m ² a)	1.126.944.000	-11,2	5	-12.621.772.800	
	ab 130 kWh/(m ² a)	125.216.000	-14,2	6	-1.778.067.200	
Summe / Mittelwerte		2.912.000.000	-7,3	30	-21.321.372.800	-21.300

Tabelle 50 Abgeschätztes Primärenergieeinsparpotential (Deutschland) Szenario 4

9.4.3 Fazit der Hochrechnungen

Das im gesamten Gebäudebestand liegende Primärenergieeinsparpotential ergibt sich unterschiedlich hoch – je nach Ansatz der Hochrechnung. Für die getesteten vier Szenarien ergeben sich die Kennwerte nach Tabelle 51 und Tabelle 52. Vorausgesetzt wird dabei ein Energiepreis von 0,05 €/kWh für Primärenergie unabhängig vom Energieträger.

Szenario		Hochrechnung aufgrund der Kennwerte für ...	Flächenbezogenes Einsparpotential, in [kWh/(m ² a)]	Absolutes Einsparpotential, in [GWh/a]	Absolutes Einsparpotential, in [Mio. €/a]	Einsparpotential je Person, in [€/(Pers.a)]
1	Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung	Baualter	-4,3	-12.400	-618	-7,5
2		Heizwärmeverbrauch	-9,0	-26.300	-1.313	-16,0
3	Kombinierte Anlagen- und Bauoptimierung	Baualter	-12,2	-35.400	-1.772	-21,6
4		Heizwärmeverbrauch	-7,3	-21.300	-1.066	-13,0

Tabelle 51 Ergebnisse der Primärenergieeinsparung nach verschiedenen Szenarien

Im Bestand ist von einer flächenbezogenen Primärenergieeinsparung von 4,3 ... 9,0 kWh/(m²a) auszugehen, wenn die Anlagentechnikoptimierung sofort und ohne weitere bauliche Optimierung stattfindet. Bei einer kombinierten Bau- und Anlagentechnikoptimierung erhöhen sich die Werte auf 7,3 ... 12,2 kWh/(m²a).

Aus dieser Untersuchung abzuleitende Kennwerte für die Größenordnung der Primärenergieeinsparung liegen bei im Mittel 7 kWh/(m²a) (nur Anlagentechnikoptimierung) bis 10 kWh/(m²a) (kombinierte Bau- und Anlagentechnikoptimierung). Dies entspricht einem Einsparpotential von 20.000 ... 28.000 GWh/a Primärenergie.

Szenario		Hochrechnung aufgrund der Kennwerte für ...	Flächenbezogenes Einsparpotential, in [kg/(m ² a)]	Absolutes Einsparpotential, in [1000 t/a]	Einsparpotential je Person, in [kg/(Pers.a)]
1	Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung	Baualter	-0,9	-2.800	-34
2		Heizwärmeverbrauch	-2,0	-5.900	-72
3	Kombinierte Anlagen- und Bauoptimierung	Baualter	-2,7	-7.900	-97
4		Heizwärmeverbrauch	-1,7	-5.000	-61

Tabelle 52 Ergebnisse der CO₂-Einsparung nach verschiedenen Szenarien

Das Einsparpotential für CO₂ aufgrund der Anlagentechnikoptimierung liegt in einem wahrscheinlichen Bereich von 0,9 kg/(m²a) im Minimum bis maximal 2,7 kg/(m²a). Dies entspricht 4 ... 7 Millionen Tonnen CO₂-Einsparung jährlich. Zum Vergleich: in der Bundesrepublik Deutschland liegt die Gesamtemission bei 890 Millionen Tonnen CO₂ jährlich, wobei die Hälfte durch Emissionszertifikate erfasst ist. Etwa 250 Millionen Tonnen CO₂ werden jährlich für die Raumwärmebereitstellung emittiert.

Die zu erwartende Primärenergie- und CO₂-Einsparung ist deutlich größer, wenn die Heizungsanlagenoptimierung kombiniert mit einer baulichen Verbesserung bzw. in neuen Gebäuden sofort durchgeführt wird. Wenn man also so weiterverfährt wie bisher – d.h. die Gebäude immer besser dämmt, aber die Anlagentechnik ohne Qualitätssicherung belässt – verschenkt man in Zukunft noch größere Energiemengen, da die Einsparung mit besserem Baustandard zunimmt. Dies wird durch die Erkenntnisse aus Untersuchungen von Passivhäusern im Bestand mit konventioneller Pumpenwarmwasserheizung gestärkt: Leistungsüberdimensionierung führt zu Mehrverbrauch [35].

9.5 Endberichte für die Gebäudebesitzer

Für jedes am Projekt teilnehmende Gebäude wurde ein Gebäudeendbericht erstellt. Wegen der unterschiedlichen Ausgangsdatenbasis muss in sechs Berichtstypen unterschieden werden, siehe Tabelle 53.

Typ	Erläuterung	Gebäudeschlüssel
0	Keine Auswertung möglich	08EFH, 93EFH, 95EFH
1	Keine Optimierung durchgeführt, nur eine Messperiode auswertbar	06EFH, 11EFH, 15EFH, 16EFH, 17EFH, 29EFH, 40EFH, 53MFH, 54MFH, 72MFH, 75MFH, 85EFH, 87EFH
2	Keine Optimierung durchgeführt, zwei Messperioden auswertbar	01MFH, 02EFH, 03EFH, 04MFH, 09MFH, 10MFH, 12EFH, 13EFH, 18EFH, 20EFH, 21EFH, 22EFH, 23EFH, 25EFH, 26EFH, 27MFH, 28EFH, 30MFH, 31MFH, 32MFH, 33EFH, 34MFH, 35EFH, 36EFH, 37MFH, 39MFH, 41MFH, 42MFH, 45MFH, 46MFH, 50MFH, 51MFH, 55MFH, 56MFH, 58MFH, 59MFH, 60MFH, 62MFH, 70MFH, 71MFH, 84EFH, 88EFH, 91EFH, 96EFH, 98EFH
3A	Optimierung durchgeführt, keine Energieeinsparung erzielt	19EFH, 24EFH, 38EFH, 47MFH, 48MFH, 49MFH, 57MFH, 86EFH, 92EFH
3B	Optimierung durchgeführt, Energieeinsparung erzielt, aber nicht im wirtschaftlichen Bereich	05EFH, 07EFH, 79EFH, 80EFH, 82EFH, 90EFH
3C	Optimierung durchgeführt, Energieeinsparung erzielt, wirtschaftliche Maßnahme	43EFH, 44MFH, 52MFH, 61MFH, 64MFH, 65MFH, 66MFH, 67MFH, 76EFH, 77EFH, 78EFH, 81EFH, 83EFH, 89EFH, 94EFH, 97EFH

Tabelle 53 Zuordnung der Gebäude zu Gebäudeberichtstypen

Den Inhalt und Aufbau der unterschiedlichen Berichtstypen erläutert Bild 139.



Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2005 am Forschungsprojekt "Optimus" teilgenommen.

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Abschlussbericht



Gebäudeschlüssel: 97|EFH|3|GAS|0148

Adresse: Frau Sabine und Herr Nils Brandt
Rudolf-Kinau-Straße 19
26386 Wilhelmshaven

Ansprechpartner: Herr Stein

Beschreibung des Istzustands

<p>beheizte Fläche 148 m²</p> <p>Hüllfläche 270 m²</p> <p>mittlerer U-Wert 0,46 W/(m²K)</p>	<p>Baukörper:</p> <p>Anlagentechnik:</p> <p>Nutzung:</p>	<p>Das Einfamilienhaus (EFH) mit Standort Wilhelmshaven wurde 1995 in normaler Baulage erbaut. Es besteht aus zwei bewohnten Geschossen mit Spitzdach und hat keinen Keller. An der Außenfassade ist keine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit gedämmten Kunststoffrahmen ausgeführt. Die oberste Geschossdecke ist gedämmt. Bei der Optimierung wurde das gesamte Gebäude erfasst.</p> <p>Die Beheizung und die Versorgung mit Trinkwarmwasser wird über einen Gas- Niedertemperaturkessel Baujahr 1994 und zentraler Warmwasserbereitung realisiert. Die Leistung des Wärmeerzeugers beläuft sich auf 19,9 kW. Eine Pumpe ist wie der Trinkwarmwasserspeicher im Niedertemperaturkessel integriert. Die Vorlauftemperaturregelung der Anlage ist außen temperaturabhängig.</p> <p>Das Einfamilienhaus wird von fünf Personen bewohnt. Es gibt drei Räume die eingeschränkt bzw. nur teilweise beheizt werden.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Es folgt die Beschreibung des Objektes. Für den Baukörper, die Anlagentechnik und die Nutzung werden die wichtigsten bekannten Fakten kurz zusammengestellt. Sofern vorhanden werden die beheizte Fläche (Bezugsfläche für alle Flächenangaben), die gesamte wärmeübertragende Hüllfläche des beheizten Bereichs sowie der mittlere U-Wert der Hüllbauteile angegeben.

Zähler	Messzeiträume	Heizgrenze aus Messwerten
<p>1 Primärzähler (Gas oder Fernwärme)</p> <p>2 Unterzähler Heizwärme</p> <p>3 Unterzähler Trinkwarmwasserwärme</p> <p>4 Stromzähler Anlagentechnik</p>	<p>Messzeiträume:</p> <p>1. Messperiode von 11/02 bis 01/04</p> <p>2. Messperiode von 01/04 bis 03/05</p> <p>Zähler 1 als Speicherzähler? nein</p> <p>Zähler 2 als Speicherzähler? nein</p> <p>Zähler 3 als Speicherzähler? nein</p>	<p>Erläuterungen:</p> <p>Trägt man die Wärmeverbrauchswert geordnet über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln.</p> <p>Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.</p>
<p>Nutzerbefragung</p> <p>Durch die Nutzerbefragung stellte sich heraus, dass die Heizungsanlage nicht von allen befragten Mietern als tadellos funktionierend beurteilt wurde. Von drei befragten Mietparteien wurden von einer Probleme wie nicht ausreichende Beheizung und unterschiedlich schnelle Aufheizung einiger Räume bemängelt.</p>		

In der Rubrik "Zähler" sind die Zählerinrichtungen markiert, mit welchen das Gebäude ausgestattet ist. Im Beispiel sind ein Primärzähler (Gas oder Fernwärme), ein Wärmemengenzähler für die Trinkwarmwasserbereitung und ein Stromzähler vorhanden. Falls das Gebäude eine dezentrale oder anderweitig zentrale Trinkwarmwasserbereitung hat, ist dies im Bild gekennzeichnet. Die Rubrik "Messzeiträume" gibt einen Überblick über die beiden auswertbaren Messperioden sowie über die Art der Zählerinrichtungen (mit oder ohne Messdatenspeicher).

Die "Heizgrenztemperatur" wurde für alle auswertbaren Messperioden in ein Diagramm eingetragen. In der Rubrik "Nutzerbefragung" finden sich die Kurzergebnisse der Nutzerbefragungen wieder. Sie sind ggf. weiter unterteilt in eine erste und eine zweite Befragung.

Die vier genannten Rubriken sind im Berichtstyp 0 nicht vorhanden, weil es hier nicht genug Datenmaterial gibt.

Normierte Verbrauchswerte (Jahreswerte mit Witterungskorrektur)			
<p>Wärmeenergie für Heizung (ab Erzeuger)</p>	<p>Nutzungsgrad Wärmeerzeuger</p> <p>Erläuterungen:</p> <p>Der Nutzungsgrad wurde nicht gemessen, es wurden Standardwerte des Instituts Wohnen und Umwelt IWU verwendet</p>	<p>Endenergie für Heizung (Gas/Öl/Fernwärme)</p>	<p>Stromverbrauch Anlagentechnik</p>

Die "Normierten Verbrauchswerte" sind ebenfalls nicht im Berichtstyp 0 vorhanden, weil in diesen Gebäuden keine Messdatenauswertung stattgefunden hat. Für alle anderen Gebäude ist dargestellt die vom Wärmeerzeuger abgegebene Wärmemenge für die Heizung (bereinigt, bezogen auf die beheizte Fläche). Dargestellt sind in den dunklen Balken die ausgewertete Jahresmessdaten zweier Messperioden (links, Zeitangabe: Anfangsmonat und Jahr bis Endmonat und Jahr) und daneben als helle Balken nur Messwerte aus der Kernheizzeit.

Der Nutzungsgrad für den Wärmeerzeuger ist angegeben. Die Werte sind auf den Heizwert bezogen. Sofern die Daten nicht aus der Messung stammen, ist dies darunter erläutert. Bei Fernwärmeanlagen ist dies durchgängig der Fall. Die Endenergie für Heizung sowie der Stromverbrauch der Anlagentechnik sind für zwei nacheinander folgende Heizperioden angegeben (bereinigt, bezogen auf die beheizte Fläche).

Warum keine Optimierung?

Ihr Gebäude wurde nicht optimiert, weil es verglichen mit anderen seiner Baualtersklasse bereits einen sehr geringen Energieverbrauch aufweist.

Wir haben die von Ihnen gelieferten Messdaten zu Vergleichszwecken verwendet.

Die Begründung, warum das Gebäude nicht optimiert wurde findet sich in allen Berichten des Typs 1 und 2 wieder.

Optimierungsmaßnahmen und deren Investitionskosten

durchgeführte Maßnahmen zur Optimierung der Heizungsanlage:

- 1 Gebäudeaufnahme mit anschließender Heizlast- und Rohmetzberechnung.
- 2 Einbau von 14 neuen Thermostatventilen.
- 3 Voreinstellung aller 30 vorhandenen Thermostatventile.
- 4 Einbau eines Differenzdruckreglers.
- 5 Richtige Einstellung des Differenzdruckreglers.
- 6 Richtige Einstellung der Regelung.

Investitionskosten:

absolut	1200 €
bezogen auf die beheizte Fläche	3,0 €/m ²

Die Berichte für Gebäude, bei denen eine Optimierung durchgeführt wurde (Berichtstypen 3A, 3B und 3C), enthalten eine Übersicht über die "Optimierungsmaßnahmen und deren Investitionskosten".

Veränderung des Energieverbrauchs und der umweltrelevanten Emissionen (Witterungskorrigierte Werte)

	Veränderung Wärmeenergie (ab Erzeuger) für Heizung	Veränderung Endenergie (Gas/Öl/Fernwärme) für Heizung	Veränderung Stromverbrauch Anlagentechnik	Veränderung der Emissionen (als CO ₂ -Äquivalent):
absolut	3750 kWh/a	3820 kWh/a	0 kWh/a	2820 kg/a
bezogen auf die Fläche	9,8 kWh/(m ² a)	10 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	7,4 kg/(m ² a)

Begründung:

Der Wärmeenergieverbrauch in der Anlage hat sich nach der Optimierung leicht erhöht. Die genaue Ursache hierfür ist nicht bekannt. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass nach der Optimierung alle Räume des Hauses gleichmäßiger versorgt werden und somit insgesamt eine leicht höhere mittlere Raumtemperatur erreicht wird. Außerdem konnten die Beschwerden der Nutzer deutlich gemindert werden.

Wirtschaftlichkeit

Da keine Energieeinsparung zu verzeichnen ist, ist in diesem Gebäude die Optimierung der Heizungsanlage nicht wirtschaftlich.

Die optimierten Gebäude, bei denen keine Energieeinsparung zu verzeichnen ist (Berichtstyp 3A) enthalten neben der Übersicht der Energiekennwerte eine Begründung, warum keine Energie eingespart wurde. Die Aussage zur Wirtschaftlichkeit ist hier knapp.

Veränderung des Energieverbrauchs und der umweltrelevanten Emissionen (Witterungskorrigierte Werte)

	Veränderung Wärmeenergie (ab Erzeuger) für Heizung	Veränderung Endenergie (Gas/Öl/Fernwärme) für Heizung	Veränderung Stromverbrauch Anlagentechnik	Veränderung der Emissionen (als CO ₂ -Äquivalent):
absolut	-1090 kWh/a	-1110 kWh/a	105 kWh/a	-2480 kg/a
bezogen auf die Fläche	-11,2 kWh/(m ² a)	-11,4 kWh/(m ² a)	1,1 kWh/(m ² a)	-25,6 kg/(m ² a)

Wirtschaftlichkeit

Die erreichte Energieeinsparung reicht leider nicht aus, um die Maßnahme wirtschaftlich zu machen. Jährliche zusätzliche Kapitalkosten von etwa 80 €/a stehen eingesparten Energiekosten von 62 €/a gegenüber (Mittelwerte der nächsten 15 Jahre).

Die optimierten Gebäude, bei denen zwar eine Energieeinsparung zu verzeichnen ist, aber keine Wirtschaftlichkeit (Berichtstyp 3B) enthalten neben der Übersicht der Energiekennwerte eine Begründung, warum keine Wirtschaftlichkeit erreicht wurde.

Veränderung des Energieverbrauchs und der umweltrelevanten Emissionen (Witterungskorrigierte Werte)

	Veränderung Wärmeenergie (ab Erzeuger) für Heizung	Veränderung Endenergie (Gas/Öl/Fernwärme) für Heizung	Veränderung Stromverbrauch Anlagentechnik	Veränderung der Emissionen (als CO ₂ -Äquivalent):
absolut	-25590 kWh/a	-31700 kWh/a	-938 kWh/a	-6900 kg/a
bezogen auf die Fläche	-22,1 kWh/(m ² a)	-27,3 kWh/(m ² a)	-0,8 kWh/(m ² a)	-6 kg/(m ² a)

Wirtschaftlichkeit

Die Maßnahmen zur Heizungsoptimierung sind in Ihrem Gebäude langfristig wirtschaftlich, weil die eingesparten Energiekosten größer sind als die Investition in die Optimierung.	langfristige jährliche Energiekostensparnis (über 15 Jahre):	2692 €/a
	langfristige mittlere Kapitalkosten und ggf. Wartungskosten für die Investition (Abzahlung über 15 Jahre):	504 €/a

Bei den Gebäuden, bei denen im wirtschaftlichen Umfang Energie gespart werden konnte (Berichtstyp 3C) enthält der Bericht neben der Übersicht der Energiekennwerte eine Aussage zu den Kosteneinsparungen. Die langfristig jährlich eingesparten Energiekosten sind den langfristigen Mehrkosten für die Investition (Kapitalkosten) gegenübergestellt.

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebäudestatistik		Optimierungsmaßnahmen im Projekt		Optimierungskosten	
	Zahl	beheizte Fläche		Anzahl	
Gebäude insgesamt	92	40994 m ²	Thermostatventile Einstellung	1064 mal	absolut 41832 €
optimiert	31	11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung	29 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
nicht optimiert	61	29543 m ²	Regelung Einstellung	29 mal	
Einfamilienhäuser	52	7506 m ²	Thermostatventile Einbau/Tausch	854 mal	
Mehrfamilienhäuser	40	33488 m ²	Pumpe Austausch	16 mal	
			Differenzdruckregler Einbau	7 mal	
			Filtereinbau	2 mal	3,65 €/m ²
Verbrauchsdaten (bereinigt) Wärmeenergie ab Erzeuger		Energieeinsparung optimierte Gebäude verglichen mit nicht optimierten Gebäuden		Emissionsminderung	
	Messzeit 1				
nicht optimierte Gebäude	122 kWh/(m ² a)	Wärmeenergie ab Erzeuger	7 kWh/(m ² a) 90000 kWh/a	absolut	28300 kg/a
	Messzeit 2			bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude	
	121 kWh/(m ² a)	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme)	8 kWh/(m ² a) 106000 kWh/a		
optimierte Gebäude	Messzeit 1 (vorher)				
	129 kWh/(m ² a)	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik)	0,3 kWh/(m ² a) 4000 kWh/a		2,1 kg/(m ² a)
	Messzeit 2 (nachher)				
	121 kWh/(m ² a)				

Alle Gebäudeberichte weisen eine Rubrik "Ergebnisse für das Gesamtprojekt" auf. Hier sind in der oberen Zeile statistische Daten des OPTIMUS-Projekts zusammengestellt. Zum einen die untersuchten Gebäudezahlen und Flächen. Dann die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen und Gesamtkosten.

In der unteren Zeile finden sich die Energiekennwerte wieder. Zum einen die bereinigten Verbrauchsdaten für die Wärmeenergie der Heizung (gemessen ab Erzeuger) in den optimierten und nicht optimierten Gebäuden. Die optimierten Gebäude weisen nach der Optimierung einen Verbrauch von 121 kWh/(m²a) gegenüber vorher 129 kWh/(m²a) auf. Die nicht optimierten Gebäude haben in beiden Messperioden einen fast gleichen Verbrauch von 121 ... 122 kWh/(m²a).

Die Energieeinsparung, die durch die Optimierung erreicht werden konnte ist als Mittelwert aller optimierten Gebäude dargestellt. Zum Schluss wird eine Aussage über die Emissionsminderung gemacht.

Empfehlung für Ihr Gebäude

Wir konnten im Projekt "Optimus" eine mittlere Heizenergieeinsparung aller optimierten Gebäude von 8 kWh/(m²a) erreichen. Das sind etwa 800 kWh/a (40 € pro Jahr) bei einem 100 m² großen Einfamilienhaus oder 8000 kWh/a (400 € pro Jahr) in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen. Die Energie- und Kostenersparnis ist langfristig höher, weil die Energiekosten steigen.

Die Einsparung war am größten in den neuen Gebäuden mit Baujahren ab 1995. Fast genauso gut schnitten die Gebäude mit Baujahren zwischen 1977 und 1994 sowie die nachträglich baulich modernisierten Gebäude (Wärmedämmung, neue Fenster) ab.

Da Ihr Gebäude zu der Gruppe der Gebäude zählt, in denen viel Energie eingespart werden kann, empfehlen wir Ihnen die Optimierung der Heizungsanlage durch eine geschulte Heizungsbaufachfirma. Sie können mit dieser recht preiswerten Maßnahme Energie sparen und damit Ihren Geldbeutel und die Umwelt schonen. Bei Interesse wenden Sie sich an den Heizungsbaumeister Ihres Vertrauens, eine Innung oder den Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima in Ihrer Region.

Alle Berichte für nicht optimierte Gebäude (Berichtstypen 0, 1 und 2) enthalten "Empfehlungen" für das Gebäude.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie - an der auch Ihr Gebäude mit Messergebnissen und Gebäudedaten vertreten war - werden im Sommer/Herbst 2005 veröffentlicht.

Wir beabsichtigen, die Erkenntnisse über die Einsparmöglichkeiten sowohl an Endverbraucher wie Sie, das Handwerk und an die Gesetzgeber in Deutschland weiterzugeben. Die Gebäudenutzer sollen erfahren, welche Potentiale sich ergeben, wenn man eine Heizungsanlagenoptimierung z.B. an eine Wärmedämmung des Gebäudes anschließt. Mit einem geringen Mehraufwand an Kosten kann viel Energie gespart werden. Gleiches gilt natürlich auch im Neubau: eine vernünftige Anlage rechnet sich. Das Handwerk informieren wir über die Vorgehensweise bei der Optimierung und bieten Hilfsmittel für die Berechnung am PC an. Und die Gesetzgebung unterstützt uns im besten Fall damit, dass sie eine Heizungsanlagenoptimierung immer da vorschreibt oder honoriert, wo sie Sinn macht.

Dank

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit an diesem Forschungsprojekt. Sie haben uns geholfen, zu zeigen, dass eine optimale Anlagentechnik energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sein kann - im richtigen Gebäude und natürlich nur mit der Mithilfe der Bewohner!

Ihre Optimus Gruppe: Innung SHK Wilhelmshaven, FPB an der Uni Bremen, Berufsbildende Schulen II in Aurich, Wilo AG in Dortmund und das TWW an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (verantwortlich für diesen Bericht).

Die letzte Rubrik, die ebenfalls in allen Berichten enthalten ist, gibt einen kurzen Ausblick über die weiteren Arbeiten auf dem Gebiet der Optimierung und spricht den Teilnehmern einen Dank aus.

Bild 139 Gebäudebericht mit Erläuterungen

Die nachfolgenden Bilder geben einen Überblick über das Layout der 6 verschiedenen Gebäudeberichtstypen.

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Abschlussbericht

Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2003 ein Forschungsprojekt "Optimus" abgeschlossen.

Gedächtnisprotokoll der Deutsche Bundesagentur für Umwelt (DBU)

Gebüdeschlüssel: **93EFH3GAS**

Adresse: **Frau Heike und Herr Harald Kempchen**
Wartestraße 16a
26388 Wilhelmshaven

Ansprechpartner: **Herr Stein**



Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Einfamilienhaus (EFH) mit Standort Wilhelmshaven wurde 1995 in normaler Baulage erbaut. Weitere Angaben zum Baukörper sind nicht bekannt.

Anlagentechnik: Die Beheizung und die Versorgung mit Trinkwasser wird über einen Gaskessel realisiert. Weitere Angaben zur Anlagentechnik sind nicht bekannt.

Nutzung: Die Anzahl der Personen die das EFH bewohnen ist unbekannt.

Bild 140 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 0

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Abschlussbericht

Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2003 ein Forschungsprojekt "Optimus" abgeschlossen.

Gedächtnisprotokoll der Deutsche Bundesagentur für Umwelt (DBU)

Gebüdeschlüssel: **87EFH2GAS0170**

Adresse: **Frau Ruth und Herr Bernd van Kampen**
Posener Straße 25
26452 Sande

Ansprechpartner: **Herr Stein**



Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Einfamilienhaus (EFH) mit Standort Wilhelmshaven wurde 1979 in normaler Baulage erbaut. Es besteht aus zwei bewohnten Geschossen mit Spitzdach und hat keinen Keller. An der Außenfassade ist keine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 3-Scheiben-Isolierverglasung mit Kunststoffrahmen ausgeführt. Die drehbare Geschloßteile ist nicht gedämmt. Bei der Optimierung wurde das gesamte Gebäude erfasst.

beheizte Fläche: 170 m²

Hüllfläche: 324 m²

mittlerer U-Wert: 0,99 W/(m²K)

Nutzung: Das Einfamilienhaus wird von zwei Personen bewohnt. Es gibt zwei Räume die eingeschichtelt bzw. nur teilweise beheizt werden.

Zähler

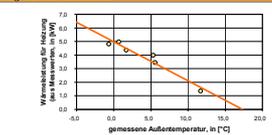
1 Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2 Unterdrehzahl Heizkörpertemperatur
3 Unterdrehzahl Trinkwasser-Isolierverglasung
4 Stromzähler Anlagentechnik

Wärme-erzeuger Wasser-speicher

Messzeitpunkte

Messzeitraum:
1. Messzeitraum von 11.02.01.04 bis 01.04.
2. Messzeitraum von 01.02.01.04 bis 01.04.
Zähler 1 als Speicherzähler? nein
Zähler 2 als Speicherzähler? nein
Zähler 3 als Speicherzähler? nein

Heizgrenze aus Messwerten



Wärmeleistung für Heizung in kW (y-axis) vs. gemessene Außentemperatur in °C (x-axis)

Erläuterungen:
Trägt man die Wärmeleistungsbeobachtung gegenüber über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizkurve ermitteln.
Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Nutzerbefragung

Durch die Nutzerbefragung ergab sich, dass die Heizungsanlage ohne auffällige Mängel betrieben wird und 'ideal' funktioniert.

Bild 141 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 1

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebüdestatistik	Optimierungsmaßnahmen im Projekt	Optimierungskosten
Zahl beheizte Fläche	Anzahl	absolut
Gebäude insgesamt 92 40994 m ²	Thermolatventile Einstellung 1064 mal	41832 €
optimiert 31 11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung 29 mal	
nicht optimiert 61 29543 m ²	Regelung Einstellung 29 mal	
Einfamilienhäuser 52 7506 m ²	Thermolatventile Einbau/Tausch 854 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
Mehrfamilienhäuser 40 33488 m ²	Pumpe Austausch 15 mal	
	Differenzdruckregler Einbau 7 mal	3,65 €/m ²
	Filtereinbau 2 mal	

Verbrauchsdaten (bereinigt)

Wärmenergie ab Erzeuger	Energieeinsparung optimierte Gebäude verglichen mit nicht optimierten Gebäuden	Emissionsminderung
nicht optimierte Gebäude 122 kWh/(m ² a)	Wärmenergie ab Erzeuger 7 kWh/(m ² a)	absolut 28300 kg/a
optimierte Gebäude 129 kWh/(m ² a)	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme) 8 kWh/(m ² a)	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik) 0,3 kWh/(m ² a)	2,1 kg/(m ² a)

Empfehlung für Ihr Gebäude

Wir konnten im Projekt "Optimus" eine mittlere Heizenergieeinsparung aller optimierten Gebäude von 8 kWh/(m²a) erreichen. Das sind etwa 800 kWh/a (40 € pro Jahr) bei einem 100 m² großen Einfamilienhaus oder 8000 kWh/a (400 € pro Jahr) in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen. Die Energie- und Kostenersparnis ist langfristig höher, weil die Energiekosten steigen.

Die Einsparung war am größten in den neuen Gebäuden mit Baujahren ab 1995. Fast genauso gut schnitten die Gebäude mit Baujahren zwischen 1977 und 1994 sowie die nachträglich baulich modernisierten Gebäude (Wärmedämmung, neue Fenster) ab.

Da Ihr Gebäude zu der Gruppe der Gebäude zählt, in denen viel Energie eingespart werden kann, empfehlen wir Ihnen die Optimierung der Heizungsanlage durch eine geschulte Heizungsbaufirma. Sie können mit dieser recht preiswerten Maßnahme Energie sparen und damit Ihren Geldbeutel und die Umwelt schonen. Bei Interesse wenden Sie sich an den Heizungsbaumeister Ihres Vertrauens, eine Innung oder den Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima in Ihrer Region.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie - an der auch Ihr Gebäude mit Messergebnissen und Gebäudedaten vertreten war - werden im Sommer/Herbst 2005 veröffentlicht. Wir beschreiben die Erkenntnisse über die Einsparungsmöglichkeiten sowohl an Endverbraucher wie Sie, das Handwerk und an die Gesetzgeber in Deutschland weiterzugeben. Die Gebäudenutzer sollen erfahren, welche Potentiale sich ergeben, wenn man eine Heizungsanlagenoptimierung z.B. an eine Wärmedämmung des Gebäudes anschließt. Mit einem geringen Mehraufwand an Kosten kann viel Energie gespart werden. Gleiches gilt natürlich auch im Neubau: eine vernünftige Anlage rechnet sich. Das Handwerk informieren wir über die Vorgehensweise bei der Optimierung und bieten Hilfsmittel für die Berechnung am PC an. Und die Gesetzgebung unterstützen uns im besten Fall damit, dass sie eine Heizungsanlagenoptimierung immer da vorschreibt oder honoriert, wo sie Sinn macht.

Dank

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit an diesem Forschungsprojekt. Sie haben uns geholfen, zu zeigen, dass eine optimale Anlagentechnik energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sein kann - im richtigen Gebäude und natürlich nur mit der Mithilfe der Bewohner!

Ihre Optimus Gruppe: Innung SHK Wilhelmshaven, FPB an der Uni Bremen, Berufsbildende Schulen II in Aurich, Wilo AG in Dortmund und das TWW an der Fachhochschule Braunschweig/Wolferbutel (verantwortlich für diesen Bericht).

Normierte Verbrauchswerte (Jahreswerte mit Witterungskorrektur)

Wärmenergie für Heizung (ab Erzeuger)	Nutzungsgrad Wärmezeuger	Endenergie für Heizung (Gas/Öl/Fernwärme)	Stromverbrauch Anlagentechnik
Wärmenergie für Heizung in kWh/(m ² a)	Nutzungsgrad in %	Endenergie für Heizung in kWh/(m ² a)	Stromverbrauch in kWh/(m ² a)
aus Jahresmesswerten bestimmt	aus Jahresmesswerten bestimmt	aus Jahresmesswerten bestimmt	aus Jahresmesswerten bestimmt
11.02.-01.04.	11.02.-01.04.	11.02.-01.04.	11.02.-01.04.
mit Max-Messwerten der Normheizlast bestimmt	mit Max-Messwerten der Normheizlast bestimmt		

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebüdestatistik	Optimierungsmaßnahmen im Projekt	Optimierungskosten
Zahl beheizte Fläche	Anzahl	absolut
Gebäude insgesamt 92 40994 m ²	Thermolatventile Einstellung 1064 mal	41832 €
optimiert 31 11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung 29 mal	
nicht optimiert 61 29543 m ²	Regelung Einstellung 29 mal	
Einfamilienhäuser 52 7506 m ²	Thermolatventile Einbau/Tausch 854 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
Mehrfamilienhäuser 40 33488 m ²	Pumpe Austausch 15 mal	
	Differenzdruckregler Einbau 7 mal	3,65 €/m ²
	Filtereinbau 2 mal	

Verbrauchsdaten (bereinigt)

Wärmenergie ab Erzeuger	Energieeinsparung optimierte Gebäude verglichen mit nicht optimierten Gebäuden	Emissionsminderung
nicht optimierte Gebäude 122 kWh/(m ² a)	Wärmenergie ab Erzeuger 7 kWh/(m ² a)	absolut 28300 kg/a
optimierte Gebäude 129 kWh/(m ² a)	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme) 8 kWh/(m ² a)	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik) 0,3 kWh/(m ² a)	2,1 kg/(m ² a)

Empfehlung für Ihr Gebäude

Wir konnten im Projekt "Optimus" eine mittlere Heizenergieeinsparung aller optimierten Gebäude von 8 kWh/(m²a) erreichen. Das sind etwa 800 kWh/a (40 € pro Jahr) bei einem 100 m² großen Einfamilienhaus oder 8000 kWh/a (400 € pro Jahr) in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen. Die Energie- und Kostenersparnis ist langfristig höher, weil die Energiekosten steigen.

Die Einsparung war am größten in den neuen Gebäuden mit Baujahren ab 1995. Fast genauso gut schnitten die Gebäude mit Baujahren zwischen 1977 und 1994 sowie die nachträglich baulich modernisierten Gebäude (Wärmedämmung, neue Fenster) ab.

Ihr Gebäude ist noch nicht modernisiert. In Verbindung mit der nächsten größeren Investition in das Haus (Dämmung, Kessel o.ä.) raten wir Ihnen, eine Optimierung in Betracht zu ziehen. Sie können mit dieser recht preiswerten Maßnahme Energie sparen und damit Ihren Geldbeutel und die Umwelt schonen. Bei Interesse wenden Sie sich an den Heizungsbaumeister Ihres Vertrauens, eine Innung oder den Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima in Ihrer Region.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie - an der auch Ihr Gebäude mit Messergebnissen und Gebäudedaten vertreten war - werden im Sommer/Herbst 2005 veröffentlicht. Wir beschreiben die Erkenntnisse über die Einsparungsmöglichkeiten sowohl an Endverbraucher wie Sie, das Handwerk und an die Gesetzgeber in Deutschland weiterzugeben. Die Gebäudenutzer sollen erfahren, welche Potentiale sich ergeben, wenn man eine Heizungsanlagenoptimierung z.B. an eine Wärmedämmung des Gebäudes anschließt. Mit einem geringen Mehraufwand an Kosten kann viel Energie gespart werden. Gleiches gilt natürlich auch im Neubau: eine vernünftige Anlage rechnet sich. Das Handwerk informieren wir über die Vorgehensweise bei der Optimierung und bieten Hilfsmittel für die Berechnung am PC an. Und die Gesetzgebung unterstützen uns im besten Fall damit, dass sie eine Heizungsanlagenoptimierung immer da vorschreibt oder honoriert, wo sie Sinn macht.

Dank

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit an diesem Forschungsprojekt. Sie haben uns geholfen, zu zeigen, dass eine optimale Anlagentechnik energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sein kann - im richtigen Gebäude und natürlich nur mit der Mithilfe der Bewohner!

Ihre Optimus Gruppe: Innung SHK Wilhelmshaven, FPB an der Uni Bremen, Berufsbildende Schulen II in Aurich, Wilo AG in Dortmund und das TWW an der Fachhochschule Braunschweig/Wolferbutel (verantwortlich für diesen Bericht).

Abschlussbericht

Gebüchschlüssel: 31MFH1FW_1490

Adresse: Teichgarten 1+3+5
38440 Wolfsburg

Anspruchspartner: Herr Jehmet



Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2005 ein Forschungsprojekt "Optimus" abgeschlossen.

Getragen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

DBU

Deutscher Bund der Wissenschaftszentren

Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Mehrfamilienhaus (MFH) mit Standort Wolfsburg wurde 1968 in normaler Bauweise erbaut. Es besteht aus drei bewohnten Geschossen mit Spitzdach und Keller. An der Außenfassade ist keine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmehaushaltung mit getöntem Kunststoffrahmen ausgestattet. Die Decke zum unteren Keller ist im Gegensatz zur oberen Geschossecke nicht gedämmt. Bei der Optimierung wurde das gesamte Gebäude erfasst. Für den Kompaktheitsgrad (A-Hilfskennwertes Volumen) des Gebäudes lässt sich ein Wert von 0,55 m³/m² bestimmen.

beheizte Fläche: 1490 m²

Hüllfläche: 2482 m²

mittlerer U-Wert: 0,91 W/(m²K)

Nutzung: Auf der vier bewohnten Geschossen sind sechzehn Wohnungen angeordnet. Die Bezahlrzahl wird auf ca. 48 Personen geschätzt.

Zähler

1. Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2. Unterdrehzahl Heizstrahlr
3. Unterdrehzahl Trinkwasserwasserzähler
4. Stromzähler
5. Stromzähler

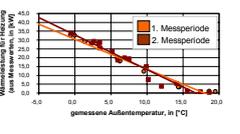
Wärme-erzeuger Wasser- speicher

Messzeiträume

Messzeitraum:
1. Messperiode von 11.02. bis 11.03.
2. Messperiode von 12.03. bis 02.05.

Zähler 1 als Speicherzähler? nein
Zähler 2 als Speicherzähler? nein
Zähler 3 als Speicherzähler? nein

Heizzeits aus Messwerten



Wärmeleistung in Heizzeit (kWh/m²/h) vs. gemessene Außentemperatur in [°C]

1. Messperiode
2. Messperiode

Nutzerbefragung

Durch die Nutzerbefragung stellte sich heraus, dass die Heizungsanlage nicht lückenlos funktioniert. Es wurde das Problem von Luft im Anlagensystem bemängelt.

Träger der Wärmebrückenachse geortet über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln. Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Bild 142 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 2

Abschlussbericht

Gebüchschlüssel: 47MFH2FW_0407

Adresse: Wiedweg 1
38120 Braunschweig

Anspruchspartner: Herr Schluder



Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2005 ein Forschungsprojekt "Optimus" abgeschlossen.

Getragen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

DBU

Deutscher Bund der Wissenschaftszentren

Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Mehrfamilienhaus (MFH) mit Standort Braunschweig wurde 1983 in normaler Bauweise erbaut. Es besteht aus vier bewohnten Geschossen mit Flachdach und Keller. An der Außenfassade ist eine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmehaushaltung mit Kunststoffrahmen ausgestattet. Weiter das Decke zum unteren Keller noch die obere Geschossecke ist gedämmt. Bei der Optimierung wurde nur ein Teil des Gebäudes erfasst. Für den Kompaktheitsgrad (A-Hilfskennwertes Volumen) des Gebäudes lässt sich ein Wert von 0,71 m³/m² bestimmen.

beheizte Fläche: 407 m²

Hüllfläche: 793 m²

mittlerer U-Wert: 1,12 W/(m²K)

Nutzung: Auf den vier bewohnten Geschossen sind acht Wohnungen angeordnet. Daraus ergibt sich eine Bezahlrzahl von ca. 16 Personen geschätzt.

Zähler

1. Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2. Unterdrehzahl Heizstrahlr
3. Unterdrehzahl Trinkwasserwasserzähler
4. Stromzähler
5. Stromzähler

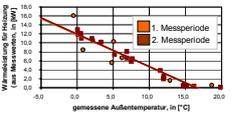
Wärme-erzeuger Wasser- speicher

Messzeiträume

Messzeitraum:
1. Messperiode von 11.02. bis 11.03.
2. Messperiode von 11.03. bis 02.05.

Zähler 1 als Speicherzähler? nein
Zähler 2 als Speicherzähler? nein
Zähler 3 als Speicherzähler? nein

Heizzeits aus Messwerten



Wärmeleistung in Heizzeit (kWh/m²/h) vs. gemessene Außentemperatur in [°C]

1. Messperiode
2. Messperiode

Nutzerbefragung

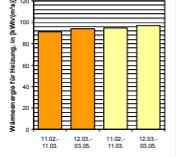
Vorher: Durch die Nutzerbefragung stellte sich heraus, dass die Heizungsanlage nicht lückenlos funktioniert. Es wurden Probleme wie Fliesen der Thermostatventile und lange Aufheizzeiten bemängelt.

Nachher: k.A.

Träger der Wärmebrückenachse geortet über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln. Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Normierte Verbrauchswerte (Jahreswerte mit Witterungskorrektur)

Wärmemenge für Heizung (Erzeuger) (ab)



Wärmemenge für Heizung, in kWh/m²

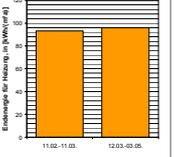
Nutzungsgrad Wärmeerzeuger



Nutzungsgrad (%)

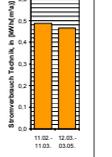
Erklärungen:
Der Nutzungsgrad wurde nicht gemessen, es wurden Standardwerte des Instituts Wohnat und Umwelt (WU) verwendet.

Endenergie für Heizung (Gas/Oil/Fernwärme)



Endenergie für Heizung, in kWh/m²

Stromverbrauch Anlagentechnik



Stromverbrauch, in kWh/m²

Warum keine Optimierung?

Ihr Gebäude wurde nicht optimiert, weil es verglichen mit anderen seiner Bauklassen bereits einen sehr geringen Energieverbrauch aufweist. Wir haben die von Ihnen gelieferten Messdaten zu Vergleichszwecken verwendet.

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebüchstatistik	Optimierungsmaßnahmen im Projekt	Optimierungskosten
Gebäude insgesamt: 92, beheizte Fläche: 40994 m ²	Thermostatventile Einstellung: 1064 mal	absolut: 41832 €
optimiert: 31, 11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung: 29 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
nicht optimiert: 61, 29543 m ²	Thermostatventile Einbau/Tausch: 854 mal	
Einfamilienhäuser: 52, 7506 m ²	Pumpe Austausch: 15 mal	
Mehrfamilienhäuser: 40, 33488 m ²	Differenzdruckregler Einbau: 7 mal	
	Filtereinbau: 2 mal	3,65 €/m ²

Verbrauchsdaten (bereinigt) Wärmemenge ab Erzeuger

Wärmemenge ab Erzeuger	Energieeinsparung optimierte Gebäude	Emissionsminderung
nicht optimierte Gebäude: 122 kWh/(m ² a)	Wärmemenge ab Erzeuger: 7 kWh/(m ² a)	absolut: 28300 kg/a
optimierte Gebäude: 121 kWh/(m ² a)	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme): 8 kWh/(m ² a)	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik): 0,3 kWh/(m ² a)	2,1 kg/(m ² a)

Empfehlung für Ihr Gebäude

Wir konnten im Projekt "Optimus" eine mittlere Heizeneinsparung aller optimierten Gebäude von 8 kWh/(m²a) erreichen. Das sind etwa 800 kWh/a (40 € pro Jahr) bei einem 100 m² großen Einfamilienhaus oder 8000 kWh/a (400 € pro Jahr) in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen. Die Energie- und Kosteneinsparung ist langfristig höher, weil die Energiekosten steigen. Die Einsparung war am größten in den neuen Gebäuden mit Baujahren ab 1995. Fast genauso gut schnitten die Gebäude mit Baujahren zwischen 1977 und 1994 sowie die nachträglich baulich modernisierten Gebäude (Wärmedämmung, neue Fenster) ab.

Ihr Gebäude ist noch nicht modernisiert. In Verbindung mit der nächsten größeren Investition in das Haus (Dämmung, Fenstertausch, Arbeiten an der Heizung o.ä.) zöten wir Ihnen, eine Optimierung in Betracht zu ziehen. Auch die Mängel bei der Wärmeverteilung können dabei behoben werden! Sie können mit dieser recht preiswerten Maßnahme Energie sparen und damit Ihren Gebäuden und die Umwelt schonen. Bei Interesse wenden Sie sich an den Heizungsbaumeister Ihres Vertrauens, eine Innung oder den Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima in Ihrer Region.

Abschlussbericht

Gebüchschlüssel: 47MFH2FW_0407

Adresse: Wiedweg 1
38120 Braunschweig

Anspruchspartner: Herr Schluder



Das Gebäude hat in der Zeit vom 01.08.2002 bis zum 31.03.2005 ein Forschungsprojekt "Optimus" abgeschlossen.

Getragen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

DBU

Deutscher Bund der Wissenschaftszentren

Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Mehrfamilienhaus (MFH) mit Standort Braunschweig wurde 1983 in normaler Bauweise erbaut. Es besteht aus vier bewohnten Geschossen mit Flachdach und Keller. An der Außenfassade ist eine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmehaushaltung mit Kunststoffrahmen ausgestattet. Weiter das Decke zum unteren Keller noch die obere Geschossecke ist gedämmt. Bei der Optimierung wurde nur ein Teil des Gebäudes erfasst. Für den Kompaktheitsgrad (A-Hilfskennwertes Volumen) des Gebäudes lässt sich ein Wert von 0,71 m³/m² bestimmen.

beheizte Fläche: 407 m²

Hüllfläche: 793 m²

mittlerer U-Wert: 1,12 W/(m²K)

Nutzung: Auf den vier bewohnten Geschossen sind acht Wohnungen angeordnet. Daraus ergibt sich eine Bezahlrzahl von ca. 16 Personen geschätzt.

Zähler

1. Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2. Unterdrehzahl Heizstrahlr
3. Unterdrehzahl Trinkwasserwasserzähler
4. Stromzähler
5. Stromzähler

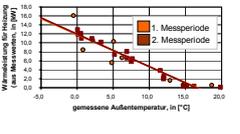
Wärme-erzeuger Wasser- speicher

Messzeiträume

Messzeitraum:
1. Messperiode von 11.02. bis 11.03.
2. Messperiode von 11.03. bis 02.05.

Zähler 1 als Speicherzähler? nein
Zähler 2 als Speicherzähler? nein
Zähler 3 als Speicherzähler? nein

Heizzeits aus Messwerten



Wärmeleistung in Heizzeit (kWh/m²/h) vs. gemessene Außentemperatur in [°C]

1. Messperiode
2. Messperiode

Nutzerbefragung

Vorher: Durch die Nutzerbefragung stellte sich heraus, dass die Heizungsanlage nicht lückenlos funktioniert. Es wurden Probleme wie Fliesen der Thermostatventile und lange Aufheizzeiten bemängelt.

Nachher: k.A.

Träger der Wärmebrückenachse geortet über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln. Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Optimierungsmaßnahmen und deren Investitionskosten

durchgeführte Maßnahmen zur Optimierung der Heizungsanlage:

- Gebüchstatistik mit anschließender Heizlast- und Rohmierzählung.
- Einbau von 40 neuen Thermostatventilen.
- Voreinstellung aller 40 vorhandenen Thermostatventile.
- Einbau eines Differenzdruckreglers.
- Richtige Einstellung des Differenzdruckreglers.
- Richtige Einstellung der Regelung.

Investitionskosten:

absolut: 2100 €

bezogen auf die beheizte Fläche: 5,1 €/m²

Warum keine Optimierung?

Ihr Gebäude wurde nicht optimiert, weil es verglichen mit anderen seiner Bauklassen bereits einen sehr geringen Energieverbrauch aufweist. Wir haben die von Ihnen gelieferten Messdaten zu Vergleichszwecken verwendet.

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebüchstatistik	Optimierungsmaßnahmen im Projekt	Optimierungskosten
Gebäude insgesamt: 92, beheizte Fläche: 40994 m ²	Thermostatventile Einstellung: 1064 mal	absolut: 41832 €
optimiert: 31, 11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung: 29 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
nicht optimiert: 61, 29543 m ²	Thermostatventile Einbau/Tausch: 854 mal	
Einfamilienhäuser: 52, 7506 m ²	Pumpe Austausch: 15 mal	
Mehrfamilienhäuser: 40, 33488 m ²	Differenzdruckregler Einbau: 7 mal	
	Filtereinbau: 2 mal	3,65 €/m ²

Verbrauchsdaten (bereinigt) Wärmemenge ab Erzeuger

Wärmemenge ab Erzeuger	Energieeinsparung optimierte Gebäude	Emissionsminderung
nicht optimierte Gebäude: 122 kWh/(m ² a)	Wärmemenge ab Erzeuger: 7 kWh/(m ² a)	absolut: 28300 kg/a
optimierte Gebäude: 121 kWh/(m ² a)	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme): 8 kWh/(m ² a)	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik): 0,3 kWh/(m ² a)	2,1 kg/(m ² a)

Empfehlung für Ihr Gebäude

Wir konnten im Projekt "Optimus" eine mittlere Heizeneinsparung aller optimierten Gebäude von 8 kWh/(m²a) erreichen. Das sind etwa 800 kWh/a (40 € pro Jahr) bei einem 100 m² großen Einfamilienhaus oder 8000 kWh/a (400 € pro Jahr) in einem Mehrfamilienhaus mit 12 Wohnungen. Die Energie- und Kosteneinsparung ist langfristig höher, weil die Energiekosten steigen. Die Einsparung war am größten in den neuen Gebäuden mit Baujahren ab 1995. Fast genauso gut schnitten die Gebäude mit Baujahren zwischen 1977 und 1994 sowie die nachträglich baulich modernisierten Gebäude (Wärmedämmung, neue Fenster) ab.

Ihr Gebäude ist noch nicht modernisiert. In Verbindung mit der nächsten größeren Investition in das Haus (Dämmung, Fenstertausch, Arbeiten an der Heizung o.ä.) zöten wir Ihnen, eine Optimierung in Betracht zu ziehen. Auch die Mängel bei der Wärmeverteilung können dabei behoben werden! Sie können mit dieser recht preiswerten Maßnahme Energie sparen und damit Ihren Gebäuden und die Umwelt schonen. Bei Interesse wenden Sie sich an den Heizungsbaumeister Ihres Vertrauens, eine Innung oder den Fachverband Sanitär-, Heizung-, Klima in Ihrer Region.

Bild 143 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 3A

Abschlussbericht

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Das Gebäude hat in der Zeit von 01.03.2002 bis zum 31.03.2005 ein Forschungsprojekt "Optimus" mitgenommen.

Gebäudechlüssel: 90(E)H2GAS0207

Adresse: Frau Ines und Herr Reiner Scherf
Beinhaltee 26
26389 Wilhelmshaven

Anspruchspartner: Herr Stein



Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Das Einfamilienhaus (EFH) mit Standard-Wilhelmshaven wurde 1994 in normaler Baugüte erbaut. Es besteht aus zwei bewehrten Geschossen mit Spitzdach und hat keinen Keller. An der Außenfassade ist keine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Isolierverglasung mit Kunststoffrahmen ausgeführt. Die oberste Geschosshöhe ist gemindert. Bei der Optimierung wurde das gesamte Gebäude erfasst.

beheizte Fläche: 207 m²

Hilffläche: 271 m²

mittlerer U-Wert: 0,70 W/(m²K)

Nutzung: Das Einfamilienhaus wird von vier Personen bewohnt. Es gibt die Räume die eingeschätzt bzw. nur teilweise beheizt werden.

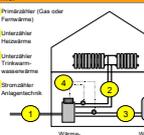
Anlagentechnik:

Die Beheizung und die Versorgung mit Trinkwasser wird über einen Gas-Niederdruckkessel (Bauphase 1994) und zentraler Warmwasserbereitung realisiert. Die Leistung des Wärmegerätes beträgt sich auf 27 kW. Eine Pumpe ist im Niederdruckkessel integriert. Ein Trinkwasserreservoir mit Zirkulation ermöglicht die Bereitstellung des Warmwassers. Die Vorlauftemperatur der Anlage ist subambientenabhängig und die Thermostatventile nicht vorverstellbar.

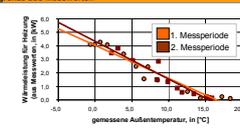
Zähler

1 Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2 Unterdrehler Heizwärme
3 Unterdrehler Trinkwasser-wassermenge
4 Stromzähler Anlagentechnik

Messzeiträume:
1. Messperiode von 11.02 bis 01.04
2. Messperiode von 01.04 bis 11.04
Zähler 1 an Speicherzähler? nein
Zähler 2 an Speicherzähler? ja
Zähler 3 an Speicherzähler? ja



Heizergang aus Messwerten



Erklärungen:
Trägt man die Wärmeverbrauchswerte gegenüber über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln.
Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Nutzerbefragung

Vorher: Durch die Nutzerbefragung ergab sich, dass die Heizungsanlage ohne auffällige Mängel betrieben wird und tadellos funktioniert.

Nachher: k.A.

Normierte Verbrauchswerte (Jahreswerte mit Witterungskorrektur)

Wärmemenge für Heizung (ab Erzeuger)
Wärmemenge für Heizung, in kWh/m² (ab Erzeuger)
11.02-01.04, 01.04-11.04, 11.02-01.04, 01.04-11.04
aus Jahresmesswerten bestimmt

Nutzungsgrad Wärmegeräts
Nutzungsgrad (%)
11.02-01.04, 01.04-11.04
aus Messwerten der Heizzeit bestimmt
Erklärungen: Der Nutzungsgrad ist auf die Heizzeit bezogen (maximal wären 111 % erreichbar).

Endenergie für Heizung (Gas/Öl/Fernwärme)
Endenergie für Heizung, in kWh/m²
11.02-01.04, 01.04-11.04
aus Jahresmesswerten bestimmt

Stromverbrauch Anlagentechnik
Stromverbrauch Technik, in kWh/m²
11.02-01.04, 01.04-11.04
aus Jahresmesswerten bestimmt

Bild 144 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 3B

Abschlussbericht

OPTIMUS
OPTIMAL ENERGIE NUTZEN

Das Gebäude hat in der Zeit von 01.03.2002 bis zum 31.03.2005 ein Forschungsprojekt "Optimus" mitgenommen.

Gebäudechlüssel: 44(M)H3FW_J1250

Adresse: Hinter Liebfrauen 3
38100 Braunschweig

Anspruchspartner: Herr Schilder



Beschreibung des Istzustands

Baukörper: Der Mehrfamilienhaus (MFH) mit Standard-Braunschweig wurde 1999 in normaler Baugüte erbaut. Es besteht aus vier bewehrten Geschossen mit Spitzdach und Keller. An der Außenfassade ist keine nachträgliche Dämmung angebracht. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmehaubeisverglasung mit Kunststoffrahmen ausgeführt. Die Dicke zum untersten Keller ist im Gegensatz zu oberen Geschossen nicht gemindert. Bei der Optimierung wurde nur ein Teil des Gebäudes erfasst. Für den Komplextheilgrad (A-Hilfskennwerte Volumen) des Gebäudes lässt sich ein Wert von 0,4 m²/m³ bestimmen.

beheizte Fläche: 1250 m²

Hilffläche: 1952 m²

mittlerer U-Wert: 0,58 W/(m²K)

Nutzung: Auf den vier bewehrten Geschossen sind achtzehn Wohnungen angeordnet. Daraus ergibt sich eine Bewohnerzahl von ca. 45 Personen

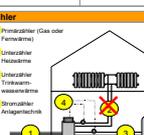
Anlagentechnik:

Die Beheizung und die Versorgung mit Trinkwasser wird über Fernwärme mit indirekter Übergabe und zentraler Warmwasserbereitung realisiert. Eine zirkulierende Pumpe ist extern installiert. Ein Trinkwasserreservoir mit Zirkulation ermöglicht die Bereitstellung des Warmwassers. Die Vorlauftemperatur der Anlage ist subambientenabhängig und die Thermostatventile nicht vorverstellbar.

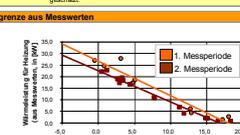
Zähler

1 Primärzähler (Gas oder Fernwärme)
2 Unterdrehler Heizwärme
3 Unterdrehler Trinkwasser-wassermenge
4 Stromzähler Anlagentechnik

Messzeiträume:
1. Messperiode von 11.02 bis 12.03
2. Messperiode von 12.03 bis 03.05
Zähler 1 an Speicherzähler? nein
Zähler 2 an Speicherzähler? ja
Zähler 3 an Speicherzähler? ja



Heizergang aus Messwerten



Erklärungen:
Trägt man die Wärmeverbrauchswerte gegenüber über der zugehörigen Außentemperatur auf, kann man das Ende der Heizzeit ermitteln.
Bei der abzulesenden Außentemperatur kann die Anlage im Frühjahr in den Sommerbetrieb und im Herbst wieder in den Winterbetrieb schalten.

Nutzerbefragung

Vorher: Durch die Nutzerbefragung ergab sich, dass die Heizungsanlage ohne auffällige Mängel betrieben wird und tadellos funktioniert.

Nachher: k.A.

Normierte Verbrauchswerte (Jahreswerte mit Witterungskorrektur)

Wärmemenge für Heizung (ab Erzeuger)
Wärmemenge für Heizung, in kWh/m² (ab Erzeuger)
11.02-12.03, 12.03-03.05, 11.02-12.03, 12.03-03.05
aus Jahresmesswerten bestimmt

Nutzungsgrad Wärmegeräts
Nutzungsgrad (%)
11.02-12.03, 12.03-03.05
aus Messwerten der Heizzeit bestimmt
Erklärungen: Der Nutzungsgrad wurde nicht gemessen, es wurden Standardwerte (0,6 Heizzeit, Wohnen und Umwelt) WU verwendet.

Endenergie für Heizung (Gas/Öl/Fernwärme)
Endenergie für Heizung, in kWh/m²
11.02-12.03, 12.03-03.05
aus Jahresmesswerten bestimmt

Stromverbrauch Anlagentechnik
Stromverbrauch Technik, in kWh/m²
11.02-12.03, 12.03-03.05
aus Jahresmesswerten bestimmt

Bild 145 Beispiel für einen Gebäudebericht Typ 3C

Optimierungsmaßnahmen und deren Investitionskosten

durchgeführte Maßnahmen zur Optimierung der Heizungsanlage:

- Gebäudeaufnahme mit anschließender Heizlast- und Rohrnetzbeurteilung.
- Einbau von 13 neuen Thermostatventilen.
- Vorstellung aller 13 vorhandenen Thermostatventile.
- Einbau eines Differenzdruckreglers.
- Richtige Einstellung des Differenzdruckreglers.
- Richtige Einstellung der Regelung.

Investitionskosten:
absolut 800 €
bezogen auf die beheizte Fläche 3,9 €/m²

Veränderung des Energieverbrauchs und der umweltrelevanten Emissionen (Witterungskorrigierte Werte)

	Veränderung Wärmemenge (ab Erzeuger) für Heizung	Veränderung Endenergie (Gas/Öl/Fernwärme) für Heizung	Veränderung Stromverbrauch Anlagentechnik	Veränderung der Emissionen (als CO ₂ -Äquivalent)
absolut	-130 kWh/a	-160 kWh/a	-42 kWh/a	-320 kg/a
bezogen auf die Fläche	-0,6 kWh/(m ² a)	-0,8 kWh/(m ² a)	-0,2 kWh/(m ² a)	-1,6 kg/(m ² a)

Wirtschaftlichkeit

Die erreichte Energieeinsparung reicht leider nicht aus, um die Maßnahme wirtschaftlich zu machen. Jährliche zusätzliche Kapitalkosten von etwa 80 €/a stehen eingesparten Energiekosten von 22 €/a gegenüber (Mittelwerte der nächsten 15 Jahre).

Ergebnisse für das Gesamtprojekt

Gebäudestatistik	Zahl	beheizte Fläche	Optimierungsmaßnahmen im Projekt	Anzahl	Optimierungskosten
Gebäude insgesamt	92	40994 m ²	Thermostatventile Einstellung	1064 mal	absolut 41832 €
optimiert	31	11451 m ²	Pumpe/Differenzdruckregler Einstellung	29 mal	bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude
nicht optimiert	61	29543 m ²	Thermostatventile Einbau/Tausch	854 mal	
Einfamilienhäuser	52	7506 m ²	Pumpe Austausch	7 mal	
Mehrfamilienhäuser	40	33488 m ²	Differenzdruckregler Einbau	7 mal	
			Filtereinbau	2 mal	3,65 €/m ²

Verbrauchsdaten (bereinigt) Wärmemenge ab Erzeuger

	Messzeit 1	Messzeit 2	Messzeit 1 (korrekt)	Messzeit 2 (korrekt)
nicht optimierte Gebäude	122 kWh/(m ² a)	121 kWh/(m ² a)	122 kWh/(m ² a)	121 kWh/(m ² a)
optimierte Gebäude	121 kWh/(m^{2}a)	121 kWh/(m^{2}a)	121 kWh/(m^{2}a)	121 kWh/(m ² a)

Energieeinsparung optimierte Gebäude verglichen mit nicht optimierten Gebäuden

	Wärmemenge ab Erzeuger	Endenergie für Wärme (Gas/Fernwärme)	Hilfsenergien (Strom für Anlagentechnik)
optimierte Gebäude	7 kWh/(m ² a)	8 kWh/(m ² a)	0,3 kWh/(m ² a)
nicht optimierte Gebäude	9000 kWh/a	10600 kWh/a	4000 kWh/a

Emissionsminderung

absolut 28300 kg/a
bezogen auf die beheizte Fläche der optimierten Gebäude 2,1 kg/(m²a)

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie - an der auch Ihr Gebäude mit Messergebnissen und Gebäudedaten vertreten war - werden im Sommer/Herbst 2005 veröffentlicht. Wir beabsichtigen, die Erkenntnisse über die Einsparungsmöglichkeiten sowohl an Endverbraucher wie Sie, das Handwerk und an die Gesetzgeber in Deutschland weiterzugeben. Die Gebäudenutzer sollen erfahren, welche Potentiale sich ergeben, wenn man eine Heizungsanlagenoptimierung z.B. an eine Wärmedämmung des Gebäudes anschließt. Mit einem geringen Mehraufwand an Kosten kann viel Energie gespart werden. Gleiches gilt natürlich auch im Neubau: eine vernünftige Anlage rechnet sich. Das Handwerk informieren wir über die Vorgehensweise bei der Optimierung und bieten Hilfsmittel für die Berechnung am PC an. Und die Gesetzgebung unterstützen wir in besten Fall damit, dass sie eine Heizungsanlagenoptimierung immer da vorschreibt oder honoriert, wo sie Sinn macht.

Dank

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit an diesem Forschungsprojekt. Sie haben uns geholfen, zu zeigen, dass eine optimale Anlagentechnik energetisch und wirtschaftlich sinnvoll sein kann - im richtigen Gebäude und natürlich nur mit der Mithilfe der Bewohner!

Ihre Optimus Gruppe: Innung SHK Wilhelmshaven, FPB an der Uni Bremen, Berufsbildende Schulen II in Aurich, Wilo AG in Dortmund und das TWW an der Fachhochschule Braunschweig/Wolferbüttel (verantwortlich für diesen Bericht).

10 Detailauswertungen und -berechnungen

Dieser Abschnitt stellt weitere Untersuchungsergebnisse des Projekts vor. Zunächst werden die Energiemessdaten detaillierter untersucht und Querbezüge zu Anlagen-, Gebäude- und Nutzungseigenschaften hergestellt. Für die Gebäude wird vorgestellt, wie sich aus Messwerten die objekt-spezifische Heizgrenze ermitteln lässt und wie aus Monatsmesswerten Nutzungs- und Gebäudeparameter bestimmt werden können.

Darüber hinaus werden für die untersuchten Gebäude die bereinigten Messwerte mit theoretisch berechneten Energiebedarfswerten verglichen und anderen Theorie- und Praxiswerte gegenüber gestellt. Für einzelne Anlagen, in denen besondere Merkmale auftreten werden Detailinterpretationen der Messwerte vorgenommen. Dies betrifft zum Beispiel Anlagen mit Einrohrheizung, Wohnungsetagenheizungen mit Gaswandgeräten sowie Anlagen mit nachgerüsteter Regelung oder neuartigen Thermostatventilen mit integrierter Differenzdruckregelung (Hersteller: Siemens – Landis & Staefa).

Anhand ausgewählter Objekte wird schließlich gezeigt, welche Auswirkung die Art des Bereinigungsverfahrens (zur Witterungskorrektur) auf die Endergebnisse hat und warum in diesem Projekt die Heizgradtagbereinigung des Verbrauchs mit der individuellen Heizgrenze gewählt wurde. Schließlich wird eine Korrelation zwischen den Nutzerbefragungen in den optimierten Gebäuden und deren Energieverbrauch hergestellt.

10.1 Querauswertungen der Energiedaten

Unter Querauswertung sind in diesem Zusammenhang Untersuchungen zu verstehen, die das Ziel haben, die Energieverbrauchskennwerte mit verschiedenen Gebäude-, Anlagentechnik- und Nutzungsmerkmalen in Korrelation zu bringen.

10.1.1 Einsparung von Heiz- und Hilfsenergie

Über die Aussagen der Abschnitte 9.2.2 und 9.2.3 hinaus werden in diesem Abschnitt vertiefende Untersuchungen zur Einsparung von Heiz- und Hilfsenergie durchgeführt.

Für die optimierten Gebäude wurde die Einsparungen von Heiz- und Hilfsenergie in Korrelation gebracht. Bild 146 zeigt die Auswertung. In 13 Gebäuden konnten sowohl Heiz- als auch Hilfsenergie eingespart werden, in weiteren jeweils 7 Gebäuden entweder Heiz- oder Hilfsenergie. In 3 Gebäuden sind beide Werte gestiegen. Ein Gebäude konnte nicht ausgewertet werden.

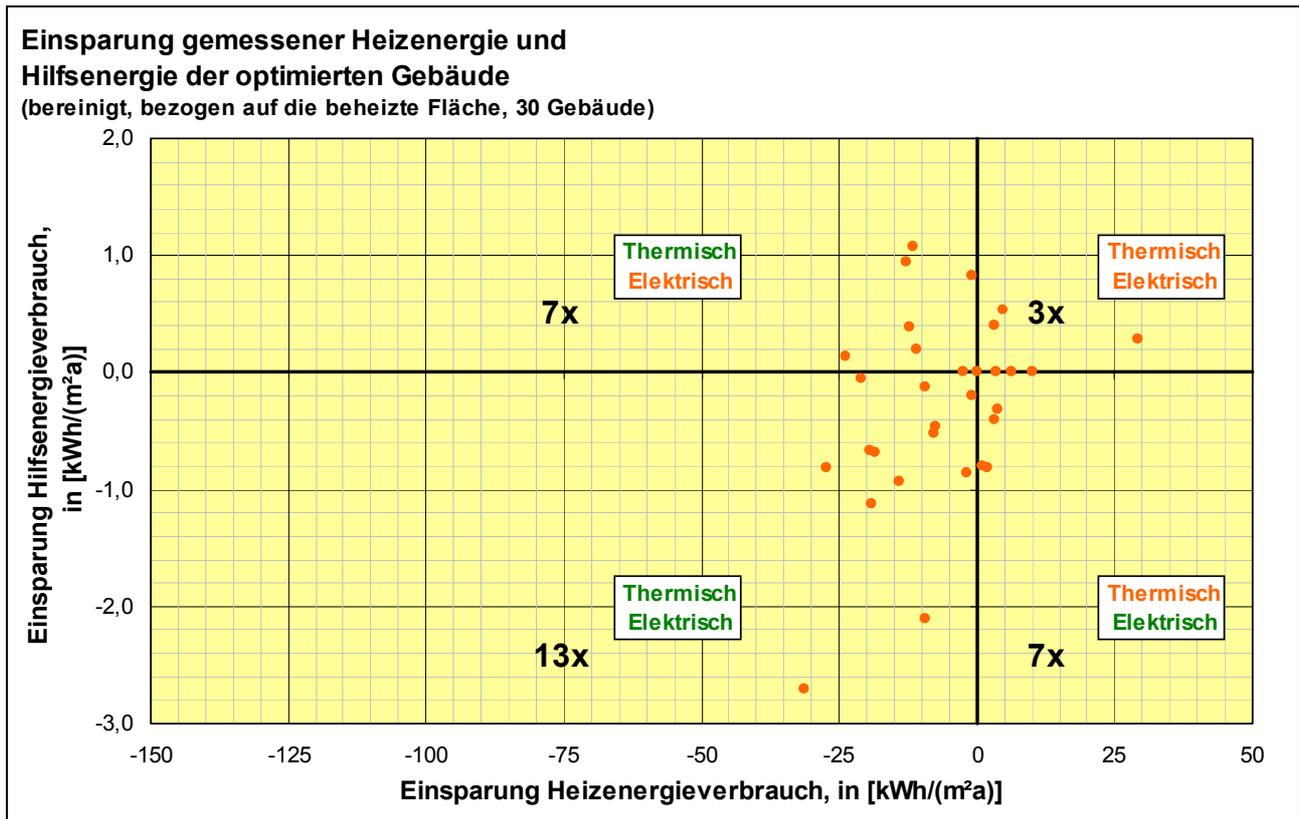


Bild 146 Hilfsenergie- und Heizenergieverbrauch der optimierten Gebäude

Einsparung von Heizenergie

Die Querauswertung der Heizenergieeinsparung je nach Optimierungstyp zeigt Tabelle 54. Die größte Einsparung ergibt sich in den Gebäuden nach Typ 4, in denen alle Thermostatventile und Pumpen getauscht werden mussten bzw. in denen ein zusätzlicher Differenzdruckregler installiert wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anpassung der Wärmeleistung an den Bedarf hier am besten realisiert werden konnte. Für den Typ 1, bei dem nur die Einstellung der vorhandenen Komponenten notwendig wäre, sind nicht genügend Daten für eine abgesicherte Aussage vorhanden.

Optimierungstyp	Heizenergieeinsparung der optimierten Gebäude, in [kWh/(m²a)]	Zahl
1 (nur Einstellung)	-21,0	1
2 (THKV Tausch)	2,5	8
3 (Pumpe/DDR Tausch)	-7,2	9
4 (Pumpe/DDR + THKV Tausch)	-12,5	12

Tabelle 54 Heizenergieeinsparung der optimierten Gebäude bezogen auf die beheizte Fläche

Weitere hier nicht detailliert wiedergegebene Auswertungen zeigen, dass die erreichte Wärmeenergieeinsparung nicht statistisch nachweisbar von der vorher vorhandenen Überdimensionierung der Pumpe, der Heizflächen oder des Wärmeerzeugers abhängt.

Bild 147 zeigt den nach der Optimierung erreichten Heizenergieverbrauch abhängig vom vorher verzeichneten Heizenergieverbrauch. Ausgehend von den bereinigten Werten ergibt sich ein mittleres Einsparpotential von 4...5 % des Heizenergieverbrauchs durch die Optimierung.

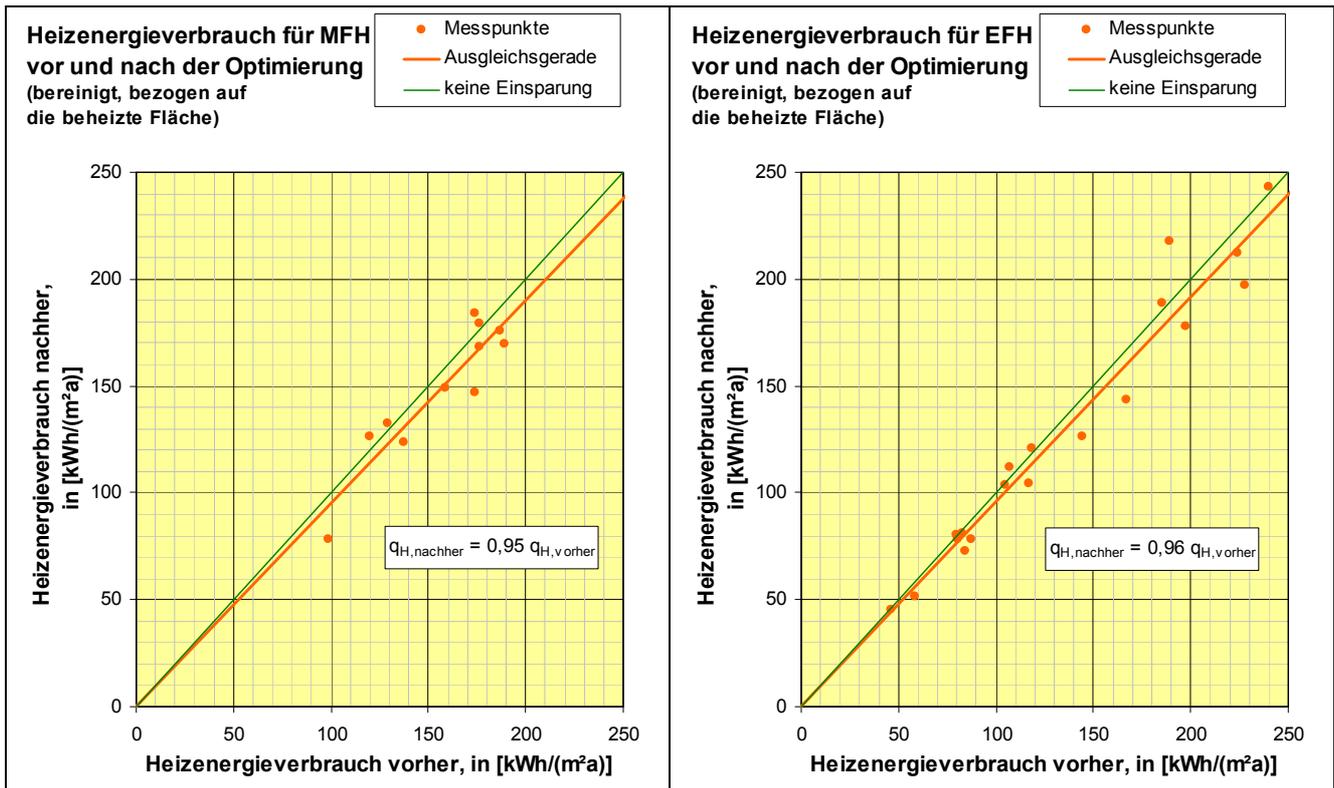


Bild 147 Heizenergieverbrauch vor und nach der Optimierung ja nach Gebäudetyp

Einsparung von Hilfsenergie

Die Querauswertung der Hilfsenergieeinsparung je nach Optimierungstyp zeigt Tabelle 55. Die größte Einsparung ergibt sich in den Gebäuden nach Typ 3 und 4, in denen Pumpen getauscht werden mussten bzw. in denen ein zusätzlicher Differenzdruckregler installiert wurde. Für den Typ 1, bei dem nur die Einstellung der vorhandenen Komponenten notwendig wäre, sind nicht genügend Daten für eine abgesicherte Aussage vorhanden.

Optimierungstyp	Hilfsenergieeinsparung der optimierten Gebäude, in [kWh/(m²a)]	Zahl
1 (nur Einstellung)	-0,05	1
2 (THKV Tausch)	-0,12	7
3 (Pumpe/DDR Tausch)	-0,49	9
4 (Pumpe/DDR + THKV Tausch)	-0,53	10

Tabelle 55 Hilfsenergieeinsparung der optimierten Gebäude bezogen auf die beheizte Fläche

Weitere hier nicht detailliert wiedergegebene Auswertungen zeigen, dass die erreichte Hilfsenergieeinsparung nicht von der vorher vorhandenen Überdimensionierung der Pumpe abhängt.

Bild 148 zeigt den nach der Optimierung erreichten Hilfsenergieverbrauch abhängig vom vorher verzeichneten Hilfsenergieverbrauch. Ausgehend von den bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotential von 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (v. a. für Umwälzpumpen) durch die Optimierung.

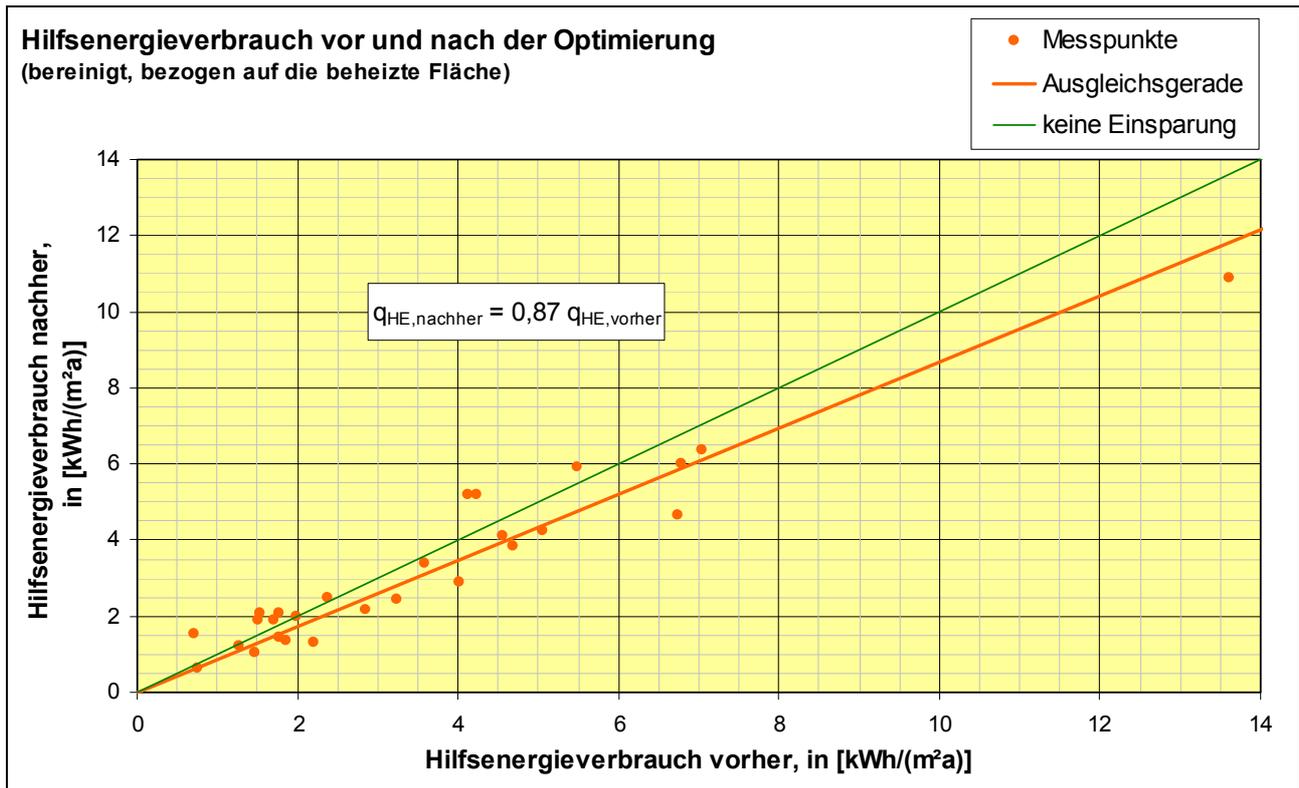


Bild 148 Hilfsenergieverbrauch vor und nach der Optimierung

10.1.2 Heizwärmeverbrauch

Über die Aussagen der Abschnitte 9.1.2, 9.1.3 und 9.2.1 hinaus werden in diesem Abschnitt vertiefende Untersuchungen zum Heizwärmeverbrauch und zur Einsparung von Heizwärme durchgeführt.

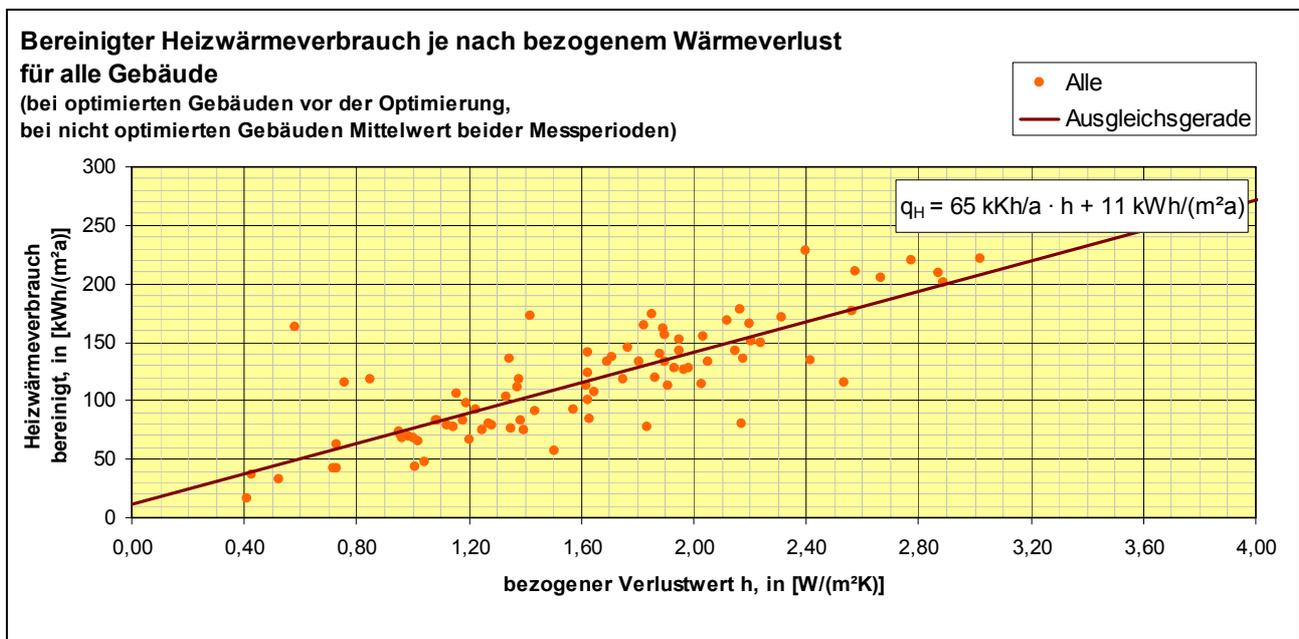


Bild 149 Heizwärmeverbrauch abhängig vom bezogenen Wärmeverlust für alle Gebäude

Trägt man den bereinigten Heizwärmeverbrauch eines Gebäudes über dem aus Messwerten bestimmten bezogenen Verlustkennwert h auf, ergibt sich für alle Gebäude die Darstellung nach Bild 149. Der Heizwärmeverbrauch steigt an, wenn sich der bezogene Verlustkennwert h vergrößert. Der bezogene Verlustkennwert h ist ein Maß für den mittleren U-Wert der Gebäudehülle, den

Kompaktheitsgrad und den bezogenen Lüftungswärmeverbrauch. Er wird aus Messwerten bestimmt und entspricht in etwa der theoretisch ermittelten Größe: $(H_T + H_V) / A_{EB} = U_m \cdot A/A_{EB} + n \cdot 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot h_{\text{Raum}}$.

Die Steigung der Geraden im Bild entspricht den mittleren Heizgradtagen, die sich für die untersuchten Gebäude ergeben hat. Sie beträgt 65 kWh/a. Die Heizgradtage für den mittleren Standort Deutschland bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C betragen 60,9 kWh/a. Die Hauptaussage der Grafik ist: wird der bezogene Wärmeverlust h um 0,1 W/(m²K) verändert, ergibt sich eine Veränderung des Heizwärmeverbrauchs um etwa 6,5 kWh/(m²a).

Der Achsenabschnitt – für alle Gebäude im Mittel 11 kWh/(m²a) – ist ein konstanter Verlustanteil, der nicht von der Größe h abhängt. Dieser Verlust wird in jedem Fall die Wärmeverluste im unbeheizten Bereich enthalten, aber ggf. auch ein vom Gebäude und der Nutzung (h) unabhängiges Einsparpotential. Hier liefern die Auswertungen keine eindeutige Antwort, es sind weitere Untersuchungen notwendig.

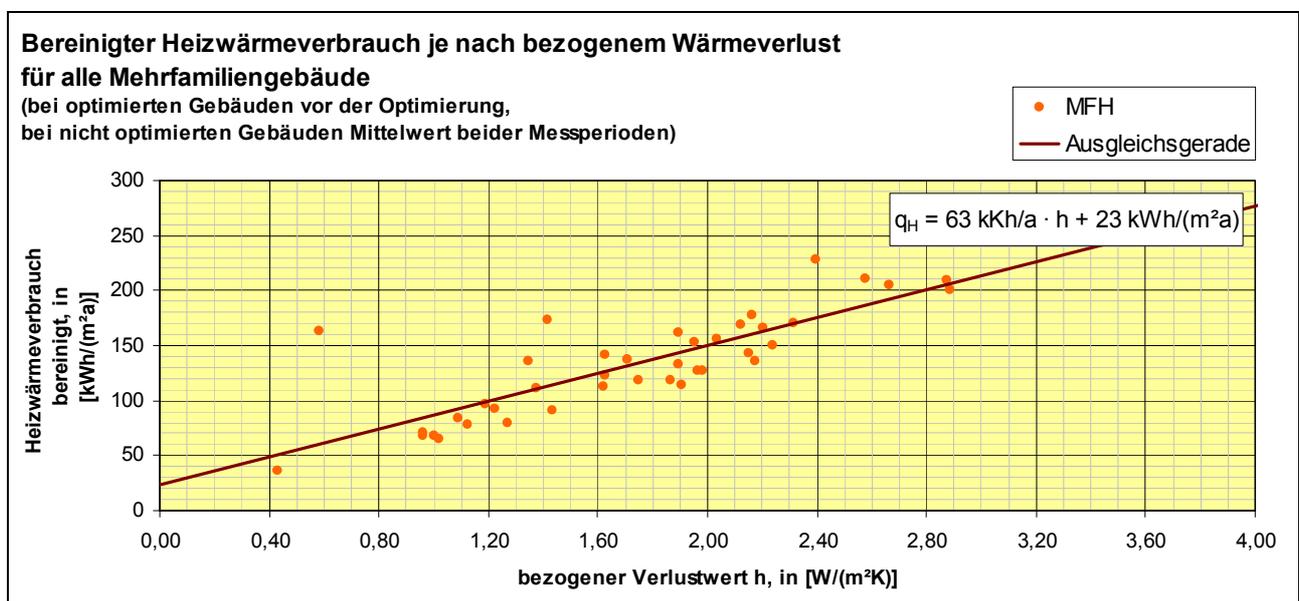


Bild 150 Heizwärmeverbrauch abhängig vom bezogenen Wärmeverlust für die MFH

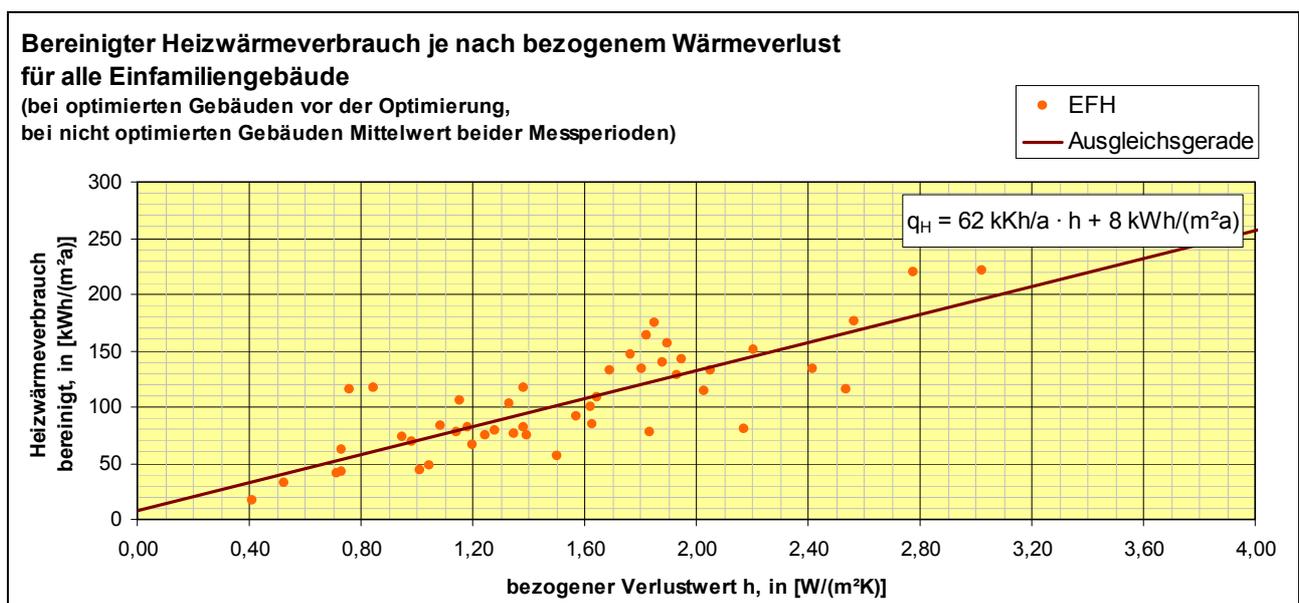


Bild 151 Heizwärmeverbrauch abhängig vom bezogenen Wärmeverlust für die EFH

Der Achsenabschnitt ist im Mittel bei den EFH kleiner als bei den MFH. Dies untermauert die These, dass er bis zu einem gewissen Grad das Einsparpotential widerspiegelt. Die nachgewiesenen Einsparpotentiale sind im MFH tatsächlich größer als im EFH.

Bild 150 zeigt die vergleichbare Auswertung für die Mehrfamilienhäuser, Bild 151 für die Einfamilienhäuser. Die maßgeblichen Heizgradtage betragen 63 kKh/a für die MFH und 62 kKh/a für die EFH.

Eine weitere Queruntersuchung betrifft die Abhängigkeit des Heizwärmeverbrauchs von der Art der Trinkwarmwasserbereitung. Ausgewertet wurden 17 Mehrfamilienhäuser mit Baujahren vor 1978. Hinsichtlich des bezogenen Verlustkennwertes h unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht, daher sollten die Heizwärmeverbrauchskennwerte vergleichbar sein.

Die Gruppe mit der zentralen Trinkwarmwasserbereitung mit Zirkulation weist im Mittel einen um 3 kWh/(m²a) geringeren Heizwärmeverbrauch auf als die Gruppe der Gebäude mit dezentraler Trinkwasserversorgung, siehe Tabelle 56. Dies ist auf die Abwärme der Trinkwasserverteilleitungen zurückzuführen, die zur Beheizung beitragen.

Theoretisch müsste der Unterschied sehr viel größer sein, da die Wärmeverluste der Trinkwassererteilung größer sind. Dies kann aus den vorhandenen Messdaten jedoch nicht bestätigt werden.

Typ	Art der Warmwasserbereitung	Bereinigter Heizwärmeverbrauch (Jahresmesswerte), in [kWh/(m ² a)]	bezogener Verlustkennwert h , in [W/(m ² K)]	Zahl
nur MFH der Baualtersklasse bis 1978	dezentral	149	1,94	9
	zentral mit Zirkulation	146	1,94	8

Tabelle 56 Einfluss der Art der Trinkwarmwasserbereitung auf den Heizwärmeverbrauch

10.1.3 Hilfsenergieverbrauch

Über die Aussagen der Abschnitte 9.1.8 und 9.2.3 hinaus werden in diesem Abschnitt vertiefende Untersuchungen zum Hilfsenergieverbrauch und zur Einsparung von Hilfsenergie durchgeführt. Für 80 auswertbare Gebäude wurde neben der bereinigten Hilfsenergie die mittlere Hilfsenergieleistung in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und die Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnten in jeder der beiden Heizperioden Hilfsenergieleistungen bestimmt werden. Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigt Bild 152.

Die bei der Optimierung erreichte Leistungseinsparung wird in der Grafik sichtbar. Bild 153 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Auch hier sind Leistungsveränderungen sichtbar. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten der Leistung angezeigt. Die Streuung ist teilweise recht erheblich. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

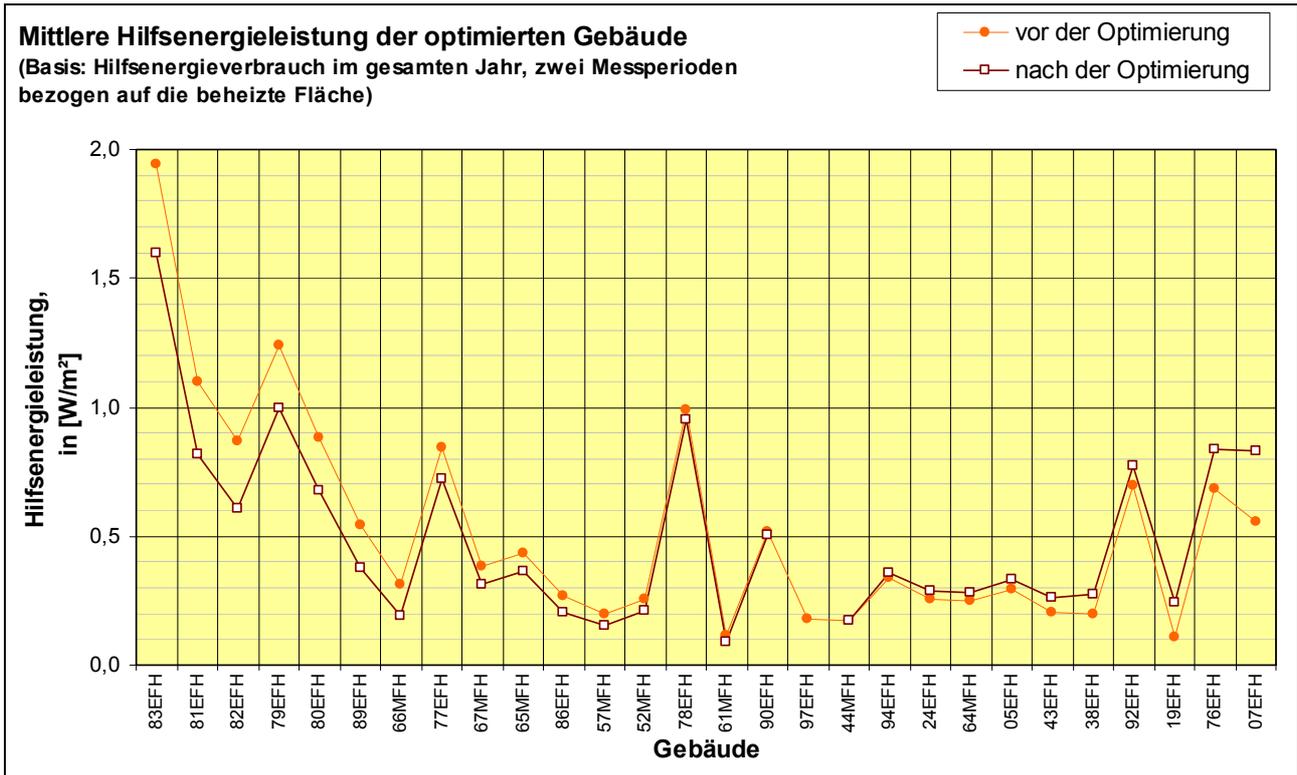


Bild 152 Mittlere Hilfsenergieleistung der optimierten Gebäude (Jahreswerte)

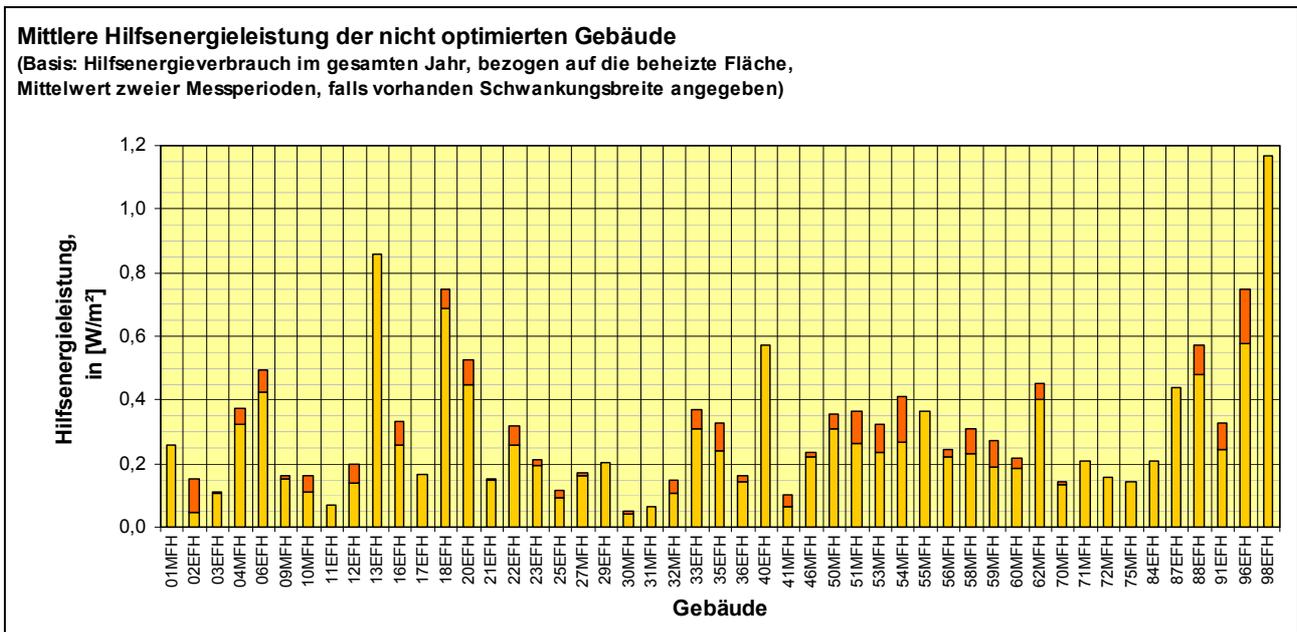


Bild 153 Mittlere Hilfsenergieleistung der nicht optimierten Gebäude (Jahreswerte)

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Bild 154 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Hilfsenergieleistung bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Fläche. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

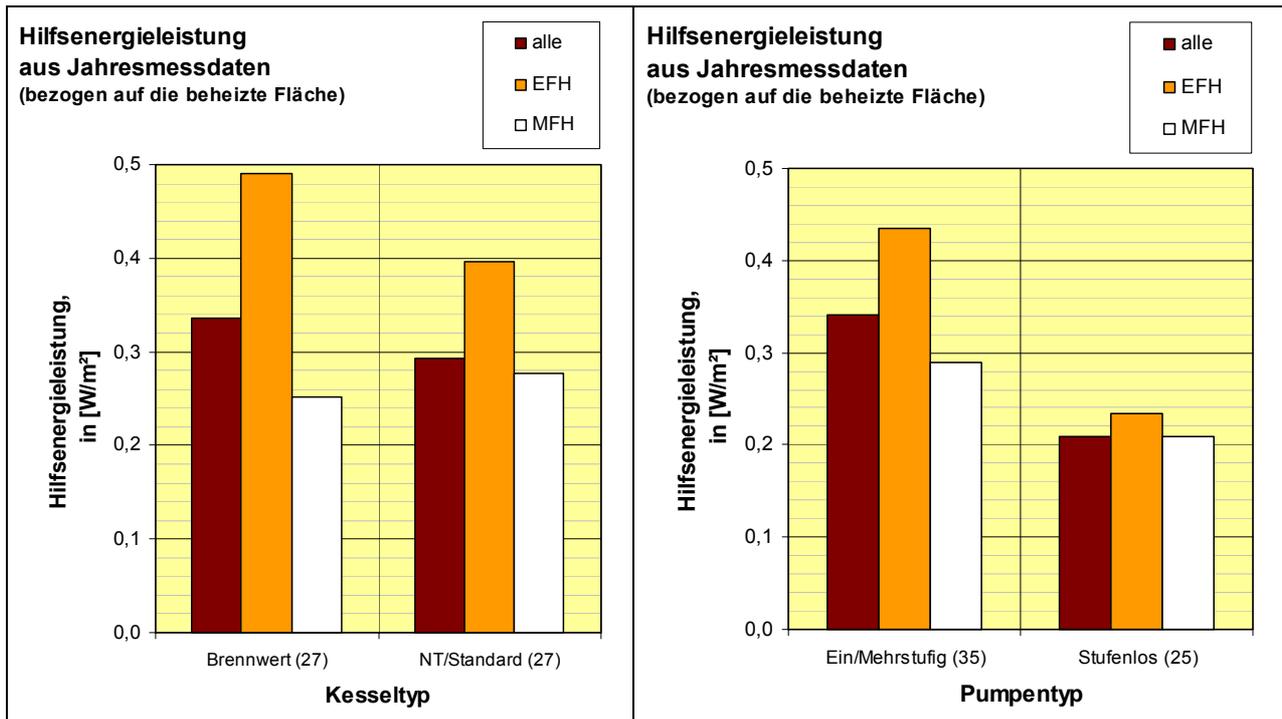


Bild 154 Hilfsenergieleistung je nach Kessel- und Pumpentyp

In den EFH ergibt sich in den Brennwertkesselanlagen ($0,49 \text{ W/m}^2$) eine um mehr als 20 % höhere Hilfsenergieleistung als in den Niedertemperaturkesselanlagen ($0,40 \text{ W/m}^2$). Die Auswertung nach Pumpentyp liefert noch deutlichere Ergebnisse für Anlagen mit stufenloser Pumpe ($0,21 \text{ W/m}^2$) verglichen mit stufigen Pumpen ($0,34 \text{ W/m}^2$).

10.1.4 Kesselnutzungsgrad

Über die Aussagen des Abschnitts 9.1.5 hinaus werden in diesem Abschnitt vertiefende Untersuchungen zum Kesselnutzungsgrad durchgeführt.

Erzeugerverluste

Zusätzlich zum heizwertbezogenen Nutzungsgrad wurden der brennwertbezogene Nutzungsgrad sowie die Kesselverluste in $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bestimmt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 57. Die Kesselverluste dieser überwiegend alten Gebäude mit 151 bzw. 161 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwarmwasser liegen bei 22 bzw. 39 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für Brennwert- und NT-Kessel (beide heizwertbezogen). Auf den zukünftig für die Normung vorgesehenen Brennwert bezogen ergeben sich 39 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei den Brennwertkesseln und 59 $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für die Niedertemperaturkessel.

Art	Kennwerte	Heizwertbezug	Brennwertbezug	Zahl
Brennwertkessel	Input, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	173	190	16
	Verlust, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	22	39	
	Output, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	151	151	
	Nutzungsgrad, in [%]	87	79	
Niedertemperaturkessel	Input, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	199	220	23
	Verlust, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	39	59	
	Output, in $[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	161	161	
	Nutzungsgrad, in [%]	81	73	

Tabelle 57 Nutzungsgrade und Erzeugerverluste von Kesseln

Bild 155 zeigt die Kesselnutzungsgrade aus Messwerten (bezogen auf den Heizwert H_U) aufgetragen über der Überdimensionierung des Kessels. Der Nutzungsgrad wurde für jedes Objekt genau einmal für die gesamte Messzeit bestimmt. Es wurde nicht in optimierte und nicht optimierte Gebäude unterschieden und nur ein Kennwert für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung ermittelt.

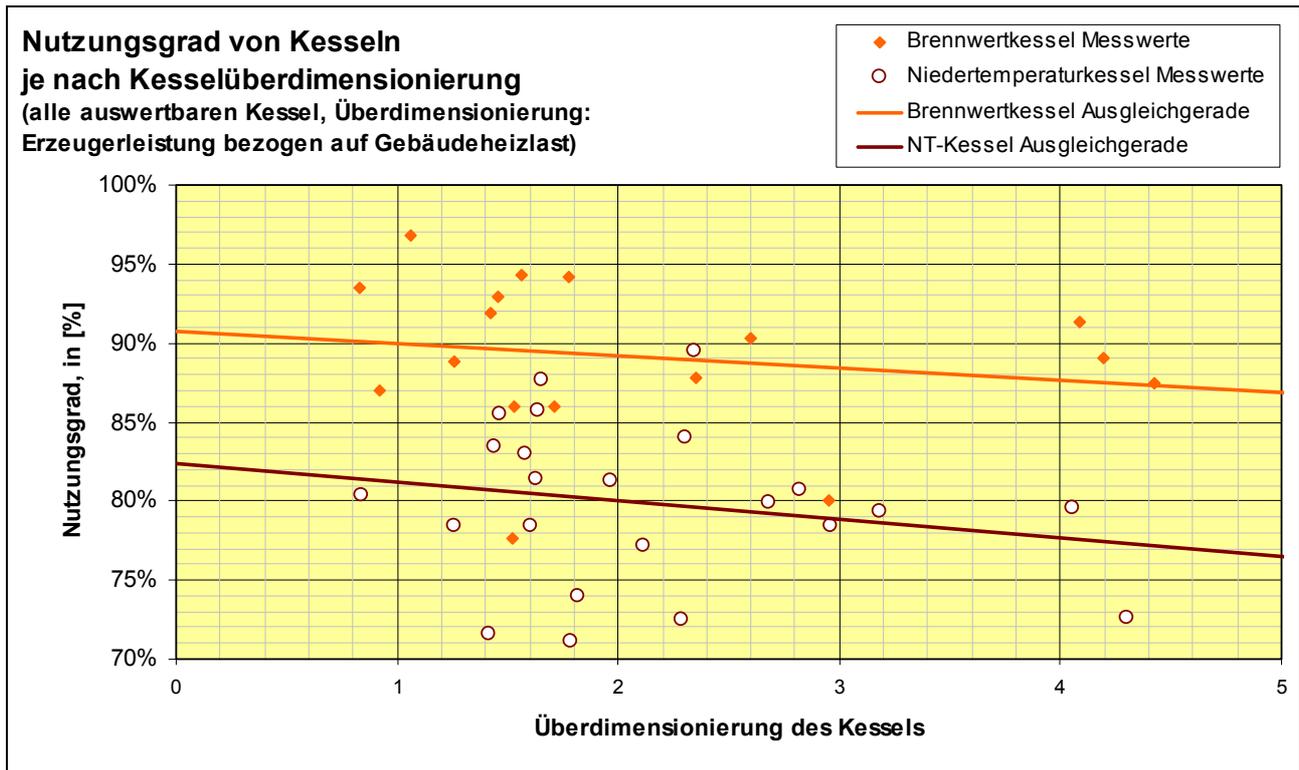


Bild 155 Kesselnutzungsgrad je nach Kesselüberdimensionierung

Die Bildung einer Ausgleichsgerade erscheint angesichts des Punkthaufens als kritisch. Insbesondere für die Niedertemperaturkessel ergibt sich aber, dass in Anlagen mit großer Überdimensionierung die geringeren Nutzungsgrade erreicht werden.

Die Differenz der Nutzungsgrade zwischen Niedertemperatur- und Brennwertkesseln liegt zwischen 9 ... 10 Prozentpunkten (Heizwertbezug) für den Kesselnutzungsgrad.

Nutzungsgradverbesserung bei der Optimierung

Im Abschnitt 9.1.5 wurde festgelegt, dass die Berechnung der Heizenergieeinsparung mit Hilfe desselben Nutzungsgrades vor und nach der Optimierung erfolgt. An dieser Stelle wird eine detaillierte Betrachtung für die Objekte durchgeführt, die dies zulassen.

Für insgesamt 10 Gebäude kann eine Auswertung erfolgen, weil genügend Messwerte vorliegen. In den anderen optimierten Gebäuden sind entweder Fernwärmeübergabestationen vorhanden oder bei Versorgung mit Kessel keine entsprechenden Messeinrichtungen installiert bzw. nicht kontinuierlich abgelesen.

Für die vier Gebäude mit dem Brennwertkessel bedeutet die Optimierung eine Verbesserung des heizwertbezogenen Nutzungsgrades von 1,2 Prozentpunkten (einfacher Mittelwert ohne Gewichtung der Gebäudegröße). Die sechs Gebäude mit Niedertemperaturkessel weisen praktisch keine Änderung des Nutzungsgrades auf (0,2 Prozentpunkte Verbesserung). Für jeweils drei Gebäude ergibt sich eine Verbesserung bzw. eine Verschlechterung des Wertes.

Es zeichnet sich eine Tendenz dahingehend ab, dass die Optimierung bei Brennwertkesseln tatsächlich zu einer Nutzungsgradverbesserung führt. Dies würde man auch erwarten. Insgesamt erscheint es wegen der geringen Datenbasis berechtigt, bei allen Gebäuden von einem einheitlichen Nutzungsgrad in der ersten und zweiten Messperiode auszugehen.

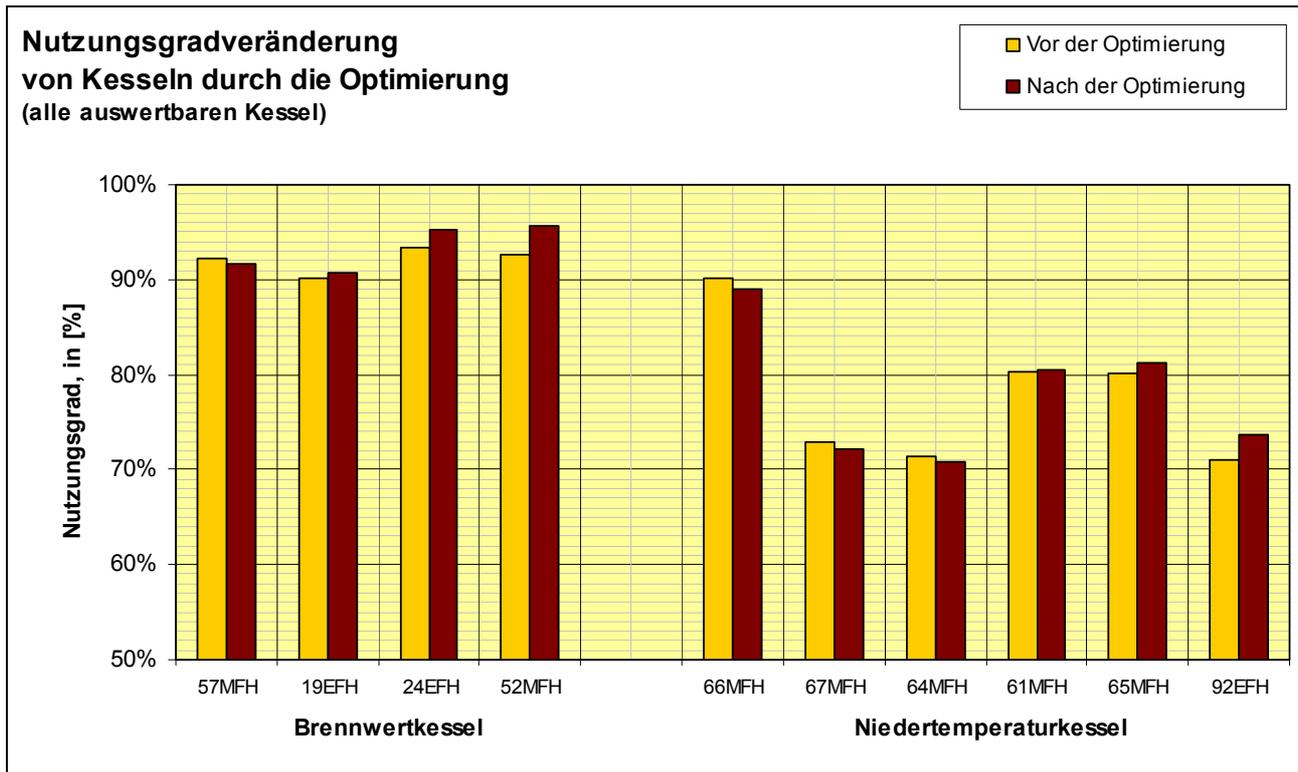


Bild 156 Kesselnutzungsgradänderung durch die Optimierung

10.1.5 Trinkwarmwasseranteil

Über die Aussagen des Abschnitts 9.1.4 hinaus werden in diesem Abschnitt vertiefende Untersuchungen zum Trinkwasserwärmeverbrauch durchgeführt. Tabelle 58 zeigt für verschiedene Gruppen von Gebäuden den Trinkwasseranteil an der gesamten Nutzenergie des Erzeugers. Im Mittel aller untersuchten Gebäude beträgt der Anteil 20 %. Für die Gebäude der ältesten Baualtersklassen bestätigt sich der Anteil von 18 %, der auch in der Heizkostenabrechnung standardmäßig verwendet wird, in etwa. In neueren Gebäuden nimmt der Anteil bis auf 24 % zu.

Kriterium 1	Kriterium 2	Anteil der Trinkwasserwärme an der Endenergie Wärme, in [%]	Anteil der Trinkwasserwärme an der insgesamt vom Erzeuger abgegebenen Wärme, in [%]	Zahl
alle		20 %	23 %	57
alle	bis 1977	17 %	20 %	20
	1978 bis 1994	21 %	24 %	17
	ab 1995	24 %	26 %	20
EFH	bis 1977	13 %	14 %	14
	1978 bis 1994	15 %	19 %	8
	ab 1995	23 %	26 %	13
	alle	16 %	18 %	35
MFH	bis 1977	18 %	22 %	6
	1978 bis 1994	22 %	25 %	9
	ab 1995	24 %	26 %	7
	alle	21 %	25 %	22
Fernwärme	EFH	18 %	19 %	12
	MFH	28 %	29 %	10
	alle	26 %	27 %	22
Gas/Ölkessel	EFH	15 %	18 %	24
	MFH	18 %	22 %	12
	alle	17 %	21 %	36

Tabelle 58 Trinkwarmwasseranteil

Bei Bezug auf die Endenergie für Wärme sind in den EFH Trinkwarmwasseranteile zwischen 13 % und 23 %, in MFH zwischen 18 % und 24 % festzustellen (jeweils in Baualterklasse 1, 2 und 3). Der Anteil der Trinkwarmwasserbereitung liegt in den untersuchten fernwärmeversorgten Gebäuden höher (26 %) als in den gasversorgten Gebäuden (17 %).

Bei Bezug auf die Nutzwärmeabgabe des Kessels ergeben sich insgesamt höhere Prozentanteile für den Trinkwassernutzen. Die Tendenzen der Aussagen bleiben jedoch erhalten.

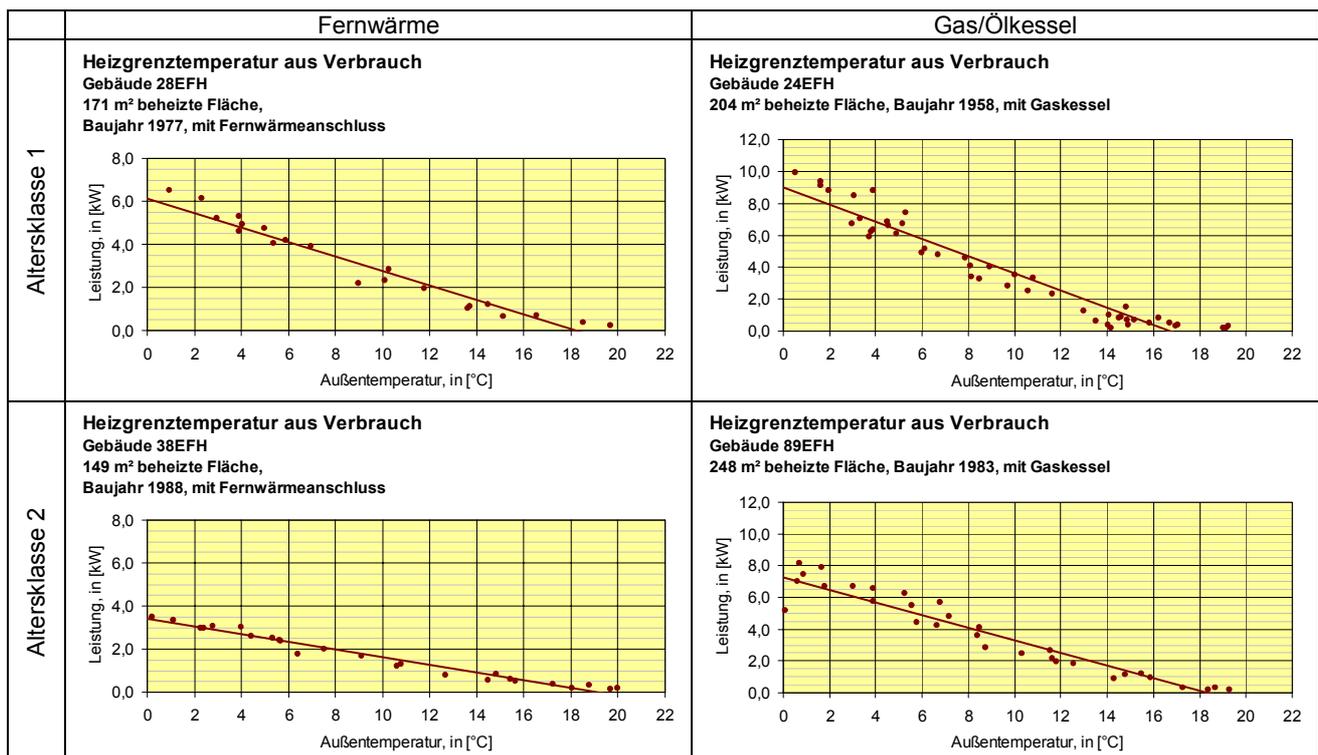
10.2 Heizgrenztemperatur, Verbrauchsgerade und Verlustkennwert

Die gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte (am Wärmemengenzähler) liefern als mittlere Heizwärmeleistung aufgetragen über der mittleren Außentemperatur eine gebäude- und nutzungstypische "Verbrauchsgerade". Diese Gerade ergibt bei einer bestimmten Außentemperatur die Heizgrenze (keine Heizleistung mehr notwendig) und verläuft mit einer spezifischen Steigung. Beide Kennwerte können aus Messwerten reproduziert werden.

Sowohl die Heizgrenztemperatur als auch die Geradensteigung können aber auch theoretisch (mit einer Energiebilanz) nachgebildet werden, indem bestimmte Innentemperaturen und Luftwechsel, Fremdwärmemengen und U-Werte für ein Gebäude vorausgesetzt werden. Die Auswertung der Messwerte hinsichtlich ihrer Heizgrenze und die theoretische Nachbildung der Verbrauchsgeraden mit einer Energiebilanz wird in den folgenden Abschnitten an Beispielen demonstriert. Verteilverluste im unbeheizten Bereich werden in diesem Ansatz nicht extrahiert; ihr Einfluss wird als geringfügig die Ergebnisse verändernd angesehen.

10.2.1 Verbrauchsverlauf und Heizgrenztemperaturen ausgewählter Objekte

Für sechs beispielhaft gewählte Einfamilienhäuser sind die Verbrauchsdatenverläufe im Bild 157 dargestellt. Das Alter der Gebäude nimmt vom oben nach unten ab. Tendenziell kann man erkennen, dass die Geradensteigung bei den neueren Gebäuden flacher verläuft als bei den alten. Allerdings wird dieser Effekt etwas verfälscht durch die unterschiedliche Gebäudegröße. Die Heizgrenze aller sechs Gebäude liegt zwischen 16 und 18 °C – und zwar unabhängig vom Baualter und damit praktisch unabhängig vom baulichen Standard (U-Wert) der Gebäudehülle. Dieses Ergebnis ist repräsentativ für alle untersuchten Gebäude.



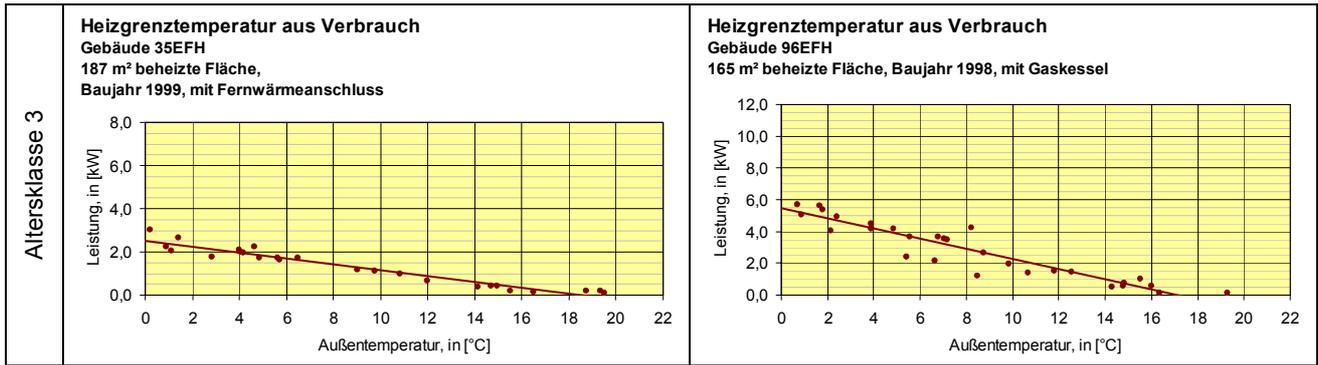


Bild 157 Heizgrenztemperatur ausgewählter Einfamilienhäuser

Die Auswertung für sechs beispielhaft gewählte Mehrfamilienhäuser zeigt Bild 158. Auch hier sind wieder Heizgrenztemperaturen von etwa 16 °C in allen Baultersklassen anzutreffen.

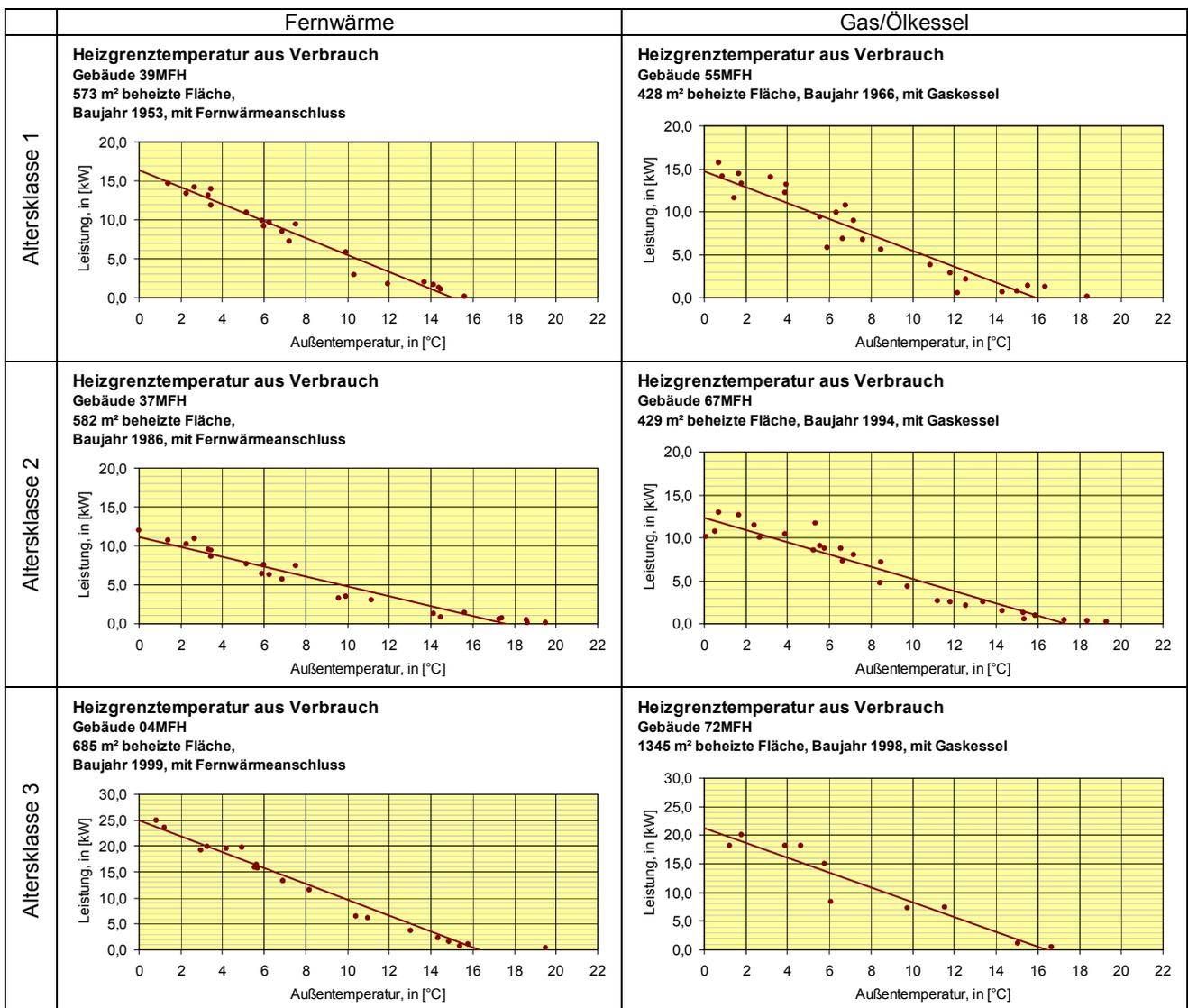


Bild 158 Heizgrenztemperatur ausgewählter Mehrfamilienhäuser

10.2.2 Heizgrenztemperaturen aus Messwerten

Für die energetisch auswertbaren Gebäude (92) wurde die Heizgrenztemperatur in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Maßgeblich für die Kennwerte in diesem Abschnitt sind die Messwerte der gesamten Heizzeit, u.U. auch Anteile der Sommerheizung.

Zur Nachbildung der Verbrauchsgeraden wurden konkret nur Monatsmesswerte verwendet, wenn die zugehörige Monatsaußentemperatur 20 °C nicht überschritt und die mittlere gemessene Wärmeleistung für Heizung größer oder gleich 100 W (absolut) war. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und mittleren Kennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnte in beiden Messperioden vor und nach der Optimierung jeweils eine Heizgrenztemperatur aus den Messwerten bestimmt werden. Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigt Bild 159.

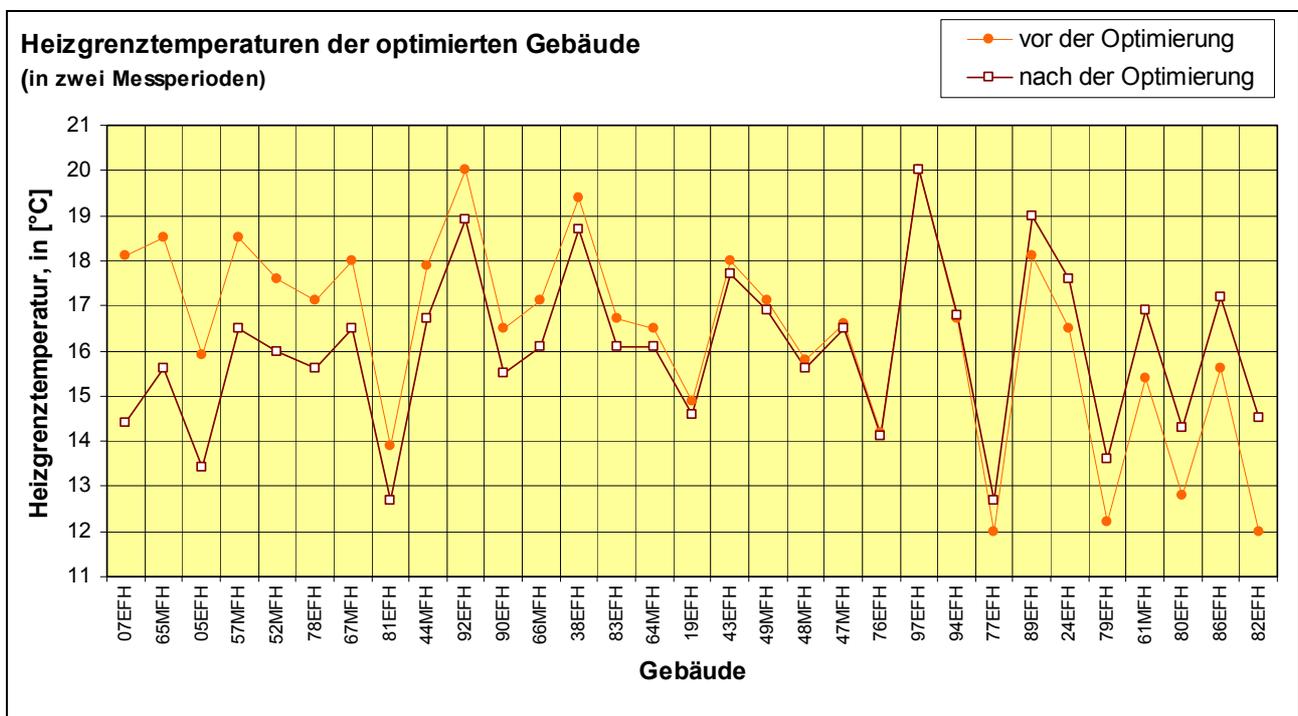


Bild 159 Heizgrenztemperaturen der optimierten Gebäude

Für etwa zwei Drittel der optimierten Gebäude sinkt die Heizgrenze um 1 Kelvin oder mehr. Für etwa ein Viertel der Gebäude steigt sie um 1 Kelvin oder mehr. Für alle anderen optimierten Gebäude bleibt sie etwa gleich.

Bild 160 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Sofern für einzelne Gebäude zwei auswertbare Messperioden vorhanden waren, sind die Streubreiten der Heizgrenztemperatur angezeigt. Für etwa ein Drittel der Gebäude ergibt sich eine Veränderung der Heizgrenze über 1 Kelvin, für ein Drittel unter 1 Kelvin. Für die restlichen Gebäude ist nur ein Wert verfügbar. (Die grafische Darstellung weicht von der Aufbereitung der Messwerte bei den optimierten Gebäuden ab, weil nicht genug Messwerte verfügbar sind.)

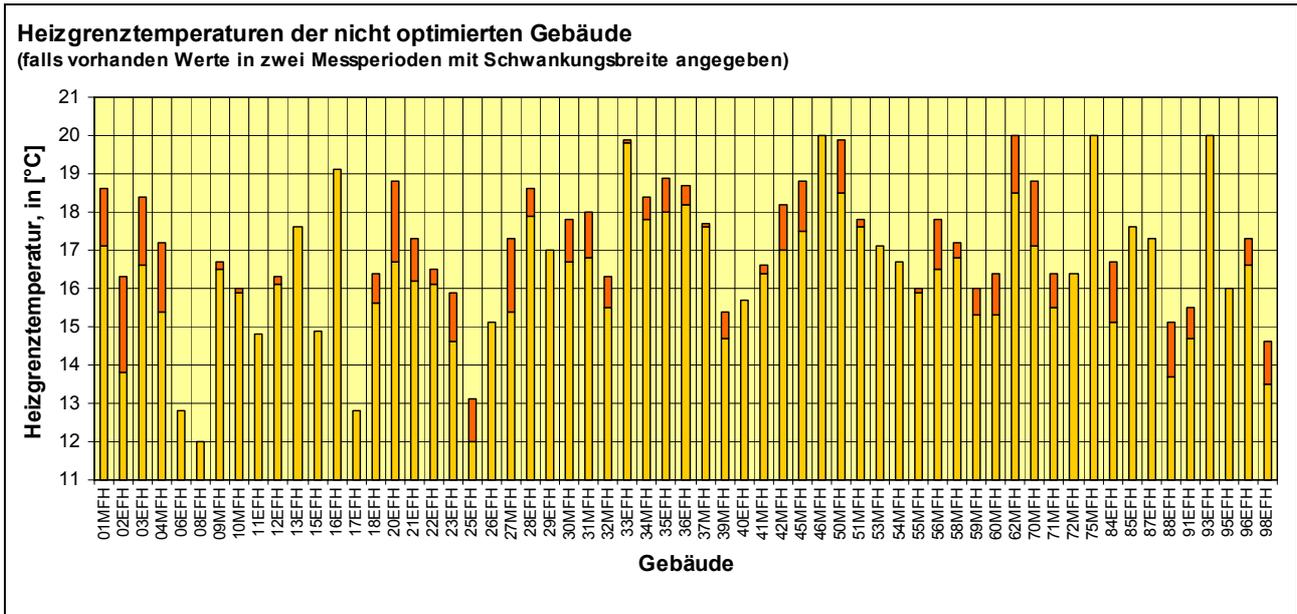


Bild 160 Heizgrenztemperaturen der nicht optimierten Gebäude

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 59 zusammengestellten Kennwerte. Die Kennwerte sind durch einfache Mittelwertbildung gebildet, d.h. die Summe aller Heizgrenztemperaturen wurde durch die Anzahl der ausgewerteten Gebäude geteilt. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Kriterium	Heizgrenztemperatur, in [°C]	Zahl
alle	16,6	92
vor 1978	16,5	47
1978 bis 1994	17,2	20
ab 1995	16,3	25
EFH	16,1	52
MFH	17,2	40
Fernwärme	17,0	33
Gas/Ölkessel	16,4	59

Tabelle 59 Heizgrenztemperaturen

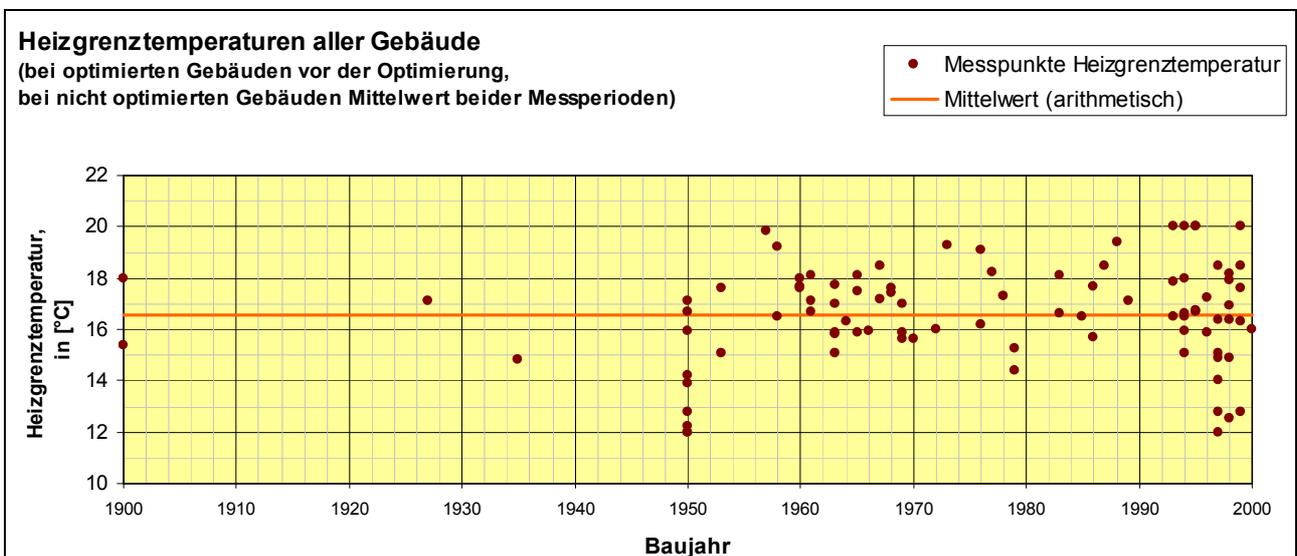


Bild 161 Heizgrenztemperaturen nach Gebäudebaujahr

Die beim Baujahr 1950 eingetragenen 8 Werte entsprechen den 8 Einzelwerten von Etagenwohnungen eines Mehrfamilienhauses (12 ... 17 °C).

Die Heizgrenze liegt im Mittel aller untersuchten Gebäude bei 16,6 °C. Dieser Wert ist weit höher als allgemein in theoretischen Bedarfsbilanzen verwendet: 12 ... 15 °C für den Bestand, 10 ... 12 °C für Neubauten. Die Heizgrenztemperatur ergibt sich fast unabhängig von Baujahr des Gebäudes (siehe auch Bild 161). Verglichen mit den EFH ist sie in den MFH etwa 1 Kelvin höher.

Korrelation der Heizgrenze

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Abhängigkeit der Heizgrenze von bestimmten Gebäude- und Nutzungsmerkmalen.

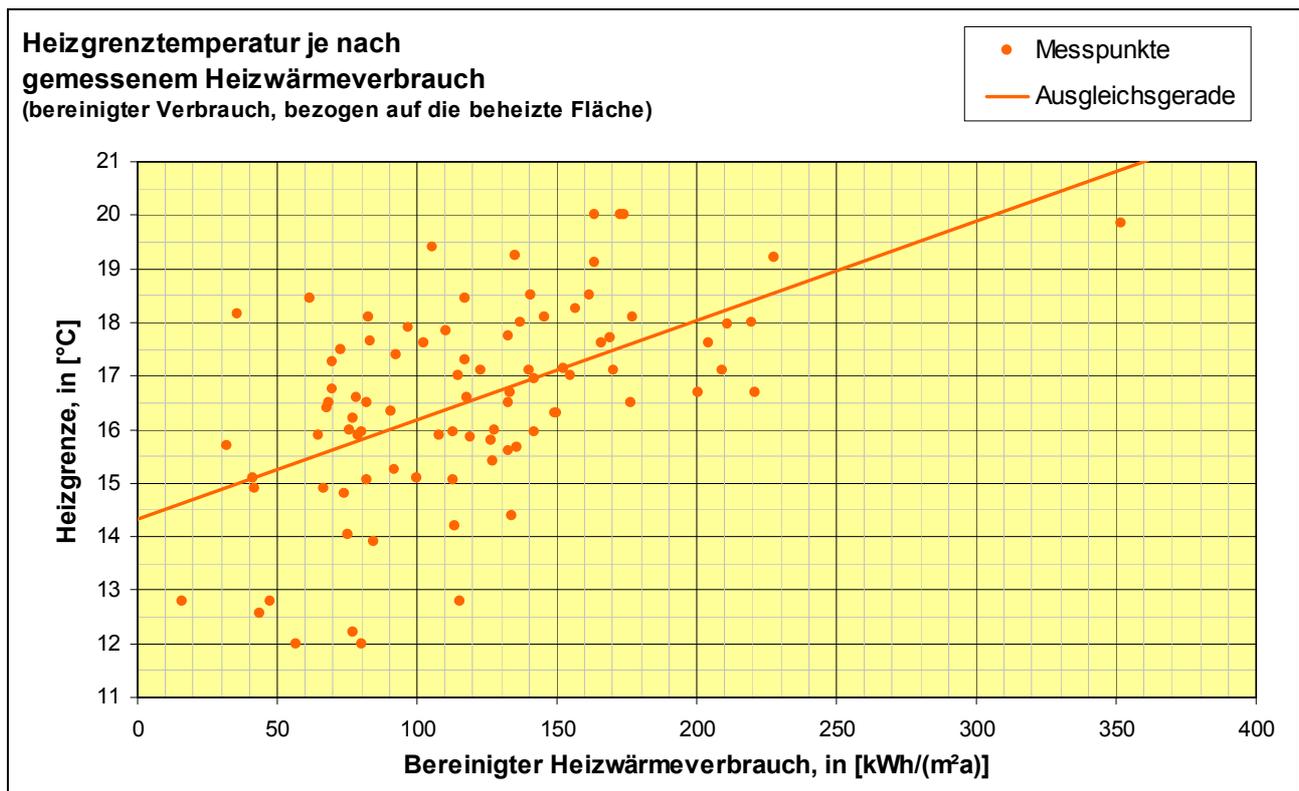


Bild 162 Heizgrenztemperaturen nach gemessenem Heizwärmeverbrauch

Die Heizgrenztemperatur hängt – allerdings mit großer Streubreite – vom Heizwärmeverbrauch des Gebäudes ab. Bild 162 zeigt den Zusammenhang.

Bild 163 zeigt die Abhängigkeit der aus Messwerten bestimmten Heizgrenze vom gemessenen bezogenen Verlustkennwert h . Bild 164 gibt diese Abhängigkeit für den vergleichbaren theoretischen Kennwert wieder. In beiden Fällen sind keine eindeutigen Tendenzen erkennbar - die eingetragenen Trendlinien sind nur als Orientierungshilfe zu gebrauchen.

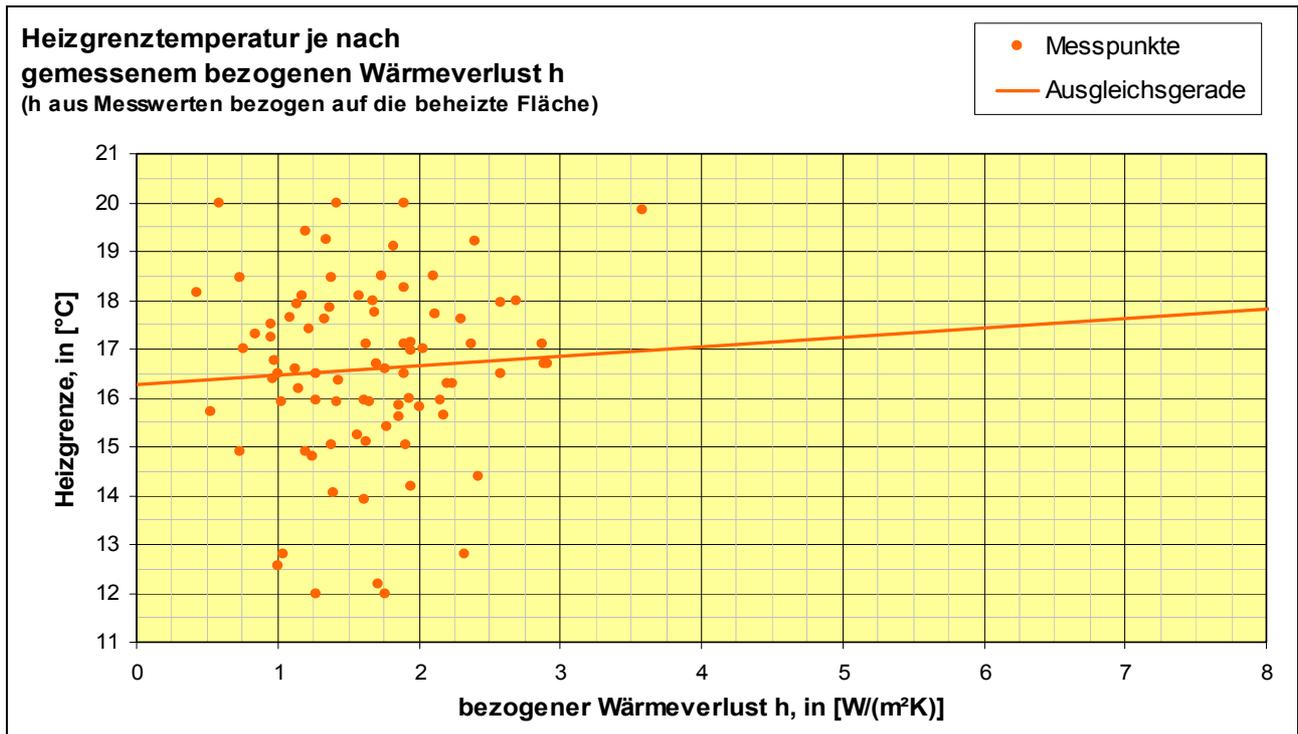


Bild 163 Heizgrenztemperaturen nach gemessenem bezogenem Wärmeverlust

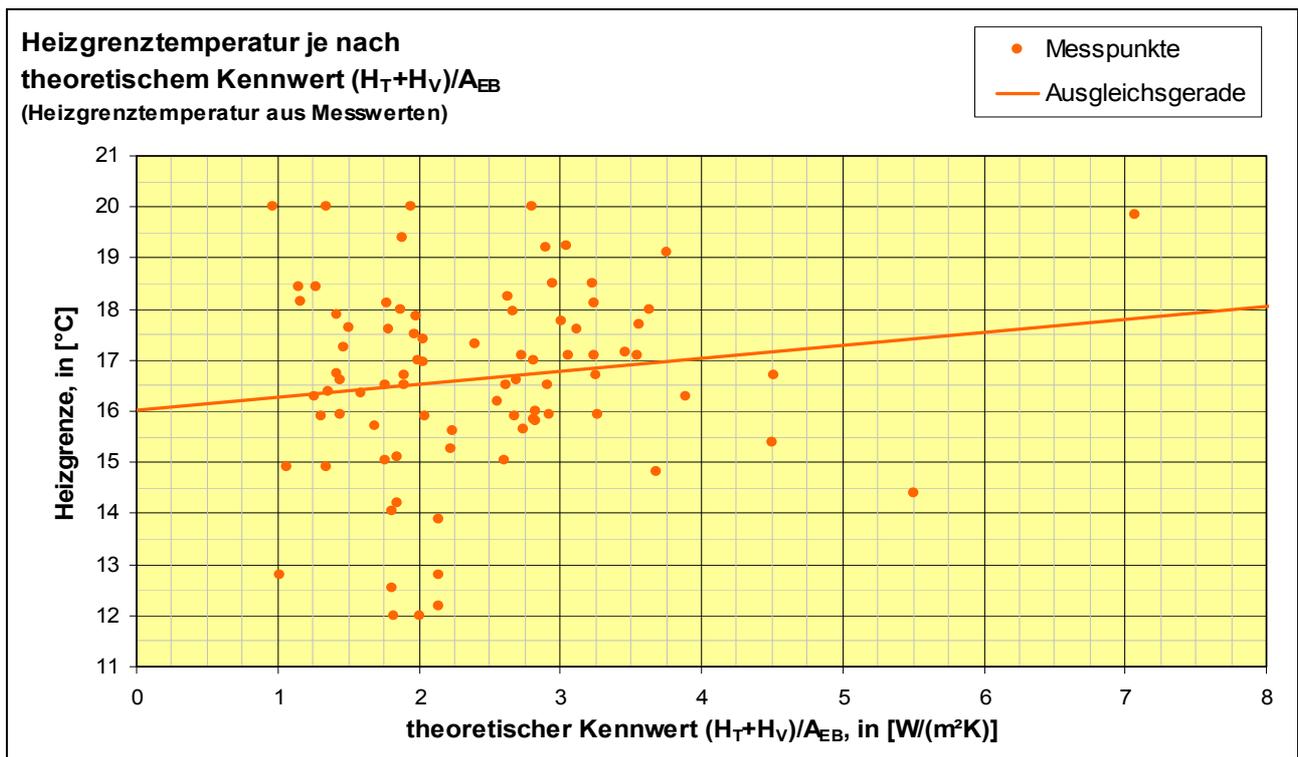


Bild 164 Heizgrenztemperaturen nach theoretischem Kennwert $(H_T + H_V)/A_{EB}$

Verminderung der Heizgrenze bei der Optimierung

Die Verminderung der Heizgrenze in 30 der 31 optimierten Gebäude je nach Eigenschaft zeigt Tabelle 60. Die Optimierung zeigt im Mittel der Gebäude praktisch keine Verschiebung der Heizgrenztemperatur. Die einzigen nennenswerten Veränderungen der Heizgrenze durch die Optimierung sind bei den fernwärmeversorgten Gebäuden sowie bei der Gruppe der Gebäude mit Baujahren von 1978 bis 1994 zu erkennen.

Typ	Status	Heizgrenztemperatur, in [°C]			Zahl
		Messperiode I	Messperiode II	Differenz	
alle	optimiert	16,3	15,9	-0,4	30
	nicht optimiert	16,9	16,7	-0,2	44
EFH	optimiert	15,8	15,7	-0,2	19
	nicht optimiert	16,2	16,4	0,2	19
MFH	optimiert	17,2	16,3	-0,9	11
	nicht optimiert	17,4	16,9	-0,5	25
Fernwärme	optimiert	17,4	16,2	-1,1	8
	nicht optimiert	17,5	17,2	-0,3	21
Gas/Ölkessel	optimiert	15,9	15,8	-0,2	23
	nicht optimiert	16,3	16,2	-0,2	23
bis 1977	optimiert	15,5	15,3	-0,2	18
	nicht optimiert	17,3	16,8	-0,6	23
1978 - 1994	optimiert	17,9	17,0	-0,9	9
	nicht optimiert	16,5	16,7	0,2	9
ab 1995	optimiert	16,5	16,0	-0,5	3
	nicht optimiert	16,3	16,4	0,1	12

Tabelle 60 Verminderung der Heizgrenze in zwei Messperioden

10.2.3 Verlustkennwert aus Messwerten

Für die energetisch auswertbaren Gebäude (88) wurde der bezogene Verlustkennwert h in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Er entspricht der Steigung des Verbrauchsverlaufs.

Zur Nachbildung der Verbrauchsgeraden wurden konkret nur Monatsmesswerte verwendet, wenn die zugehörige Monatsaußentemperatur 20 °C nicht überschritt und die mittlere gemessene Wärmeleistung für Heizung größer oder gleich 100 W (absolut) war. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und mittleren Kennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für die optimierten Gebäude konnte in beiden Messperioden vor und nach der Optimierung jeweils ein Wert für den bezogenen Wärmeverlust h aus den Messwerten bestimmt werden. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

Die Ergebnisse für die optimierten Gebäude zeigen Bild 165 für die MFH und Bild 166 für die EFH. Die Streubreite ist sehr viel größer bei den Einfamilienhäusern.

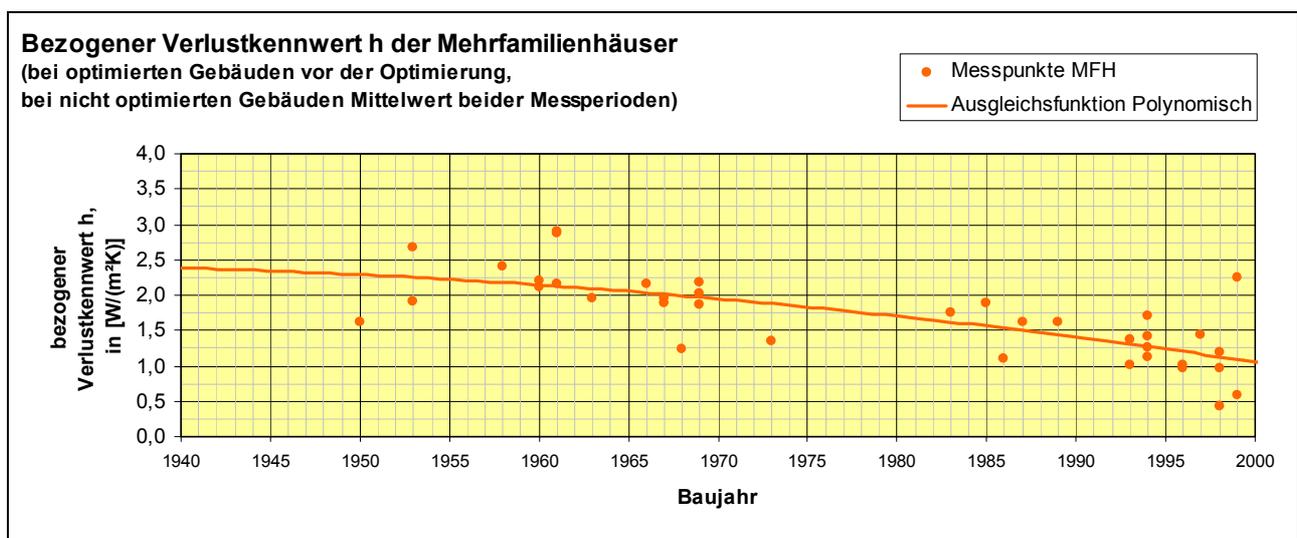


Bild 165 Bezogener Verlustkennwert h der Mehrfamilienhäuser

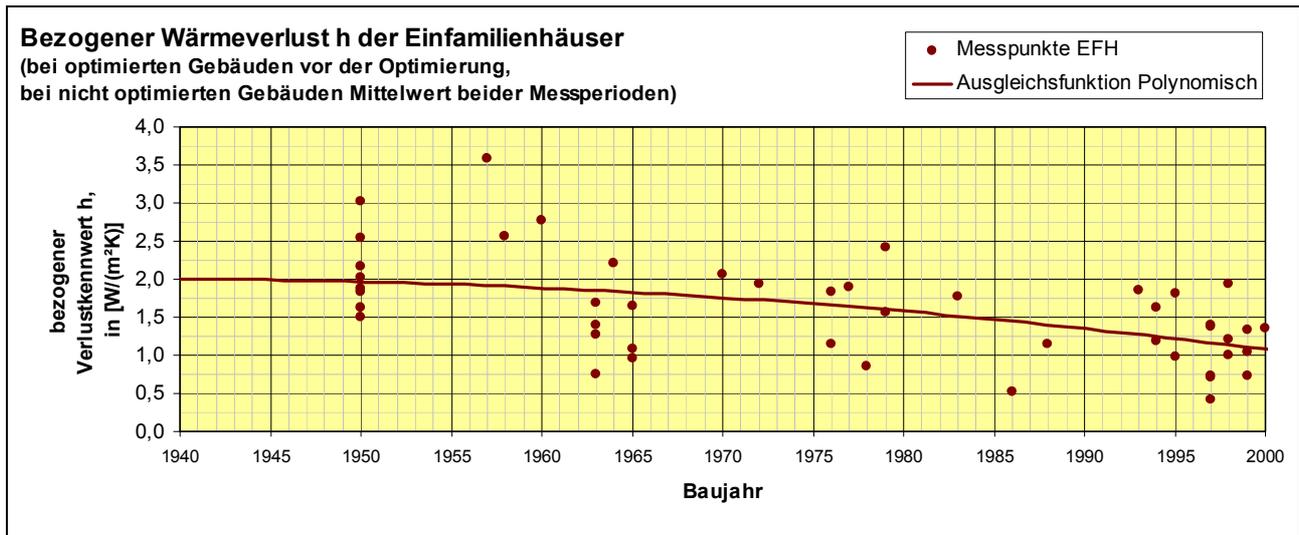


Bild 166 Bezogener Verlustkennwert h der Einfamilienhäuser

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Bild 167 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Verlustkennwerte H bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden beheizten Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Messwert der ersten Periode, für die nicht optimierten Gebäude der Mittelwert beider Perioden (sofern verfügbar), sonst der verfügbare Wert.

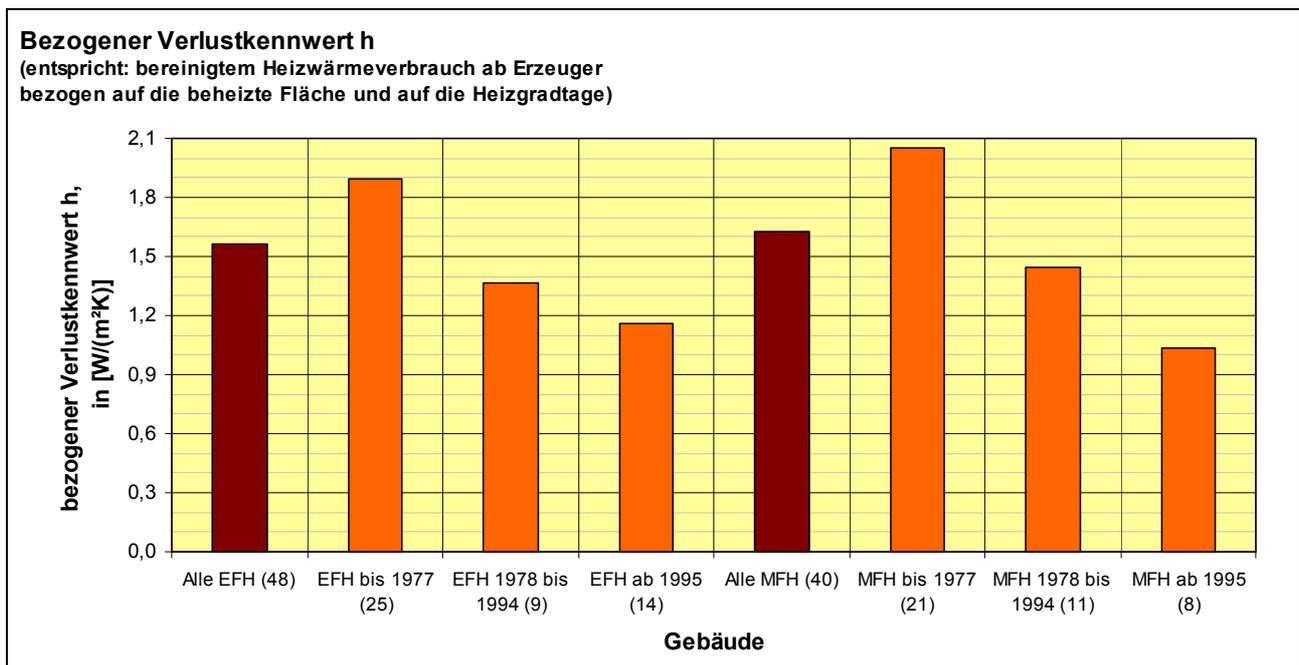


Bild 167 Bezogener Verlustkennwert h nach Gebäudetyp und -alter

Die Auftragung zeigt sehr gut die Verminderung des Verlustkennwerts h in Gebäuden neueren Baujahrs. In Mittel aller 88 untersuchten Gebäude ergibt sich ein bezogener Verlustkennwert von 1,6 W/(m²K).

Verminderung des Verlustkennwerts bei der Optimierung

Die Verminderung des bezogenen Verlustkennwert h in den 73 auswertbaren Gebäuden je nach Eigenschaft zeigt Tabelle 61. Die Optimierung zeigt im Mittel der Gebäude kaum eine Verschie-

bung des Verlustkennwerts. Die einzigen nennenswerten Veränderungen des Verlustkennwerts sind bei den EFH sowie bei der Gruppe der Gebäude mit Baujahren ab 1995 zu erkennen.

Typ	Status	Verlustkennwert h, in [W/(m²K)]			Zahl
		Messperiode I	Messperiode II	Differenz	
alle	optimiert	1,76	1,77	0,01	30
	nicht optimiert	1,57	1,61	0,04	43
EFH	optimiert	1,77	1,64	-0,13	19
	nicht optimiert	1,66	1,67	0,00	19
MFH	optimiert	1,76	1,81	0,05	11
	nicht optimiert	1,55	1,60	0,05	24
Fernwärme	optimiert	1,64	1,65	0,02	8
	nicht optimiert	1,36	1,40	0,04	21
Gas/Ölkessel	optimiert	1,82	1,82	0,01	22
	nicht optimiert	1,88	1,92	0,04	22
bis 1977	optimiert	2,04	2,06	0,01	18
	nicht optimiert	1,90	1,98	0,08	22
1978 - 1994	optimiert	1,67	1,71	0,05	9
	nicht optimiert	1,27	1,25	-0,02	9
ab 1995	optimiert	1,22	1,10	-0,12	3
	nicht optimiert	1,13	1,13	0,01	12

Tabelle 61 Verminderung des bezogenen Verlustkennwerts h in zwei Messperioden

10.2.4 Nachbildung der Verbrauchsgeraden ausgewählter Objekte

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) [4] wurden anhand der gemessenen Verbrauchswerte für Heizwärme (meist ab Wärmemengenzähler) Verbrauchsgeraden erstellt und interpretiert. Das Ziel der sogenannten "Nachbildung des Verbrauchsverlauf" ist folgendes: durch geeignete Wahl von Wertepaaren für Luftwechsel und U-Wert sowie Innentemperatur und Fremdwärme soll genau der gemessene Verbrauch nachgebildet werden. Es soll also sowohl die gleiche Heizgrenztemperatur als auch die gleiche bezogene Last H erreicht werden – theoretische Ableitung siehe Abschnitt 3.4.1.

Aus dem OPTIMUS-Projekt wurden in der Diplomarbeit die folgenden Gebäude über zwei bis drei Heizperioden mit diesem Verfahren untersucht:

- 12EFH, 15EFH, 16EFH, 23EFH, 24EFH und 33EFH,
- 34MFH, 42MFH, 44MFH und 48MFH.

Für ein beispielhaft auf den untersuchten Gebäuden gewähltes Mehrfamilienhaus zeigt Bild 168 den nachgebildeten Verbrauchsverlauf. Eingetragen sind zunächst die Verbrauchsmesspunkte über der Außentemperatur. Darüber hinaus ist aus der Verbrauchsmessung eine Ausgleichsgerade gebildet (orange) und es ist eine berechnete Kurve eingetragen (braun).

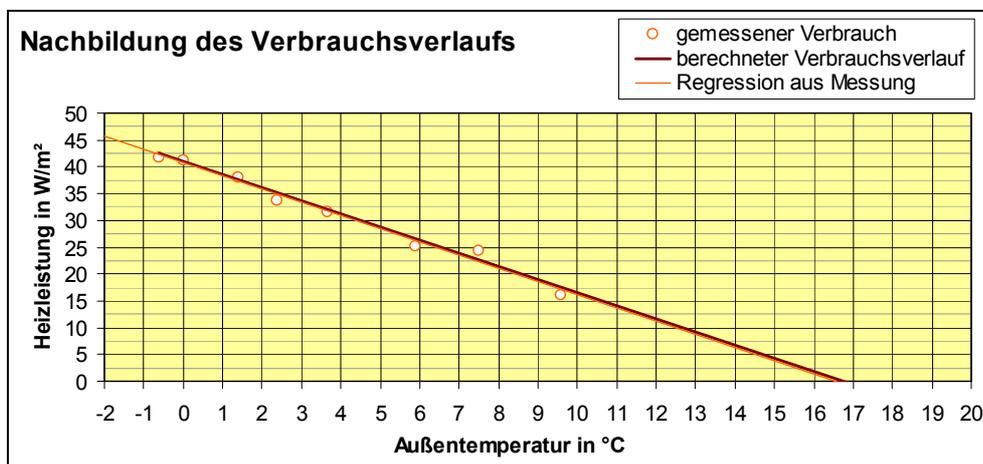


Bild 168 Nachbildung des Verbrauchsverlauf am Beispiel von 34MFH (nach [4])

Der berechnete Verbrauchsverlauf ergibt sich nur so wie im Diagramm eingetragen mit einem Luftwechsel von $0,76 \text{ h}^{-1}$ und einer mittleren Fremdwärmeleistung von $8,3 \text{ W/m}^2$ bei einer angenommenen mittleren Innentemperatur von 20°C . Vorausgesetzt wird dabei, dass die Größe der Hüllfläche des Gebäudes und das belüftete Volumen sowie die beheizte Fläche bekannt sind. Außerdem müssen U-Wert und Innentemperatur vorgegeben werden.

Da aber weder der U-Wert noch die Innentemperatur sehr genau ermittelt werden können, ergeben sich jeweils nur Paare von Ergebnissen, die genau zum Verbrauchsverlauf führen. Für das untersuchte MFH zeigt Tabelle 62 diese Werte. Die Werte, die für das Objekt am realistischsten erscheinen sind fett hinterlegt.

Mögliche Paare von mittlerem U-Wert und Luftwechsel					
mittlerer U-Wert, in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Luftwechselln, in $[\text{h}^{-1}]$	1,16	0,95	0,78	0,60	0,38
Mögliche Paare von Innentemperatur und Fremdwärmeleistung					
Innentemperatur, in $[\text{C}]$	18	19	20	21	22
Fremdwärmeleistung, in $[\text{W}/\text{m}^2]$	3,3	5,8	8,3	10,6	13,3

Tabelle 62 Kennwertpaare für den Verbrauchsverlauf in 34MFH [4]

Tabelle 63 liefert die Ergebnisse auch für fünf weitere Gebäude des OPTIMUS-Projekts. Die genannten Werte sind mit jedoch noch mit einigen Unsicherheiten behaftet, da die Auswertungen der Diplomarbeit zu einem sehr frühen Projektzeitraum erfolgten. Die genaue Gebäudebegehung und Planauswertung einzelner Häuser hat später z.B. veränderte Flächen ergeben. Damit müssten auch die Ergebnisse der Diplomarbeit bei Bedarf noch einmal überarbeitet werden.

Kennwerte		33EFH	34MFH	42MFH	44MFH	48MFH
beheizte Fläche	m^2	435	965	472	1250	1019
Bewohner	Anzahl	3	38	14	45	31
Heizgrenze ϑ_{HG}	$^\circ\text{C}$	19	17	16	15	14
mittlerer U-Wert	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	1,21	1,11	1,07	0,50	0,95
Luftwechsel n	1/h	0,50	0,76	1,35	0,70	1,00
Innentemperatur ϑ_i	$^\circ\text{C}$	20,0	20,0	19,0	20,0	18,0
mittlere Fremdwärmeleistung	W/m^2	3,3	8,3	8,5	6,8	7,3

Tabelle 63 Kennwerte aus dem Verbrauchsverlauf [4]

Für Gebäude 33EFH ergibt sich aufgrund des monolithischen Wandaufbaus ein schlechter U-Wert. Die innere Fremdwärme wird sehr gering angenommen, weil nur eine geringe Personenbelegung zu verzeichnen ist. Die 20°C Innentemperatur erweist sich nach Rücksprache mit den Nutzern als realistisch. Für das Gebäude 34MFH ergeben sich wegen dichter Personenbelegung eher hohe Fremdwärmegewinne. Der hohe Luftwechsel ist realistisch – ebenfalls wegen der hohen Personenbelegung.

Weitere Interpretationen finden sich in [4].

10.2.5 Energieeinsparungen in der Kern- und Übergangszeit

Aus den Messwerten einzelner Gebäude wurde im Rahmen einer Diplomarbeit an der der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) [4] Energieeinsparpotentiale in der Übergangszeit untersucht. Folgende Vorgehensweise wurde dazu gewählt.

Aus den Verbrauchsdaten der drei kältesten Monate Dezember bis Februar kann mit Hilfe der Heizgradtage die bezogene Gebäudeheizlast H berechnet werden. Dazu wird der gemessene Heizwärmeverbrauch (Wärmemengenzähler) durch die Heizgradtage geteilt. Der sich ergebende Kennwert entspricht im beispielsweise Bild 158 der Geradensteigung. Die berechnete bezogene Gebäudeheizlast wird nur aus Daten der Winterzeit ermittelt, weil das Verschwendungspotential hier am geringsten vermutet wird. Die Heizgrenztemperatur die für diese Rechnung benötigt wird, ergibt sich aus dem Verbrauchsverlauf der Kernheizzeit.

Mit dem berechneten Leistungsbedarf der Kernheizzeit wird überprüft, ob der Verbrauch in der Übergangszeit eher verschwenderisch oder sparsamer als im Winter ist. Mit den Daten der Kernheizzeit wird also der "optimale Verbrauchsverlauf" bestimmt, der sich ergeben würde, wenn das Nutzerverhalten über das ganze Jahr konstant so sparsam wie im Winter bliebe und die Regelung sowie die Anlagenhydraulik optimiert wären.

Für ein beispielhaft gewähltes Einfamilienhaus (16EFH) zeigt Bild 169 die beiden Verbrauchsverläufe der Heizperioden 2001/2002 und 2002/2003. In beiden Jahren ergeben sich eine Heizgrenztemperatur von etwa 16 °C und eine bezogene Heizlast im Winter von etwa 340 W/K. Dies entspricht einer maximalen Heizlast von 11,9 kW.

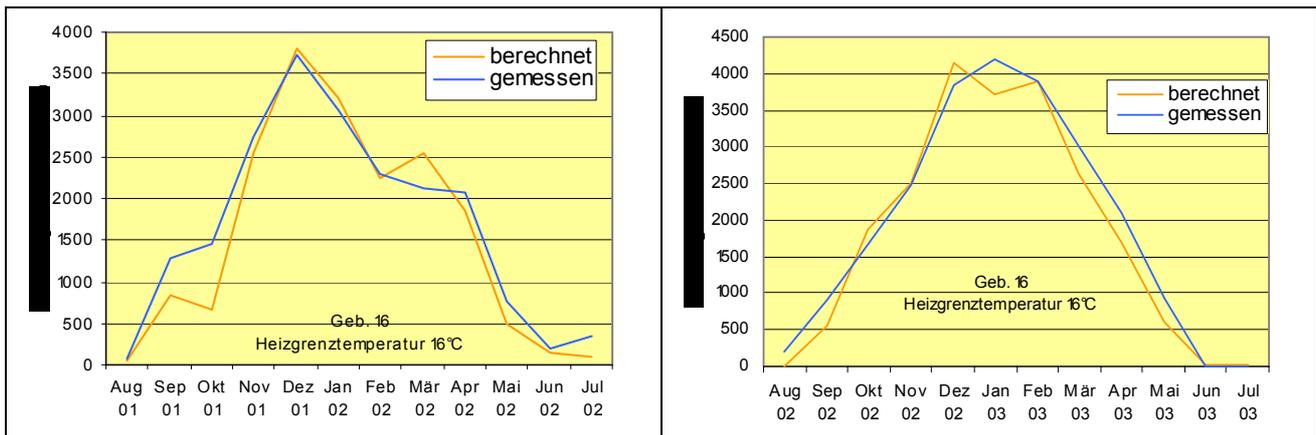


Bild 169 Abschätzung der Energieeinsparpotentiale in der Übergangszeit

Es zeigt sich, dass der gemessene Verbrauch etwa 7 ... 8 % vom definierten "optimalen Verbrauch" abweicht. Das heißt, wenn das Nutzerverhalten der Kernheizzeit auch in der Übergangszeit fortgeführt würde, dann ergäbe sich das abgeschätzte Energieeinsparpotential.

Die weitere Auswertung der Gebäude 12EFH, 15EFH, 23EFH und 24EFH ergibt das größte Einsparpotential im Herbst [4]. Hier wird tendenziell viel gelüftet (Verhaltensweise der Nutzer aus dem Sommer), obwohl die Temperaturen und die Sonneneinstrahlung schon gering sind.

10.3 Vergleich der Praxis- mit Theoriewerten

10.3.1 Hüll- und Nutzungskennwerte

Die Gegenüberstellung der gemessenen und theoretischen Kennwerte, die zur Beschreibung des Baukörpers und der Nutzung herangezogen werden können, zeigt Tabelle 64.

Die beiden Kennwerte h und $(H_T + H_V)/A_{EB}$ beschreiben identische Eigenschaften des Gebäudes und der Nutzung und sollten daher vergleichbar sein. Der Messwert h und der Theoriewert $(H_T + H_V) / A_{EB} = U_m \cdot A/A_{EB} + n \cdot 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot h_{\text{Raum}}$ sind das Maß für die Geradensteigung des Verbrauchsverlaufs (vgl. Abschnitt 10.2).

Die beiden zusätzlich mit angegebenen Kennwerte U_m (mittlerer U-Wert) sowie $U_m \cdot A/A_{EB}$ (mittlerer U-Wert mal Kompaktheit) sind theoretische Teilkennwerte zur Beschreibung des Gebäudehülle. Sie sind nicht unmittelbar mit Messwerten vergleichbar.

Es zeigt sich, dass der Messwert für h und der vergleichbare Theoriewert $(H_T + H_V)/A_{EB}$ teilweise sehr weit voneinander abweichen. **Dabei ist der Theoriewert in allen Gruppen größer als der Messwert. Im Mittel aller Gebäude ergibt sich eine Differenz von 0,8 W/(m²K) bzw. 50 %.** In der Betrachtung aller Gebäude nimmt der absolute Fehler zu den neueren Gebäuden hin ab. Der relative Fehler ist ebenfalls bei den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse am geringsten.

Kriterium 1	Kriterium 2	h , in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$		$(H_T+H_V)/A_{EB}$, in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$		U_m , in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$		$U_m \cdot A/A_{EB}$, in $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	
		Wert	Anzahl	Wert	Anzahl	Wert	Anzahl	Wert	Anzahl
alle		1,6	88	2,4	84	1,0	84	1,9	84
alle	bis 1977	2,0	46	3,0	44	1,2	44	2,5	44
	1978 bis 1994	1,4	20	2,3	20	0,9	20	1,8	20
	ab 1995	1,1	22	1,4	20	0,5	20	0,8	20
EFH	bis 1977	1,9	25	3,1	25	1,2	25	2,6	25
	1978 bis 1994	1,4	9	2,2	9	0,7	9	1,7	9
	ab 1995	1,2	14	1,5	12	0,4	12	1,0	12
	alle	1,6	48	2,5	46	0,9	46	1,9	46
MFH	bis 1977	2,1	21	3,0	19	1,2	19	2,5	19
	1978 bis 1994	1,4	11	2,3	11	0,9	11	1,8	11
	ab 1995	1,0	8	1,3	8	0,5	8	0,8	8
	alle	1,6	40	2,3	38	1,0	38	1,8	38
Fernwärme	bis 1977	1,9	14	2,8	12	1,1	12	2,3	12
	1978 bis 1994	1,2	9	2,0	9	0,8	9	1,5	9
	ab 1995	1,1	9	1,4	8	0,5	8	0,9	8
	alle	1,4	32	2,0	29	0,8	29	1,5	29
Gas/Ölkessel	bis 1977	2,1	32	3,1	32	1,2	32	2,5	32
	1978 bis 1994	1,7	11	2,6	11	1,0	11	2,1	11
	ab 1995	1,0	13	1,3	12	0,5	12	0,8	12
	alle	1,8	56	2,6	55	1,1	55	2,1	55

Tabelle 64 Hüllkennwerte im Vergleich

Es kommen drei Ursachen für die theoretische Überschätzung der Verlustkennwerte infrage:

- falsche Annahme der U-Werte (U_m)
- falsche Annahme des Luftwechsels (n)
- falsche Ermittlung der Geometriedaten (A/A_{EB} , h_{Raum})

Die geringste Fehleinschätzung wird auf die Ermittlung der geometrischen Daten zurückgeführt. Es sind in den meisten Fällen Pläne für Gebäude vorhanden, die Gebäude wurden alle begangen und sowohl von außen als auch von innen aufgenommen.

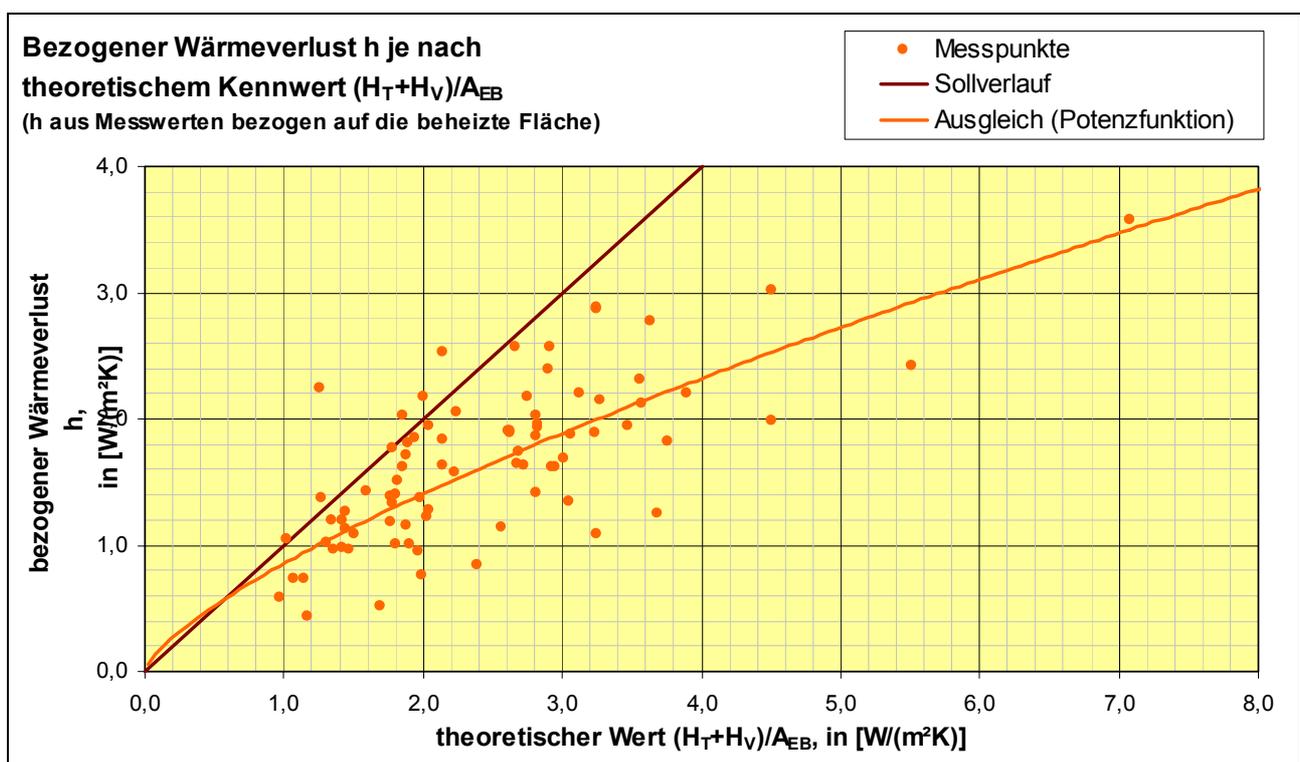


Bild 170 Bezogener Wärmeverlust h (Messwert) über $(H_T + H_V)/A_{EB}$ (Theoriewert)

Damit die Theoriedaten größer als die Praxiswerte sind, muss der Luftwechsel zu hoch eingeschätzt worden sein (Theorieannahme: $0,6 \text{ h}^{-1}$) oder die U-Werte der Baukonstruktion ist zu schlecht geschätzt worden. Die genaue Fehleranalyse soll im Rahmen des Projekts nicht erfolgen. Der größere Fehler wird in der Ermittlung der U-Werte anhand von Typologien nach Begutachtung der Baukonstruktion vor Ort gesehen.

Es ist kein wesentlicher Unterschied dieser theoretischen Fehleinschätzung bei EFH und MFH zu beobachten. Bild 170 zeigt die Korrelation der Praxiswerte (y-Achse) mit den Theoriewerten (x-Achse). Aufgetragen ist der bezogene Wärmeverlust h aus Messwerten über dem Kennwert $(H_T + H_V)/A_{EB}$.

10.3.2 Heizlast

Die Gegenüberstellung theoretisch und aus Messwerten ermittelter (Auslegungs-) Heizlasten zeigt Tabelle 65 als Mittelwert aller Gebäude und für Gebäudegruppen. Die Unterscheidung nach Baualtersklassen ist zusätzlich in Bild 171 wiedergegeben.

Kriterium 1	Kriterium 2	Theoretische Gebäudeheizlast, in $[\text{W}/\text{m}^2]$		Gebäudeheizlast aus Messwerten, in $[\text{W}/\text{m}^2]$	
		Wert	Anzahl	Wert	Anzahl
alle		65	83	50	83
alle	bis 1977	84	44	62	44
	1978 bis 1994	62	20	45	20
	ab 1995	34	19	35	19
EFH	bis 1977	91	25	61	25
	1978 bis 1994	60	9	45	9
	ab 1995	39	11	40	11
	alle	70	45	52	45
MFH	bis 1977	82	19	62	19
	1978 bis 1994	63	11	46	11
	ab 1995	33	8	34	8
	alle	64	38	50	38

Tabelle 65 Heizlasten im Vergleich

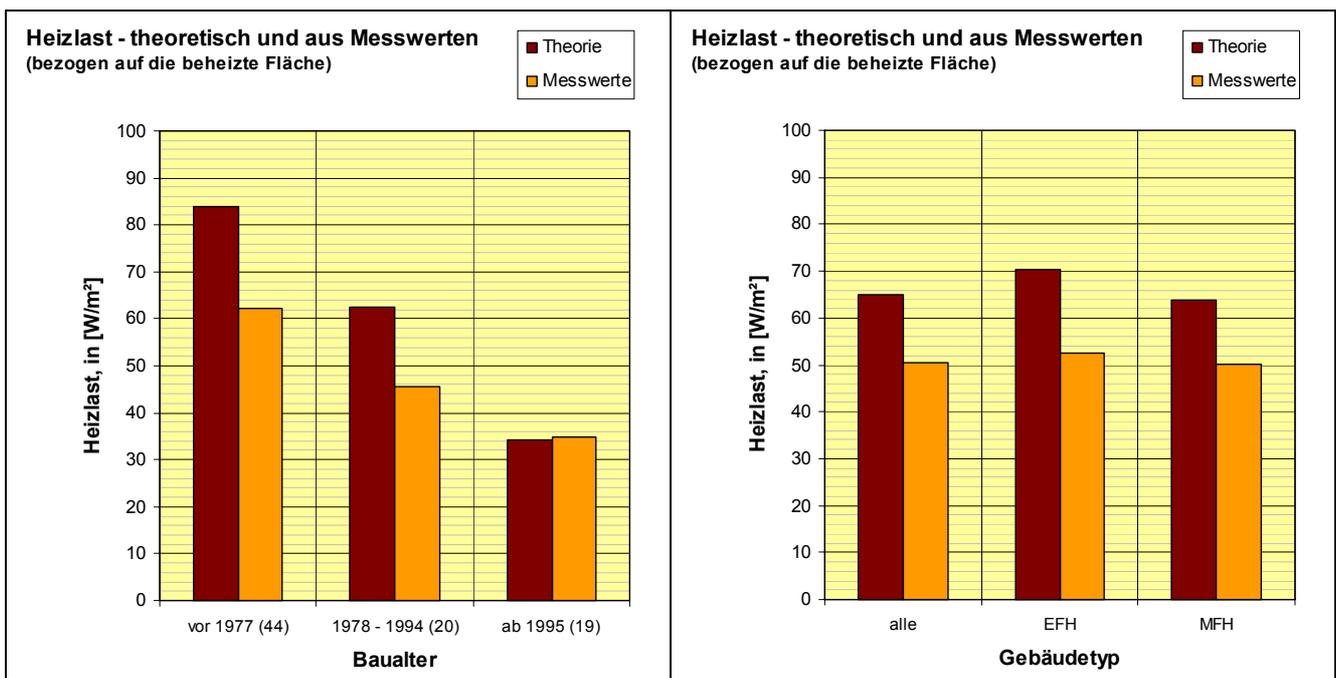


Bild 171 Heizlasten je nach Baualter und Gebäudetyp

Die theoretische Heizlast wurde mit dem mittleren U-Wert, der Gebäudekompaktheit A/A_{EB} , der mittleren Raumhöhe h_{Raum} , einem Luftwechsel von $0,25\text{ h}^{-1}$ und der Auslegungstemperaturdifferenz am Standort ($30 \dots 34\text{ K}$) berechnet. Die Heizlast aus Messwerten wurde mit dem bezogenen Wärmeverlust h und der Auslegungstemperaturdifferenz am Standort ($30 \dots 34\text{ K}$) bestimmt.

Die theoretische Heizlast ist im Mittel 30 % zu groß bestimmt, wobei die Werte für die ältesten Gebäude am stärksten vom Messwert abweichen und bei den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse fast übereinstimmen. Dies bestätigt auch Bild 172. Nur bei Heizlasten unter etwa 35 W/m^2 sind die Theoriewerte kleiner als die tatsächlichen Werte.

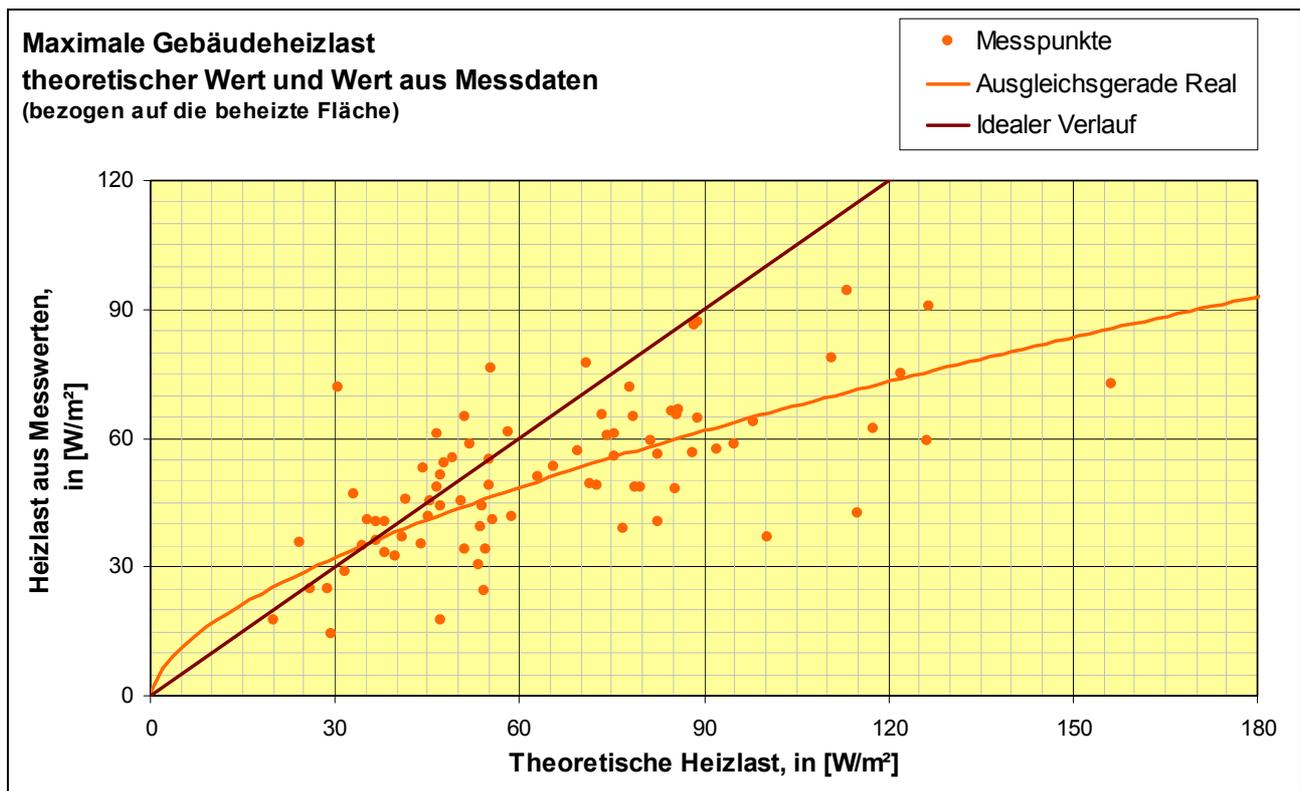


Bild 172 Heizlast aus Messwerten über theoretischer Heizlast

10.3.3 Heizenergiebedarf

Ein Teil der für die OPTIMUS-Gebäude erhobenen Kennwerte aus Energieverbrauchsdaten kann mit theoretischen Kennwerten nach einem Energiebilanzprogramm verglichen werden. Das für die theoretische Bilanzierung verwendete Programm (EID Bestand) bilanziert bestehende Gebäude anhand des Rechenalgorithmus, der auch für den Feldversuch der Energiepasserstellung der Deutschen Energieagentur (dena) zugelassen wurde.

Wegen der unterschiedlichen Bilanzschnittstellen sind die meisten Energiekennwerte aus Messung und Bedarfsrechnung nicht miteinander vergleichbar. Der Heizwärmebedarf und Heizwärmeverbrauch sind nicht vergleichbar, da im Theoriewert nicht alle inneren Fremdwärmemengen berücksichtigt sind, im Praxiswert dagegen auch Verteilverluste außerhalb des beheizten Bereichs enthalten sind. Die Hilfsenergiemengen sind ebenfalls nicht vergleichbar, weil im Theoriewert alle Hilfsenergiemengen enthalten sind, diese jedoch nicht vollständig in der Praxis erfasst wurden.

Auch die Primärenergie ist nicht vergleichbar, weil die Hilfsenergiemengen nicht korrekt wiedergegeben sind und für viele gemessene Gebäude mit dezentraler Trinkwarmwasserbereitung keine Messwerte derselben verfügbar sind. Vergleichbar sind letztlich nur die Endenergien für Heizung (Heizenergiebedarf oder -verbrauch) sowie die Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung (Endenergiebedarf oder -verbrauch Wärme).

Der Heizenergiebedarf konnte für 84 Gebäude ermittelt werden. Er umfasst den Heizwärmebedarf und alle technischen Verluste bei der Heizwärmebereitstellung. Der Heizenergiebedarf ist somit die bereinigte Wärmeenergiemenge, die dem Gebäude zum Zwecke der Raumheizung theoretisch zugeführt werden muss. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Auswertung der Einzelgebäude

Für alle optimierten Gebäude wurde der Heizenergiebedarf vor und nach der Optimierung bestimmt, siehe Bild 173. Die Auftragung ist vergleichbar mit der Darstellung der Messwerte für den Heizenergieverbrauch in Bild 126. Der theoretische Einfluss der Optimierung (im Programm: "hydraulischer Abgleich vorhanden") ist im EID-Berechnungsverfahren gering und beträgt nur wenige Kilowattstunden.

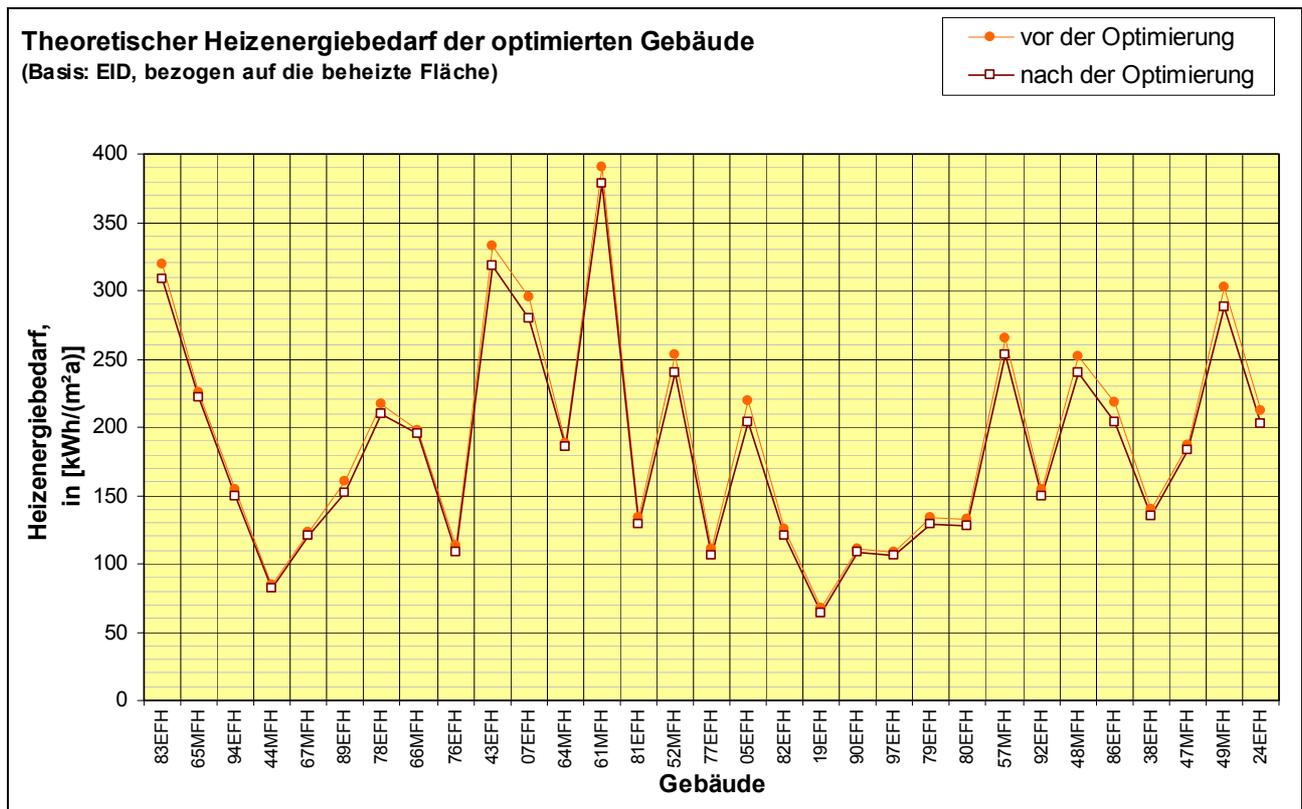


Bild 173 Theoretischer Heizenergiebedarf der optimierten Gebäude

Bild 174 zeigt die Ergebnisse für die nicht optimierten Gebäude. Die Auftragung ist vergleichbar mit der Darstellung der Messwerte in Bild 127.

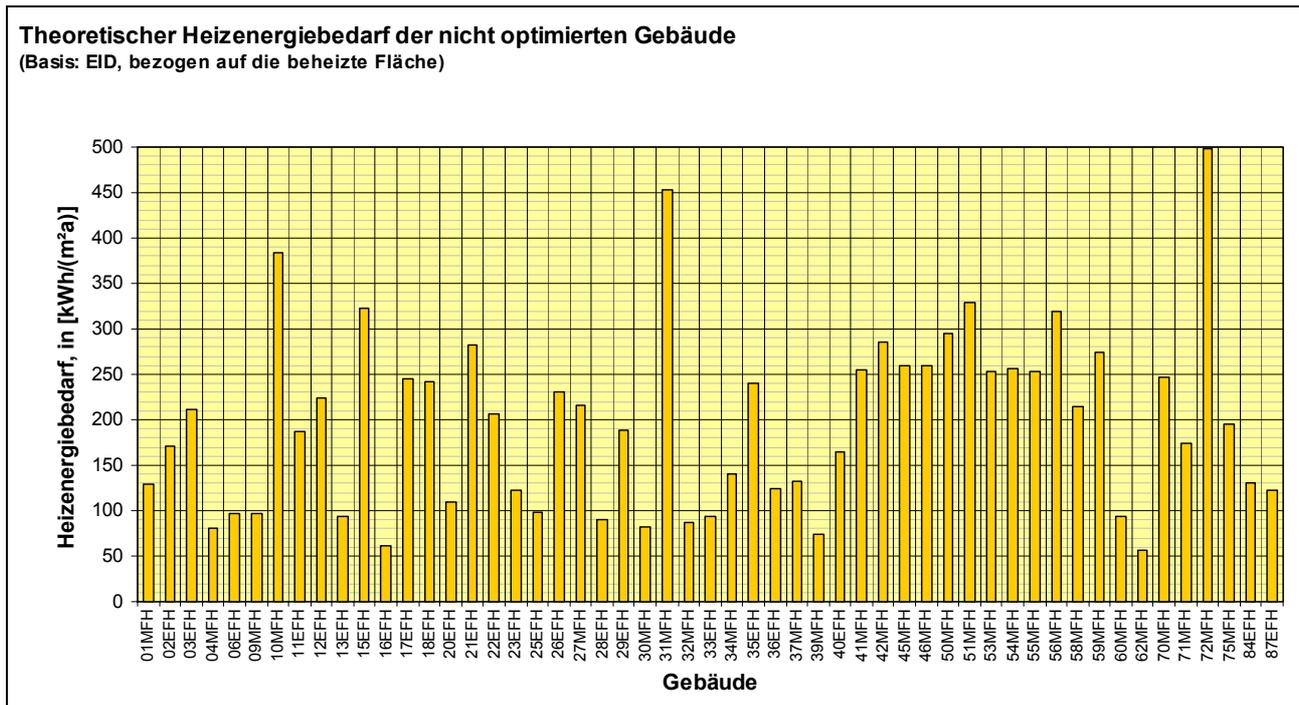


Bild 174 Theoretischer Heizenergiebedarf der nicht optimierten Gebäude

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergibt die in Tabelle 66 zusammengestellten Kennwerte. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Heizenergiebedarfswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Wert vor der Optimierung. Die Kennwerte sind vergleichbar mit den Praxiswerten in Tabelle 35.

Kriterium 1	Kriterium 2	Theoretischer Heizenergiebedarf, in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		189	84
alle	bis 1977	260	44
	1978 bis 1994	164	20
	ab 1995	89	20
EFH	bis 1977	248	25
	1978 bis 1994	183	9
	ab 1995	113	12
	alle	197	46
MFH	bis 1977	263	19
	1978 bis 1994	161	11
	ab 1995	83	8
	alle	187	38
Fernwärme	bis 1977	245	12
	1978 bis 1994	134	9
	ab 1995	86	8
	alle	148	29
Gas/Ölkessel	bis 1977	265	32
	1978 bis 1994	197	11
	ab 1995	93	12
	alle	218	55

Tabelle 66 Theoretischer Heizenergiebedarf

Die Gruppenbildung von Gebäuden unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizenergiebedarfs von 260 ... 164 ... 89 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Hier liegt zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse fast der Faktor drei.

Vergleich von Theorie und Praxis

Die Praxiswerte nach Abschnitt 9.1.6 und die Theoriewerte nach Abschnitt 10.3.3 werden im Folgenden miteinander verglichen. Bild 175 zeigt die Gegenüberstellung der verschiedenen Gruppenauswertungen.

Der bereinigte Heizenergieverbrauch liegt im Mittel aller untersuchten Gebäude 26 % unter dem theoretischen Heizenergiebedarf (EFH: - 36 %, MFH: -24 %). Die Abweichung ist mit -35 % in der ältesten Baualtersklasse am größten. Für die Gebäude der mittleren Baualtersklasse beträgt die Abweichung von Verbrauch zum Bedarf -21 %. Bei den neuen Gebäuden liegt der Verbrauch +10 % über dem Bedarf.

Bei den EFH ergibt sich in allen Baualtersklassen eine Überschätzung des tatsächlichen Verbrauchs (- 39 %, -30 %, -23 % in den 3 Baualtersklassen). Bei den MFH ergibt sich die Überschätzung nur bei den alten Gebäuden (- 35 %, -19 %, +22 % in den 3 Baualtersklassen).

Bei den fernwärmeversorgten Gebäuden ergibt sich in allen Altersklassen eine Überschätzung des tatsächlichen Verbrauchs (- 40 %, -24 %, -5 % in den 3 Baualtersklassen).

Bei den Gebäuden mit Kesseln ergibt sich die Überschätzung nur bei den alten Gebäuden (- 33 %, -18 %, +30 % in den 3 Baualtersklassen). Hier werden vermutlich in der neuesten Baualtersklasse die Kessel deutlich besser eingeschätzt, als sie tatsächlich arbeiten.

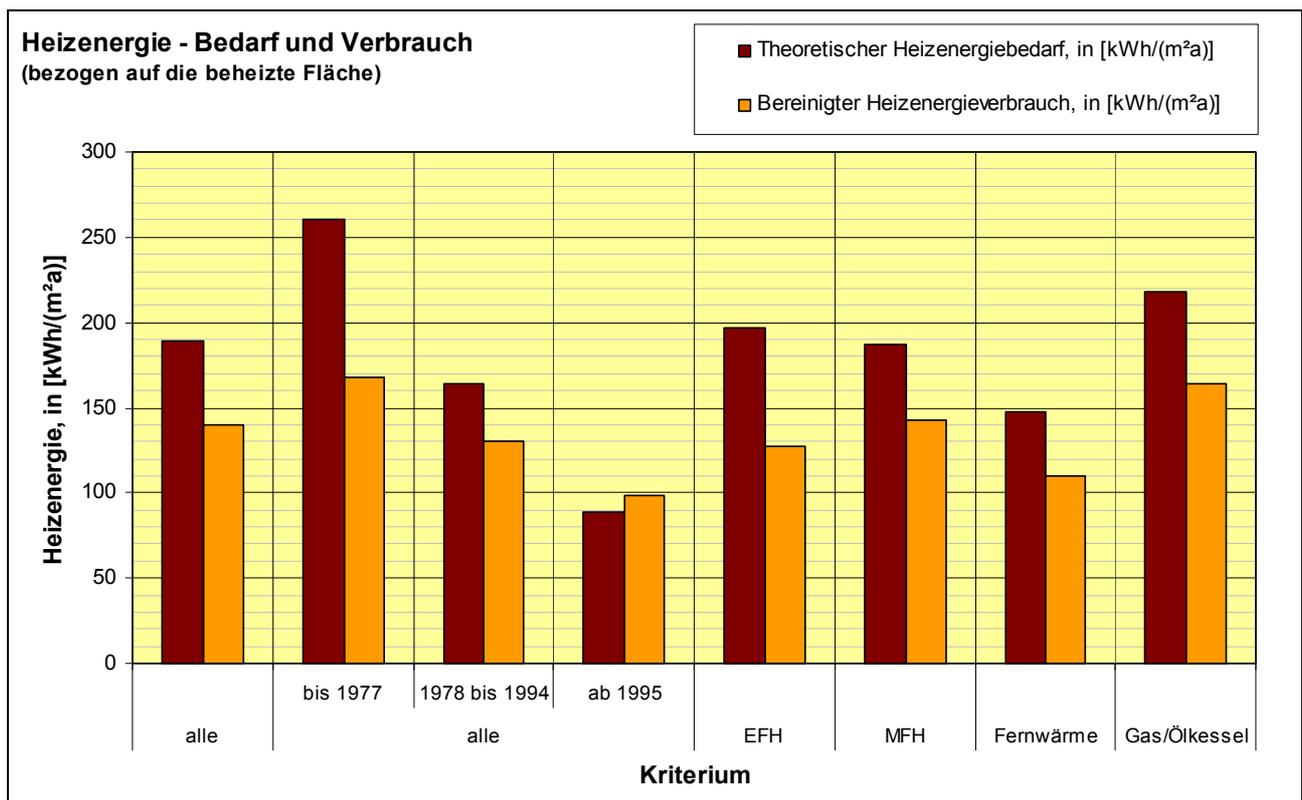


Bild 175 Heizenergie nach mehreren Sortierkriterien

Der Zusammenhang von theoretischen und gemessenen Heizenergiewerten zeigt Bild 176 noch einmal graphisch. Im Bereich unter etwa 75 kWh/(m²a) ergeben sich höhere Verbrauchswerte als berechnete Bedarfswerte. Darüber ist es umgekehrt.

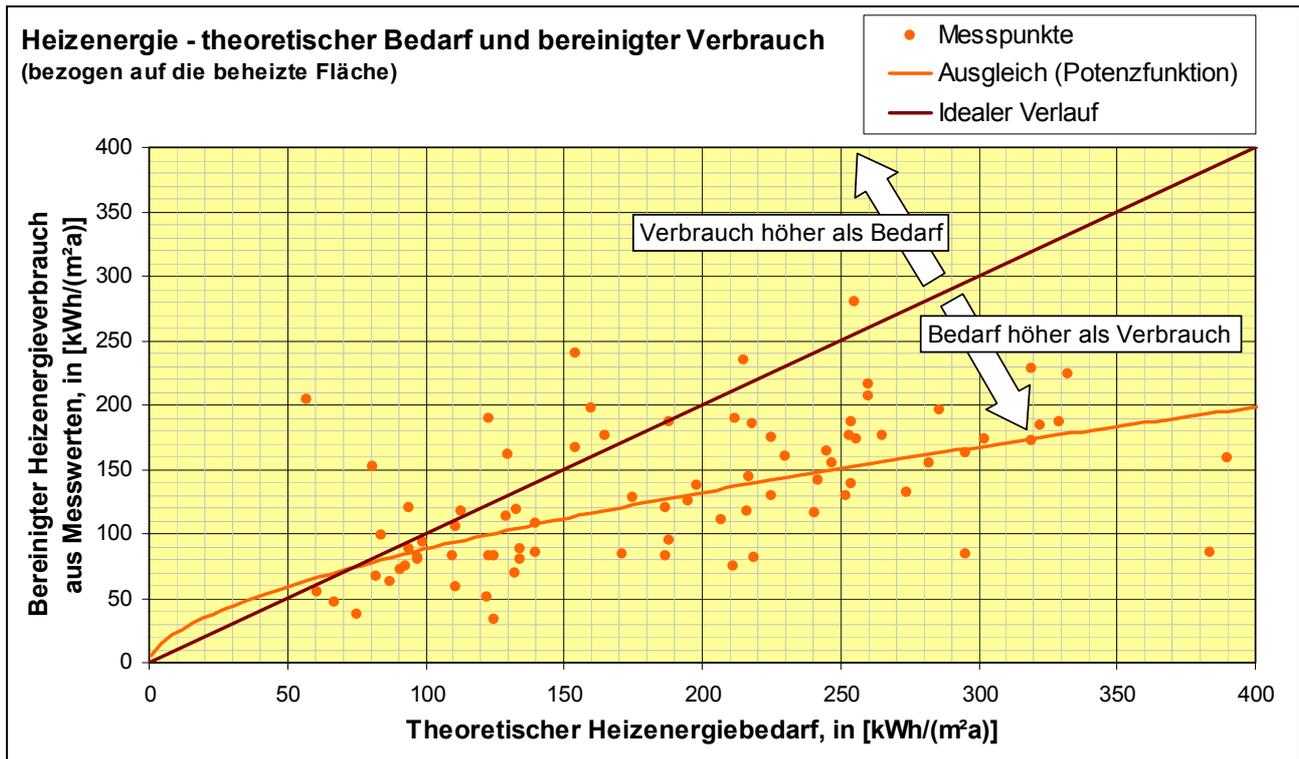


Bild 176 Vergleich der Theoriewerte mit den Praxiswerten

10.3.4 Endenergiebedarf der Wärmeenergien

Der zweite vergleichbare Energiekennwert ist die Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung (Endenergiebedarf oder -verbrauch Wärme).

Der Endenergiebedarf der Wärmeenergie, d.h. der Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung konnte für 64 Gebäude ermittelt werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Einzelgebäude und Summenkennwerte für Gebäudegruppen aufgezeigt.

Gruppenauswertung

Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Tabelle 67 zusammengestellten Kennwerte.

Kriterium 1	Kriterium 2	Theoretischer Endenergiebedarf, in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		217	64
alle	bis 1977	321	28
	1978 bis 1994	209	17
	ab 1995	135	19
EFH	bis 1977	311	22
	1978 bis 1994	232	8
	ab 1995	161	12
	alle	250	42
MFH	bis 1977	328	6
	1978 bis 1994	206	9
	ab 1995	127	7
	alle	207	22
Fernwärme	EFH	290	11
	MFH	150	10
	alle	174	21
Gas/Ölkessel	EFH	233	31
	MFH	252	12
	alle	247	43

Tabelle 67 Theoretischer Endenergiebedarf für Wärme

Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Endenergiebedarfswerte bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Flächen. Für die optimierten Gebäude gilt der Wert vor der Optimierung. Die Kennwerte sind vergleichbar mit den Praxiswerten in **Tabelle 36**.

Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Endenergiebedarf von 321 ... 209 ... 135 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. In der Theorie liegt zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse der Faktor 2,4. In der Praxis ergab sich lediglich der Faktor 1,5 (210 ... 175 ... 140 kWh/(m²a)).

Vergleich von Theorie und Praxis

Die Praxiswerte nach Abschnitt 9.1.7 und die Theoriewerte nach Abschnitt 10.3.4 werden im Folgenden miteinander verglichen. Bild 177 zeigt die Gegenüberstellung der verschiedenen Gruppenauswertungen.

Der bereinigte Endenergieverbrauch liegt im Mittel aller untersuchten Gebäude 19 % unter dem theoretischen Heizenergiebedarf (EFH: - 36 %, MFH: -13 %). Die Abweichung ist mit -33 % in der ältesten Baualtersklasse am größten. Für die Gebäude der mittleren Baualtersklasse beträgt die Abweichung von Verbrauch zum Bedarf -16 %. Bei den neuen Gebäuden liegt der Verbrauch +5 % über dem Bedarf.

Bei den EFH ergibt sich in allen Baualtersklassen eine Überschätzung des tatsächlichen Verbrauchs (- 41 %, -31 %, -20 % in den 3 Baualtersklassen). Bei den MFH ergibt sich die Überschätzung nur bei den alten Gebäuden (- 29 %, -13 %, +16 % in den 3 Baualtersklassen).

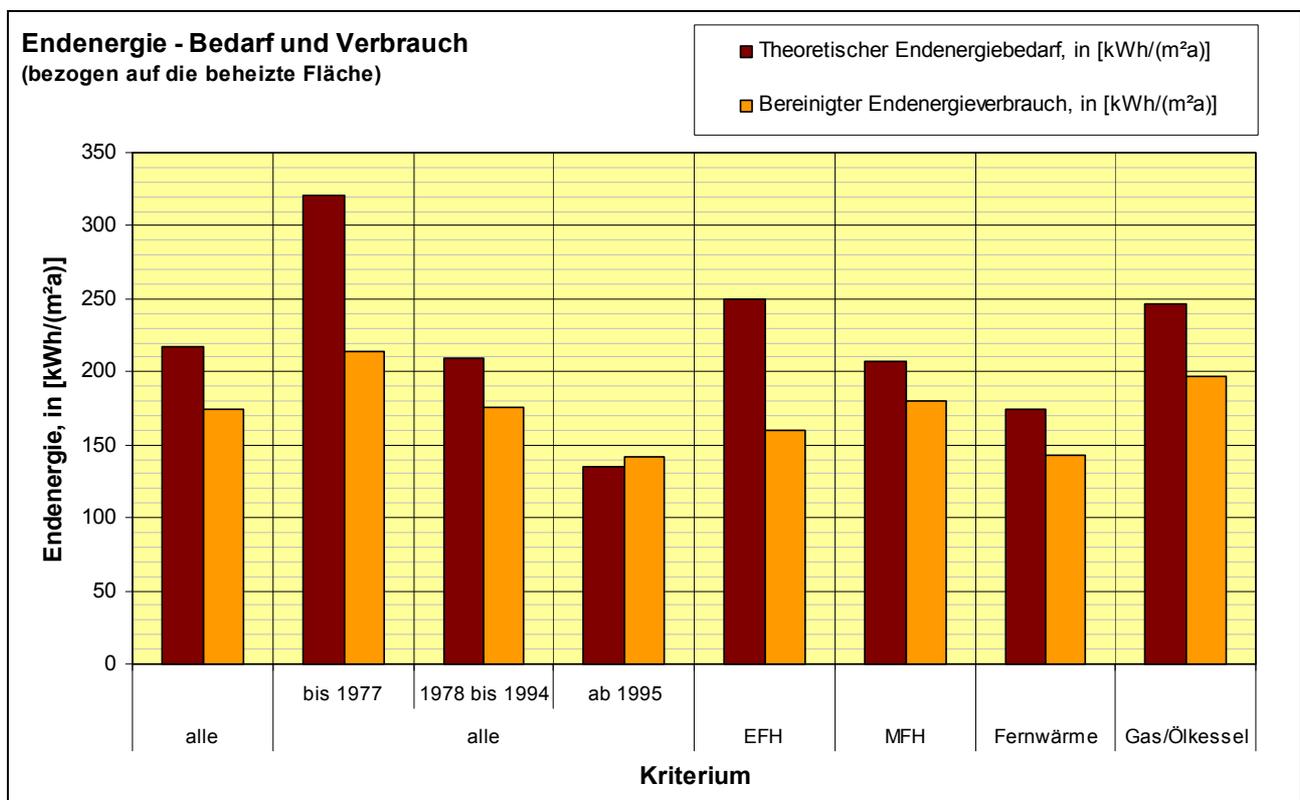


Bild 177 Endenergie nach mehreren Sortierkriterien

Der Zusammenhang von theoretischen und gemessenen Endenergiewerten zeigt Bild 178 noch einmal graphisch. Im Bereich unter etwa 110 kWh/(m²a) ergeben sich höhere Verbrauchswerte als berechnete Bedarfswerte. Darüber ist es umgekehrt.

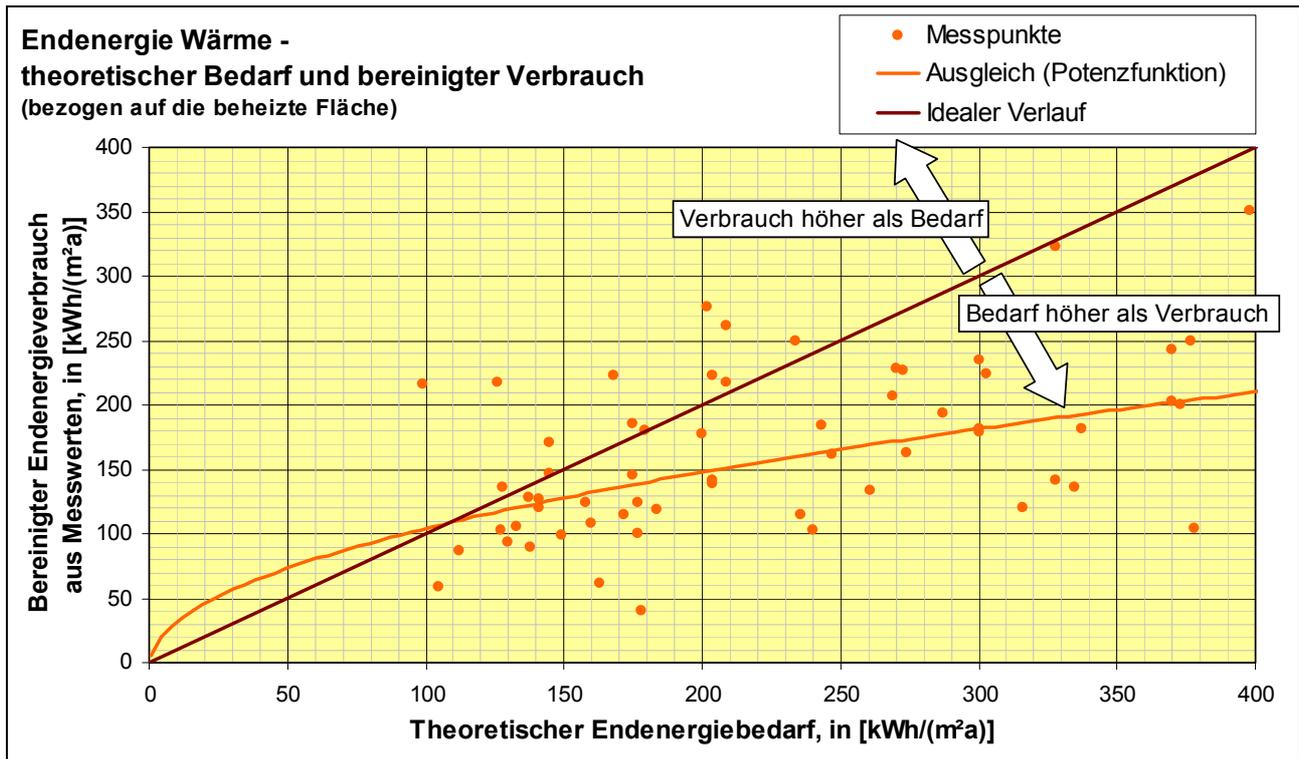


Bild 178 Vergleich der Theoriewerte mit den Praxiswerten

10.4 Detailauswertungen für Einzelobjekte und -merkmale

Für ausgewählte Objekte folgt in diesem Abschnitt eine Detailuntersuchung der erfassten Energieverbrauchsdaten. Betrachtet werden ein Gebäude mit selbstregelnden Thermostatventilen im Vergleich zu bauähnlichen Objekten mit voreinstellbaren Thermostatventilen, 8 Etagenwohnungen mit Pumpenaustausch und eine Anlage mit nachgerüsteter witterungsgeführter Vorlauftemperaturregelung. Darüber hinaus werden der Verlauf des Wärmeenergieverbrauchs in einem Gebäude mit teilweise vorhandener Einrohrheizung näher erläutert und die Ergebnisse mehrerer Gesamtenergiebilanzen vorgestellt.

10.4.1 Anlagen mit neuartigen Thermostatventilen mit integrierter Differenzdruckregelung

In drei bauähnlichen Mehrfamilienhäusern in Wilhelmshaven wurden für die Optimierung einmal Siemens MiniCombi-Ventile mit selbsttätiger Differenzdruckregelung eingebaut (64MFH), zweimal wurden normale voreinstellbare Thermostatventile (65MFH, 66MFH) für den hydraulischen Abgleich verwendet. In allen drei Gebäuden wurden die vorhandenen Pumpen durch Regelpumpen ersetzt.

Bild 179 zeigt für die drei Gebäude die aus der Heizwärmeverbrauchsmessung resultierende Heizwärmeleistung, aufgetragen über der zugehörigen Außentemperatur im Messzeitraum. Für alle Gebäude liegt die Regression im Jahr nach der Optimierung unterhalb der Verbrauchsgeraden im ersten Jahr. Nach der Optimierung ergeben sich in allen drei Gebäuden Heizgrenztemperaturen von 16 °C.

Alle drei Gebäude verbrauchen nach der Optimierung weniger Heizwärme (bereinigt mit den Heizgradtagen G bei der jeweiligen Heizgrenztemperatur). Ausgewertet wurden die hinter den Kesseln installierten Wärmemengenzähler für Heizwärme.

- 64MFH: 130 kWh/(m²a) → 108 kWh/(m²a) - 17 % (-13 %)
- 65MFH: 156 kWh/(m²a) → 116 kWh/(m²a) - 26 % (-23 %)
- 66MFH: 144 kWh/(m²a) → 119 kWh/(m²a) - 18 % (-18 %)

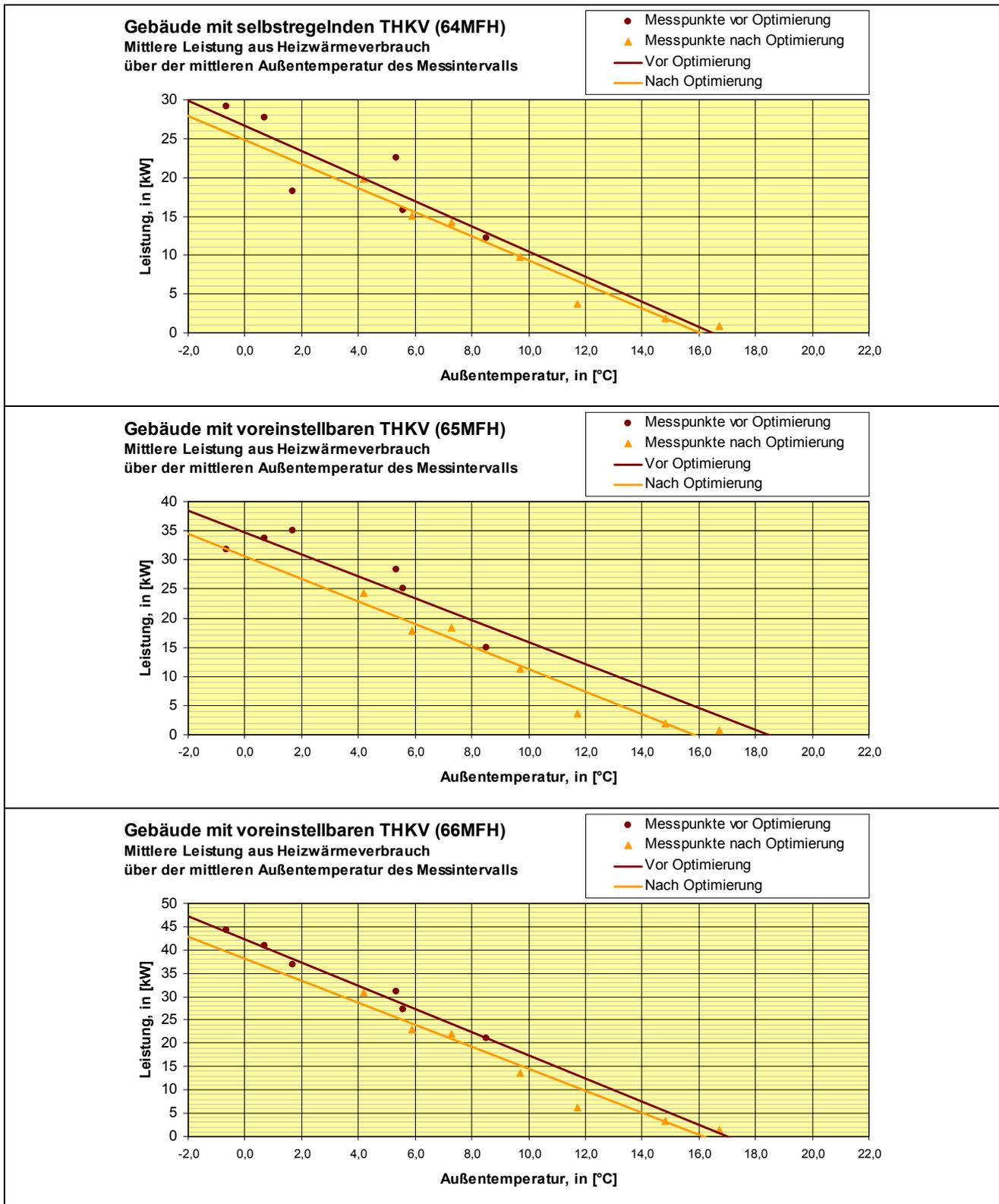


Bild 179 Leistung aus Verbrauch für die Gebäude 64MFH, 65MFH und 66MFH

Die witterungsbereinigte Einsparung von Heizwärme beträgt zwischen 17 und 26 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung. Die in Klammern angegebenen Werte geben die Einsparung an, wenn statt ganzer Jahre nur die Veränderung des Verbrauchs in der Kernheizzeit betrachtet wird.

Für die Zeit vor der Optimierung konnten 7 Zählerablesungen innerhalb von etwa 450 Tagen, für die Zeit nach der Optimierung 7 Zählerablesungen in knapp 300 Tagen ausgewertet werden.

Die Einsparung an Heizwärme ist bei den Gebäuden mit konventionellen, voreinstellbaren Thermostatventilen höher als in dem Gebäude mit den selbstregelnden Ventilen. Dieses Ergebnis ist wegen der geringen Anzahl von Gebäuden zunächst nicht verallgemeinerbar. Vergleichende Nutzerbefragungen vor und nach der Optimierung liegen nicht vor.

10.4.2 Anlagen mit Pumpentausch

In 8 Etagenwohnungen eines Wohnblocks in Wilhelmshaven wurde – auf Vorschlag des Projektantragstellers Obermeister Stein – trotz vorhandenen Kessels mit integrierter Pumpe ein Pumpenaustausch im Zuge der Optimierung vorgenommen.

Bild 180 zeigt für die 8 Wohnungen die aus der Heizwärmeverbrauchsmessung resultierende Heizwärmeleistung, aufgetragen über der zugehörigen Außentemperatur im Messzeitraum. Für alle Gebäude liegt die Regression im Jahr nach der Optimierung unterhalb der Verbrauchsgeraden im ersten Jahr bzw. es ergibt sich eine niedrigere Heizgrenze. Die Heizgrenztemperatur liegt vor der Optimierung bei durchschnittlich 16,8 °C und nach der Optimierung etwa 1 K tiefer.

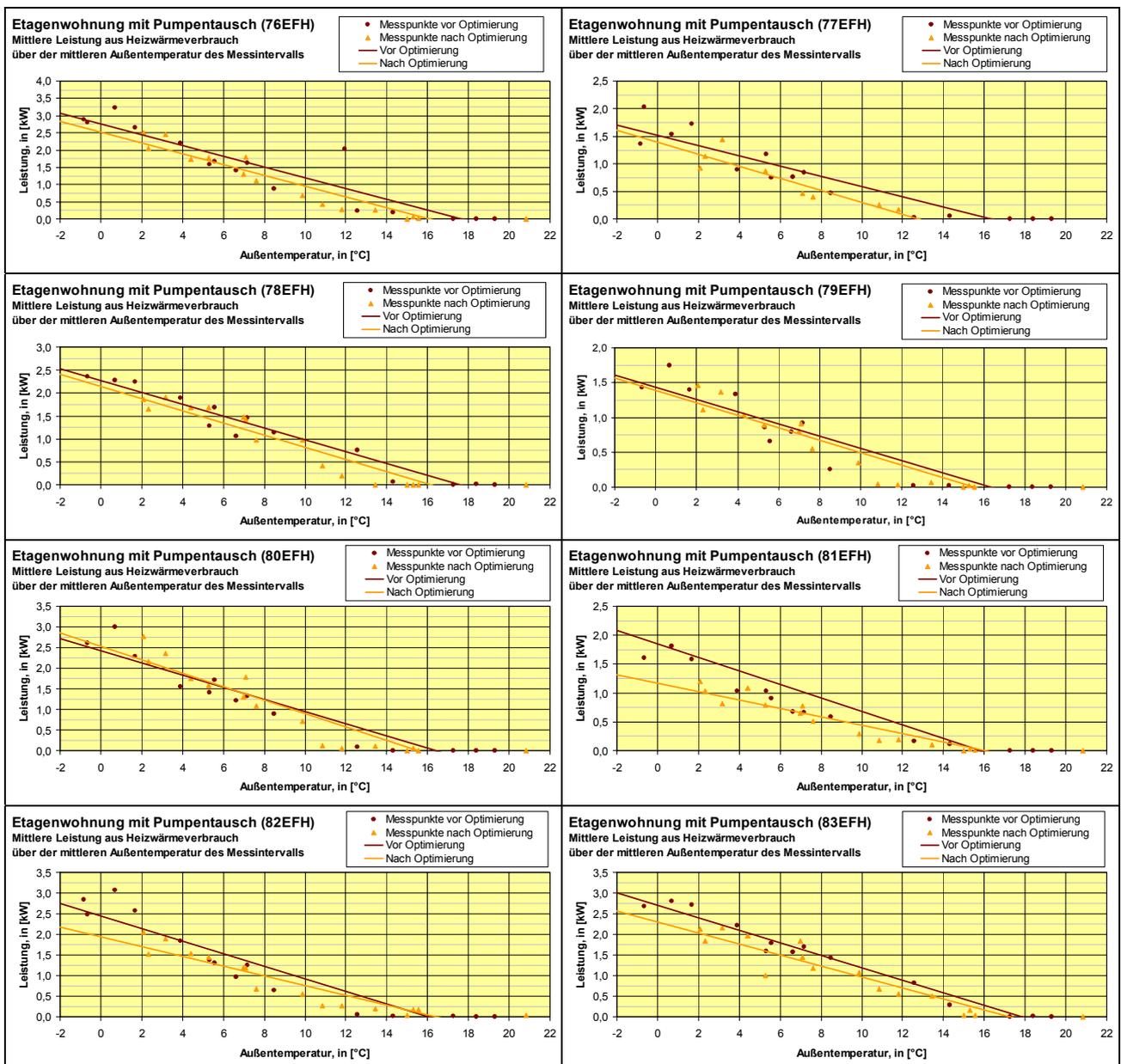


Bild 180 Veränderung des Heizwärmeverbrauchs bei 76EFH bis 83EFH

Alle acht Wohnungen verbrauchen nach der Optimierung deutlich weniger Heizwärme (bereinigt mit den Heizgradtagen G bei der jeweiligen Heizgrenztemperatur). Ausgewertet wurden die hinter den Thermen installierten Wärmemengenzähler für Heizwärme. Es konnten jeweils etwa 16 Zählerablesungen vor und nach der Optimierung ausgewertet werden, die sich über einen Gesamtzeitraum von knapp 750 Tagen verteilten.

Die Ergebnisse für die Einzelwohnungen sowie deren Mittelwert zeigt Tabelle 68. Es ergibt sich eine witterungsbereinigte Heizwärmeersparnis von 28 kWh/(m²a) bzw. 21 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung.

Gebäude		76EFH	77EFH	78EFH	79EFH	80EFH	81EFH	82EFH	83EFH	76-83
beheizte Fläche, in [m²]		101	104	72	72	83	72	114	55	673
vor der Optimierung	kWh/a	15911	6855	14004	6442	11022	7182	10709	16922	89047
	kWh/(m ² a)	158	66	195	89	133	100	94	308	132
	Heizgrenze	18 °C	16 °C	18 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	18 °C	16,8 °C
nach der Optimierung	kWh/a	11497	4033	10140	5912	10796	5203	9748	13064	70393
	kWh/(m ² a)	114	39	141	82	130	72	86	238	105
	Heizgrenze	16 °C	13 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	17 °C
Einsparung	kWh/a	-4414	-2822	-3865	-530	-226	-1979	-961	-3858	-18654
	kWh/(m ² a)	-44	-27	-54	-7	-3	-27	-8	-70	-28
	prozentual	-28 %	-41 %	-28 %	-8 %	-2 %	-28 %	-9 %	-23 %	-21 %

Tabelle 68 Bereinigter Heizwärmeverbrauch in den Etagenwohnungen

Die berechneten Einsparungen schwanken geringfügig, wenn statt ganzer Jahre nur der Verbrauch in der Kernheizzeit (etwa Monate November bis April) zur Auswertung herangezogen wird. Dann ergibt sich im Mittel aller acht Wohnungen eine Einsparung an Heizwärme von 24 kWh/(m²a). Dies entspricht 18 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung.

Für die acht Etagenwohnungen ist die Optimierung als großer Energiesparerefolg zu werten.

Hilfsenergieverbrauch

Die vorhandenen mehrstufig unregelmäßig ungesteuerten Pumpen in den Gaswandgeräten wurden im Zuge der Optimierung durch Regelpumpen ersetzt, an denen die optimale Förderhöhe eingestellt wurde.

Sechs der acht Wohnungen verbrauchen nach der Optimierung weniger Hilfsenergie (bereinigt mit der Heizzeittlänge t_{HP} bei der jeweiligen Heizgrenztemperatur). Ausgewertet wurden die installierten Stromzähler. Es konnten jeweils 8 Zählerablesungen vor und nach der Optimierung ausgewertet werden, die sich über einen Gesamtzeitraum von knapp 750 Tagen verteilten. Tabelle 69 zeigt die Ergebnisse für die Einzelwohnungen sowie deren Mittelwert. Es ergibt sich eine Hilfsenergieersparnis von 1,4 kWh/(m²a) bzw. 18 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung.

Gebäude		76EFH	77EFH	78EFH	79EFH	80EFH	81EFH	82EFH	83EFH	76-83
beheizte Fläche, in [m²]		101	104	72	72	83	72	114	55	673
vor der Optimierung	kWh/a	576	728	526	607	498	585	743	858	5121
	kWh/(m ² a)	5,7	7,0	7,3	8,4	6,0	8,1	6,5	15,6	7,6
	Heizgrenze	18 °C	16 °C	18 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	18 °C	16,8 °C
nach der Optimierung	kWh/a	676	421	550	512	438	436	501	641	4175
	kWh/(m ² a)	6,7	4,0	7,6	7,1	5,3	6,1	4,4	11,6	6,2
	Heizgrenze	16 °C	13 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	17 °C
Einsparung	kWh/a	100	-307	24	-95	-60	-149	-242	-217	-946
	kWh/(m ² a)	1,0	-3,0	0,3	-1,3	-0,7	-2,1	-2,1	-4,0	-1,4
	prozentual	17 %	-42 %	5 %	-16 %	-12 %	-25 %	-33 %	-25 %	-18 %

Tabelle 69 Bereinigter Hilfsenergieverbrauch in den Etagenwohnungen

Bild 181 zeigt die Messwerte für den Hilfsenergieverbrauch vor und nach der Optimierung, aufgetragen über der zugehörigen Außentemperatur im Messzeitraum. Tendenziell liegen die Messpunkte nach der Optimierung bei geringeren mittleren Leistungen.

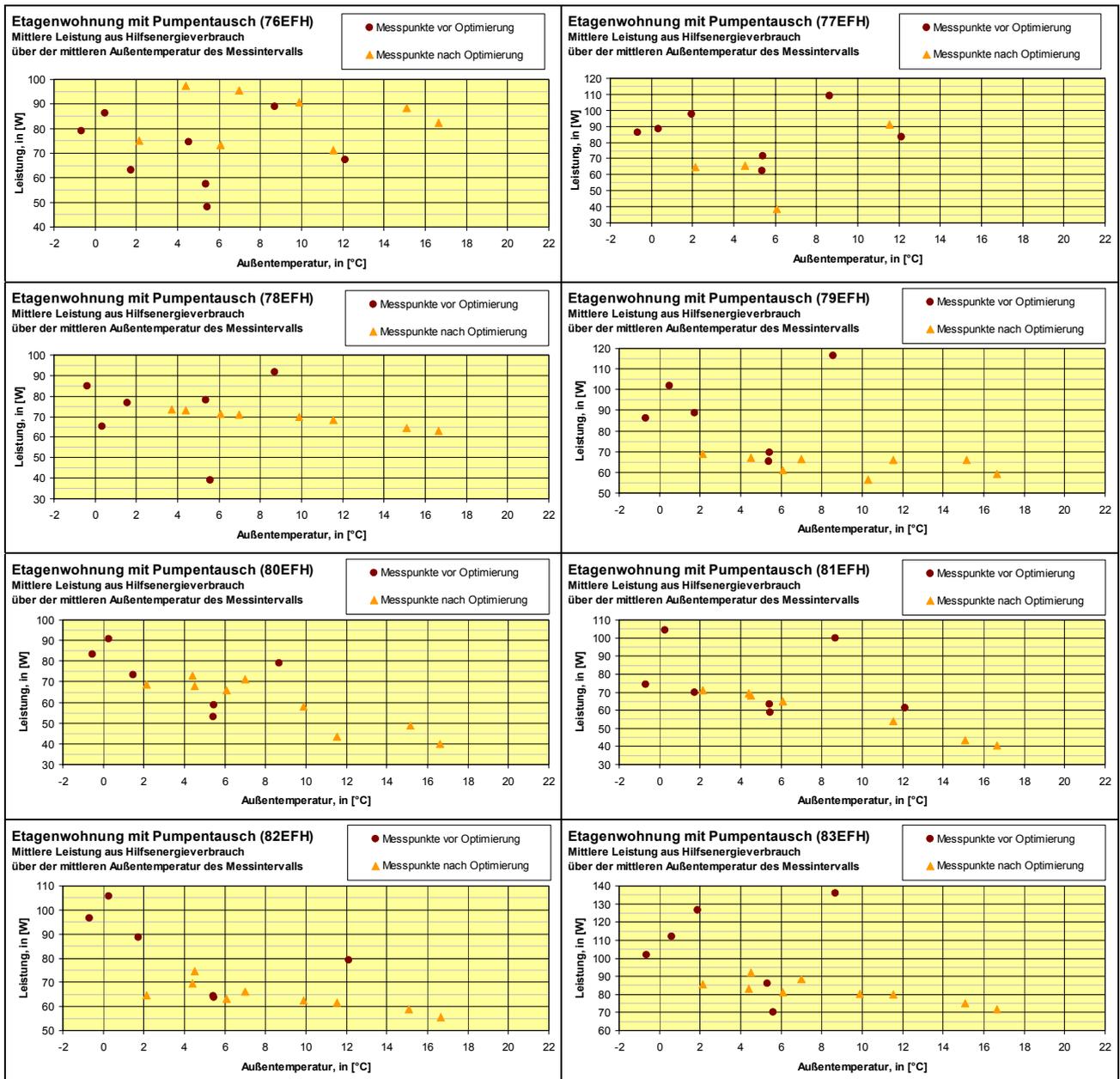


Bild 181 Veränderung des Hilfsenergieverbrauchs bei 76EFH bis 83EFH

Die berechneten Einsparungen schwanken geringfügig, wenn statt ganzer Jahre nur der Verbrauch in der Kernheizzeit (etwa Monate November bis April) zur Auswertung herangezogen wird. Dann ergibt sich im Mittel aller acht Wohnungen eine Einsparung an Hilfsenergie von 1,5 kWh/(m²a). Dies entspricht 21 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung.

Für die Etagenwohnungen ist die Optimierung mit Pumpentausch als Energiesparerefolg zu werten. Allerdings fällt die Pumpenenergieeinsparung recht gering im Vergleich zu den hohen notwendigen Investitionen aus. Daher ist ein Pumpentausch hinsichtlich des Kriteriums Hilfsenergieeinsparung nur zu empfehlen, wenn die Pumpe defekt ist oder wenn zukünftig sofort neue Hocheffizienzpumpen eingesetzt werden.

Die unerwartet hohen Einsparungen an Wärmeenergie und Hilfsenergie können nicht anteilmäßig den Maßnahmen Pumpentausch bzw. hydraulischer Abgleich zugeordnet werden; insbesondere deshalb nicht, weil bei Etagenheizungen mit direkter Energieabrechnung weitere sehr stark vom Nutzer abhängige Einflüsse zu vermuten sind. Das bedeutet: nur zusammen mit dem Nutzer sind hohe Einsparungen zu erwarten.

10.4.3 Anlage mit nachgerüsteter witterungsgeführter Regelung

In einem Einfamilienhaus mit direktem Anschluss an Fernwärme (05EFH) wurde im Rahmen der Optimierung auch eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung nachgerüstet.

Es ergibt sich nach der Optimierung eine Absenkung der Heizgrenztemperatur von etwa 15 °C auf 14 °C – siehe Bild 182. Der bereinigte Heizwärmeverbrauch (mit G_{15} vor der Optimierung und G_{14} nach der Optimierung) nimmt nach der Optimierung von etwa 78 auf 67 kWh/(m²a) ab. Dies entspricht einer Minderung um 14 %. Die Werte schwanken geringfügig, wenn nur die Kernheizzeit ausgewertet wird.

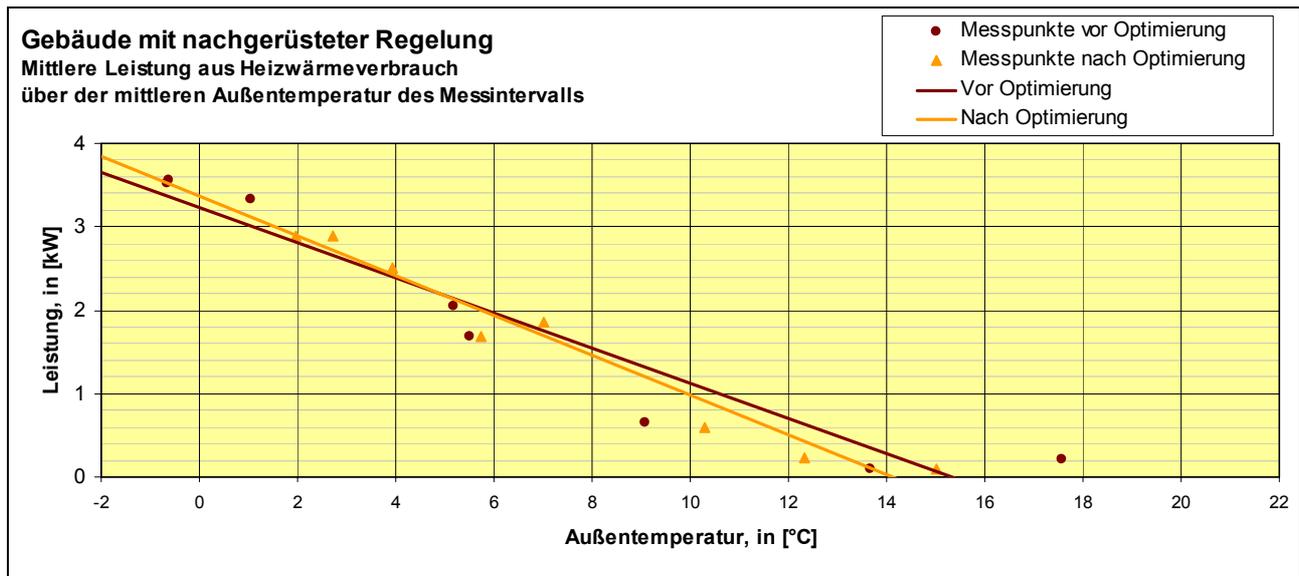


Bild 182 Verlauf des Heizwärmeverbrauchs in 05EFH

Ausgewertet wurde die Zählerdifferenz zwischen Primärzähler und Trinkwarmwasserzähler abzüglich angenommener Wärmeverluste für die Übergabestation im Keller (nach [30]). Für die Zeit vor der Optimierung konnten sowohl vor der Optimierung als auch nach der Optimierung je 11 Zählerablesungen innerhalb von etwa 350 Tagen ausgewertet werden.

Es ist durch die Optimierung und die Umstellung auf witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung eine Verbrauchsminderung des Wärmeverbrauchs zu verzeichnen. Zusätzlich ergibt die Nutzerbefragung nach der Optimierung einen besseren Gesamteindruck von der Heizungsanlage, wenn auch in einem Zimmer keine ausreichende Wärmeversorgung mehr stattfindet (dies kann aber durch leichte Veränderung der Voreinstellung geändert werden).

Die Effekte, die allein auf den Einbau der witterungsgeführten Regelung zurückzuführen sind, können nicht in Zahlen ausgedrückt werden.

Hilfsenergieverbrauch

Die vorhandene mehrstufige ungerregelte Pumpe wurde im Zuge der Optimierung auf eine optimale Förderhöhe eingestellt.

Es zeigt sich trotzdem keine Einsparung an elektrischer Energie für die Anlagentechnik – Bild 183. Der bereinigte Hilfsenergieverbrauch eines Jahres beträgt etwa 2,7 kWh/(m²a) vor und nach der Optimierung.

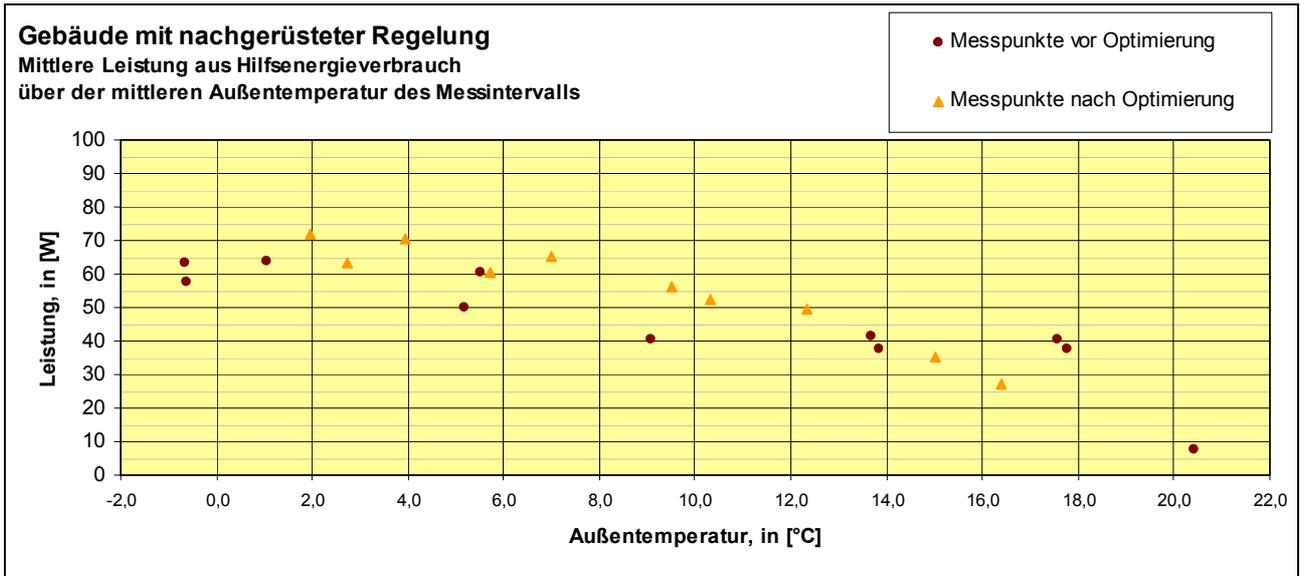


Bild 183 Verlauf des Hilfsenergieverbrauchs in 05EFH

Hier heben sich die Effekte der verminderten Pumpenstromaufnahme und der neu hinzugekommenen Stromaufnahme der Regelung in etwa auf.

10.4.4 Gebäude mit Einrohrheizung

In einem der Gebäude in Braunschweig (46MFH) sind die Heizkörper in einem Mischsystem aus Ein- und Zweirohrheizung angeschlossen. Das Gebäude wurde 1994 erbaut, hat 18 Wohneinheiten auf 1079 m² beheizter Fläche. Es wird über eine Übergabestation indirekt mit Wärme versorgt. Es ist ein Primärzähler sowie ein Unterzähler für die Trinkwarmwasserbereitung vorhanden.

Bild 184 zeigt den aus Messwerten rekonstruierten Verbrauchsverlauf zwischen November 2002 und Januar 2005. Es zeigt sich, dass praktisch ganzjährig ein Heizwärmeverbrauch zu verzeichnen ist. Die Heizgrenze ergibt sich aus Messwerten bei 22 °C.

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

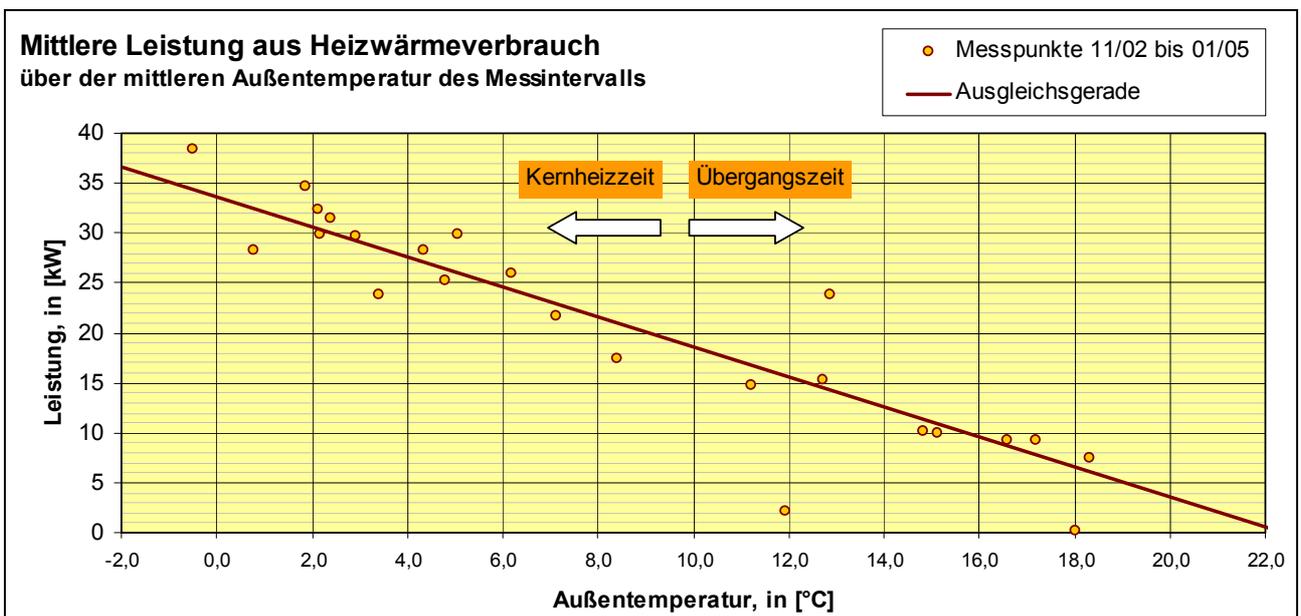


Bild 184 Verbrauchsverlauf (Heizwärme) für ein Gebäude mit Einrohrheizung

Die Bildung von bereinigten Energiekennwerten für dieses Gebäude ist vergleichsweise schwierig. Bei der Verbrauchsdatenbereinigung mit den Heizgradtagen G_{20} (siehe Abschnitt 9.1.1) ergeben sich folgende Werte:

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

Tabelle 70 Bereinigter Verbrauch für ein Gebäude mit Einrohrheizung

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

Insgesamt wird hier sehr viel mehr Heizwärme verbraucht, als es für ein Gebäude des Baualters und Baustandards typisch ist. Hier kann von Zwangswärmeconsum gesprochen werden. Vergleichbare Mehrfamilienhäuser der gleichen Baualtersklasse weisen bereinigte Heizwärmeverbrauchswerte von 68 kWh/(m²a) [1128 m², Baujahr 1993] bis 141 kWh/(m²a) [1159 m², Baujahr 1987] – im Mittel 108 kWh/(m²a) auf.

10.4.5 Gebäude mit nachträglichem Holzofeneinbau

In einem Gebäude wurde in der Mitte der Messzeit ein Holzofen nachträglich installiert. Diese Gebäude wurden vom Einbaudatum des Ofens an aus der Projektauswertung ausgeklammert. Bild 185 zeigt den Einfluss des Holzofens im Gebäude 21EFH. Die Heizgrenztemperatur und der bereinigte Heizwärmeverbrauch sinken. Es konnten über 50 Monatsmesswerte ausgewertet werden.

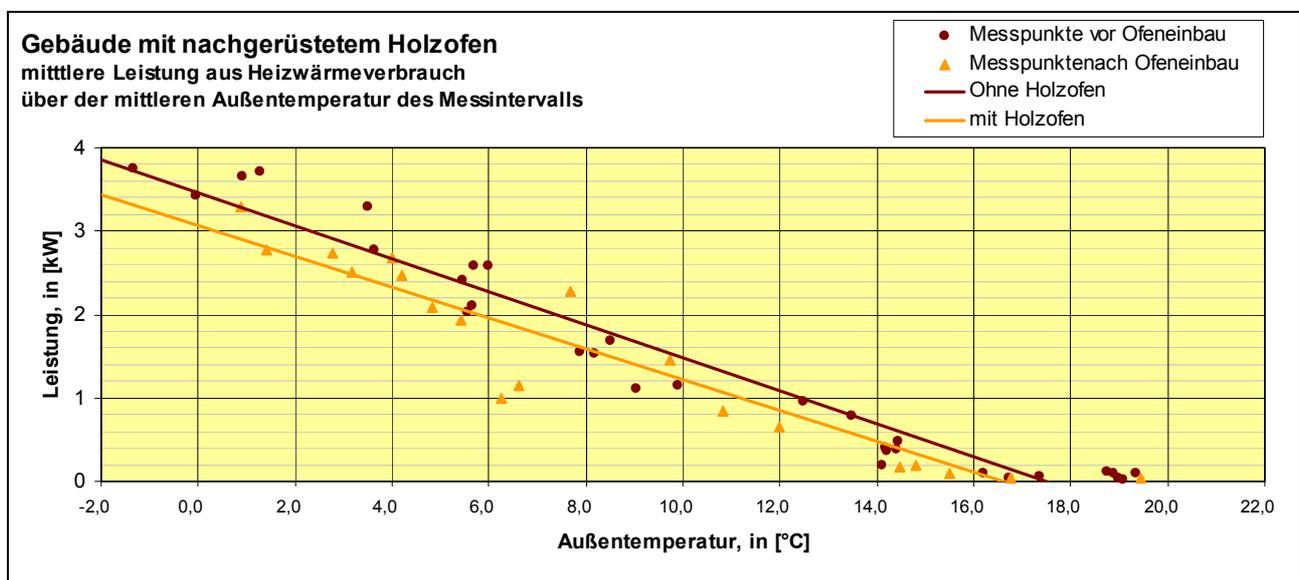


Bild 185 Veränderung des Verbrauchsverlaufs mit Holzofen

10.4.6 Gebäude mit Nutzerwechsel

In einzelnen Gebäuden fand während der Projektlaufzeit ein Nutzerwechsel statt. Diese Gebäude wurden vom Einzugsstag des zweiten Nutzers an aus der Projektauswertung ausgeklammert. Bild 185 zeigt den Einfluss eines solchen Nutzerwechsels am Beispiel des Gebäudes 77EFH. Der bereinigte Heizwärmeverbrauch verdoppelte sich durch den Nutzerwechsel von etwa 39 kWh/(m²a) auf knapp 73 kWh/(m²a).

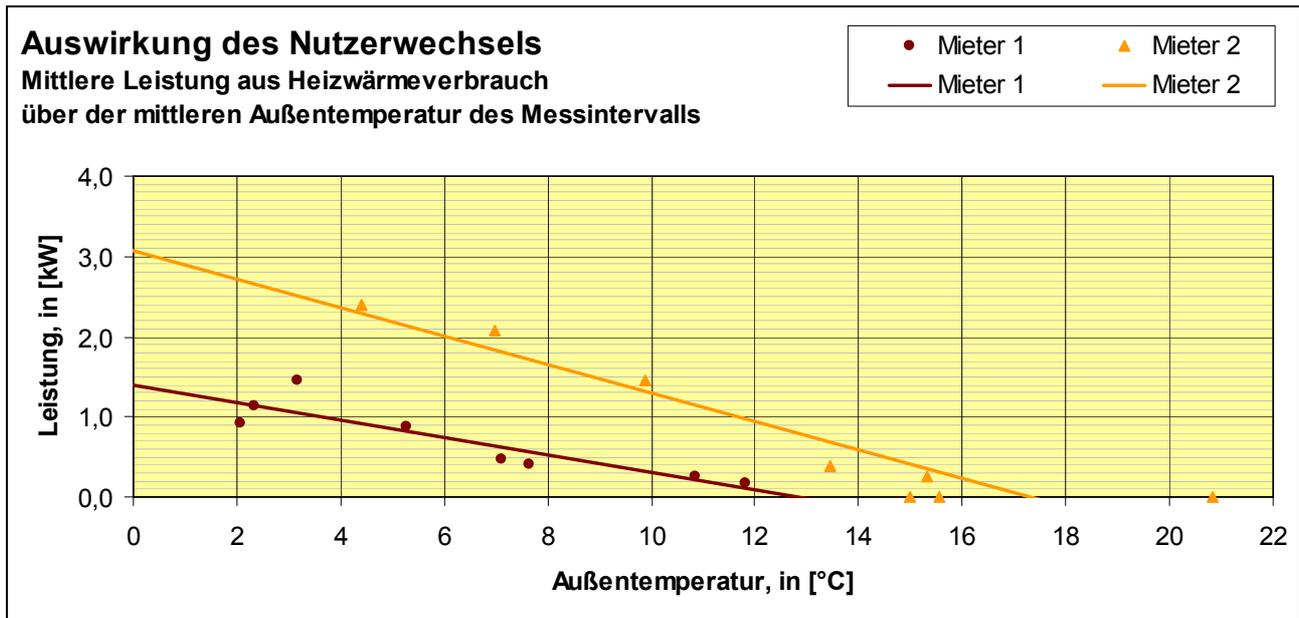


Bild 186 Veränderung des Verbrauchsverlaufs

Es konnten jeweils 8 Zählerablesungen für den ersten und den zweiten Nutzer ausgewertet werden, die sich über einen Gesamtzeitraum von fast einem Jahr verteilten. Jeder Nutzer hatte Anteile der Kern- und Übergangszeit in der auswertbaren Zeit.

10.4.7 Gesamtenergiebilanz ausgewählter Objekte

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) [24] wurden u.a. für vier ausgesuchte Gebäude Gesamtenergiebilanzen erstellt. Einen Überblick über wichtige Daten der Gebäude zeigt Bild 187.

Für alle vier Gebäude wurde ausgehend von den Verbrauchsmesswerten der Luftwechsel in jedem Monat bestimmt. Hierzu wurden zunächst alle Wärmeeinträge in den beheizten Bereich ermittelt: die Wärmeabgabe der Heizung (Zählermesswert) abzüglich der Verteilverluste im Keller, die Wärmeeinträge aus den Rohrleitungen der Trinkwarmwasserbereitung sowie alle sonstigen inneren und solaren Gewinne.

34MFH	42MFH
 <ul style="list-style-type: none"> ▪ direkte Fernwärme ▪ Baujahr 1961 ▪ 965 m² beheizte Fläche ▪ Thermostatheizkörperventile ▪ keine Vorlauftemperaturregelung ▪ Heizgrenztemperatur 16°C aus Messwerten 	 <ul style="list-style-type: none"> ▪ direkte Fernwärme ▪ 472 m² beheizte Fläche ▪ Baujahr 1953 ▪ Ventile ohne Thermostatkopf ▪ witterungsgeführte Regelung für mehrere Blocks ▪ Heizgrenztemperatur 16°C aus Messwerten

44MFH	48MFH
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ indirekte Fernwärme ▪ Baujahr 1996 ▪ 1294 m² beheizte Fläche ▪ Thermostatheizkörperventile ▪ witterungsgeführte Regelung ▪ Heizgrenztemperatur 18°C aus Messwerten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ direkte Fernwärme ▪ Baujahr 1963 ▪ 1019 m² beheizte Fläche ▪ Thermostatheizkörperventile ▪ witterungsgeführte Regelung ▪ Heizgrenztemperatur 16°C aus Messwerten

Bild 187 Fotos und wichtige Objektdaten der detailliert untersuchten Gebäude

Von diesem gesamten Wärmeeintrag in den beheizten Bereich wurden die Wärmeverluste für Transmission abgezogen. Dies war möglich, da genaue Plandaten für die Bauteil-U-Werte und Flächen zur Verfügung standen. Der verbleibende Rest mussten folglich Lüftungsverluste sein. Aus diesen ergibt sich der Luftwechsel. Bild 188 zeigt den Ausschnitt einer Kennwerttabelle sowie die Ergebnisse für das Gebäude 48MFH. In Bild 189 sind die Ergebnisse für den Luftwechsel für alle vier Gebäude gegenüber gestellt.

Zeitraum	Messzeitraum		15-11.02-30-11.02		01-12.02-14-12.02		15-12.02-31-12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-28.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03	
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7																							
Heiztage t_M in [d/M]	16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1																
mittlere Außentemperatur ϑ_{am} in [°C]	5,90	-2,81	0,79	-2,98	3,63	-2,08	1,88	4,99	5,73	3,99	12,60	12,33	13,41	15,80																
gewählte mittlere Innentemperatur ϑ_{im} in [°C]	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	20	20	20	20																
tats. Verbrauch $q_{h,M}$ in [kWh/(m ² ·M)] abz. Verteiltg.	19		29		26		8		12		3		7		0															
Gewinne: $q_{S,M}+q_{IG,M}+q_{d,WG,M}$ in [kWh/(m ² ·M)]	5		4		6		3		6		7		1																	
Summe: $q_{h,M}+q_{S,M}+q_{IG,M}+q_{d,WG,M}$ in [kWh/(m ² ·M)]	24		33		32		11		18		9		2																	
Summe $q_{T,M}$ in [kWh/m ²]	16		19		25		7		14		8		1																	
Sollwert Lüftung: $q_{V,M}$ in [kWh/(m²·a)]	7,98		13,91		7,31		3,65		4,37		1,25		0,62																	
n_{Real} in [1/h]	0,97	0,59	1,18	0,98	0,54	0,40	0,64	0,78	0,51	0,45	0,27	0,26	0,77	1,21																
mittel des Messzeitraums n_{Real} in [1/h]	0,79		1,09		0,46		0,75		0,48		0,26		0,85																	
mittlerer Luftwechsel über den gesamten Messzeitraum $n_{Real,M}$ in 1/h																														

		Zeitraum					
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Zges
Gebäude							
34MFH1FW	Luftwechsel n, in [1/h]	0,60	0,67	0,60	0,70	0,49	0,61
42MFH1FW	Luftwechsel n, in [1/h]	1,04	1,17	1,00	1,10	0,78	1,02

		Zeitraum							
		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Zges
Gebäude									
44MFH3FW	Luftwechsel n, in [1/h]	1,30	0,60	0,60	0,70	0,75	0,66	1,91	0,84
48MFH1FW	Luftwechsel n, in [1/h]	0,80	1,10	0,50	0,70	0,48	0,26	0,85	0,62

Bild 189 Luftwechsel der Gebäude bei vorgegebener mittlerer Innentemperatur von 19,6 °C [24]

Da der berechnete Luftwechsel ein Resultat der Gesamtbilanz ist, sollten alle Größen mit größter Sorgfalt bestimmt werden. Die größte Schwierigkeit liegt in der Berechnung der U-Werte der Bauteile. Die U-Werte der Gebäudehülle, insbesondere der Außenwände werden in den Gebäudetypologien meist in Bereichen von $\pm 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ angegeben. Diese Spannweite hat jedoch sehr große Auswirkungen auf die sich ergebenden Luftwechsel des Gebäudes, siehe Bild 190.

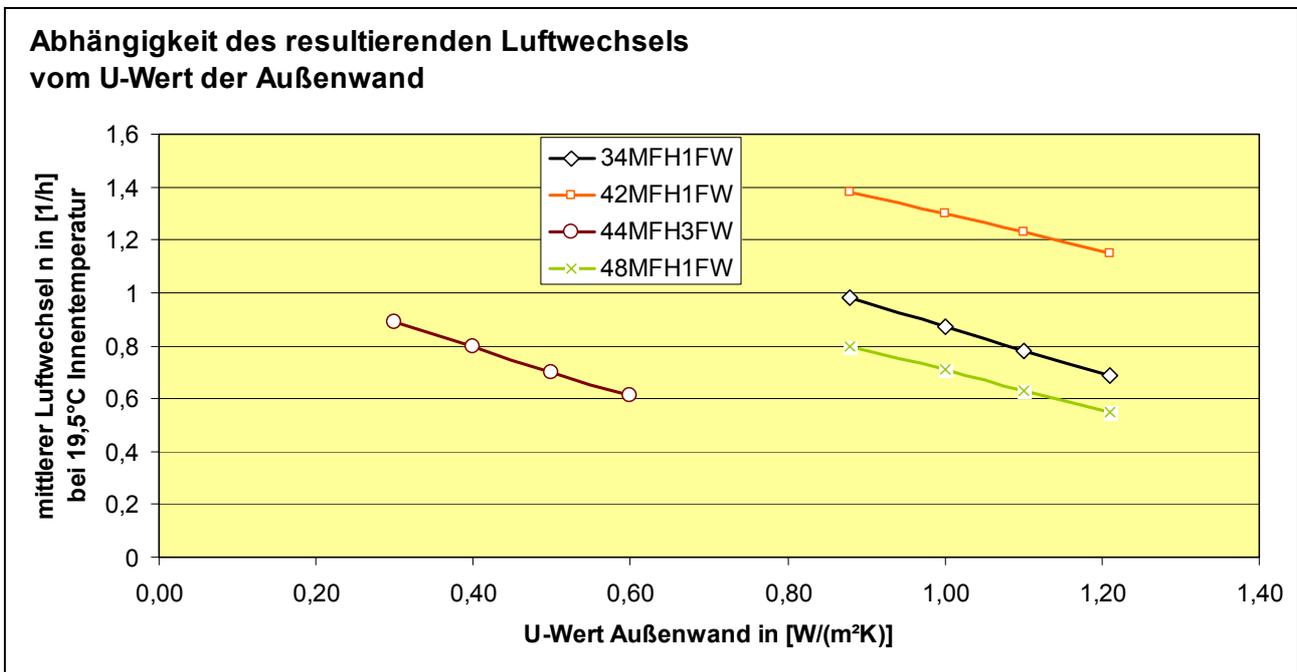


Bild 190 Abhängigkeit des Luftwechsels von dem angenommenen U-Wert der Außenwand

Es ist für die vier untersuchten Mehrfamilienhäuser (mit ähnlicher Kompaktheit um $0,5 \text{ m}^{-1}$) zu beobachten, dass der Luftwechsel einer Schwankung von $0,3 \text{ h}^{-1}$ unterlegen ist. Das heißt, dass eine Abweichung bei der Schätzung des U-Wertes der äußeren Gebäudehülle um $+ 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ einer Verringerung des Luftwechsels von etwa $0,1 \text{ h}^{-1}$ gleich zu setzen ist.

Gesamtbilanz mit Kennwerten

Analog der Zusammenstellungen in Bild 191 bis Bild 196 wurden alle Einzelkennwerte (Transmission, Lüftung, Fremdwärme, technische Verluste) für die vier Untersuchungsobjekte erarbeitet.

Messzeitraum	15.11.02-30.11.02		01.12.02-14.12.02		15.12.02-31.12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-29.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03	
Zeitraum	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7															
t_m , in	16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1														
ϑ_{am} , in [°C]	5,90	-2,81	0,79	-2,98	3,63	-2,08	1,88	4,99	5,73	3,99	12,60	12,33	13,41	15,80														
Bauteil Nr.	$\vartheta_{am, Bauteil}$, in [°C]																											
1	5,90	-2,81	0,79	-2,98	3,63	-2,08	1,88	4,99	5,73	3,99	12,60	12,33	13,41	15,80														
2	16,01	13,81	14,72	13,77	15,43	14,00	14,99	15,78	15,96	15,52	17,69	17,62	17,89	18,49														
3	13,58	9,82	11,38	9,75	12,60	10,14	11,85	13,19	13,50	12,76	16,47	16,35	16,82	17,85														
4	7,52	-0,15	3,02	-0,30	5,52	0,49	3,98	6,71	7,36	5,83	13,41	13,18	14,13	16,23														
5	5,90	-2,81	0,79	-2,98	3,63	-2,08	1,88	4,99	5,73	3,99	12,60	12,33	13,41	15,80														
6	16,01	13,81	14,72	13,77	15,43	14,00	14,99	15,78	15,96	15,52	17,69	17,62	17,89	18,49														
	$Q_{TM} = A \cdot U \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am, Bauteil})$, in [W]																											
1	8513	14008	11738	14115	9947	13547	11047	9089	8624	9720	4289	4459	3778	2270														
2	851	1399	1173	1410	994	1353	1104	908	862	971	428	445	377	227														
3	1409	2319	1943	2336	1647	2242	1829	1504	1427	1609	710	738	625	376														
4	2574	4236	3549	4268	3008	4096	3340	2748	2608	2939	1297	1348	1142	687														
5	3916	6444	5400	6493	4576	6232	5082	4181	3967	4471	1973	2051	1738	1044														
6	239	393	329	396	279	380	310	255	242	272	1079	1121	950	571														
Summe Q_{TM} :	17502	28798	24132	29018	20450	27851	22712	18686	17729	19982	9775	10163	8611	0														
	q_{TM} , in [kWh/m²]																											
	7	9	10	10	8	16	2	6	8	6	4	3	1	0														
Summe q_{TM} , in [kWh/m²]	16		19		25		7		14		7		1															

Nr.	Bauteil	A, in [m²]	U, in [W/(m²K)]	ϑ'_{im} , in [°C]
1	Außenwand an Außenluft	595	1,06	-14
2	Innenwand an unbeh. Treppenhaus	186	1,35	11
3	Fußboden an unb. Keller	255	0,95	5
4	Decke an unb. Dachraum	255	0,85	-10
5	Fensterflächen	193	1,5	-14
6	Türfläche an unbeh. Treppenhaus	28	2,5	11

mit:	ϑ_{im} , in [°C]	19,4
	$\vartheta_{a, Norm}$, in [°C]	-14,0
	A_{EB} , in [m²]	1019

Bild 191 Transmissionswärmeverluste Gebäude 48MFH [24]

Messzeitraum	15.11.02-30.11.02		01.12.02-14.12.02		15.12.02-31.12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-29.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03	
Zeitraum	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7															
t_m , in [d/Messzeitraum]	16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1														
Richtung	Messzeitabhängige Globalstrahlung in [kWh/m²]																											
Nord	5,8	5,0	3,7	4,7	5,7	15,0	1,8	12,5	17,3	19,3	25,3	26,9	9,6	2,1														
Summe Nord	10,8	8,4	8,4	20,7	14,3	36,6	52,2	11,7																				
Süd	21,9	19,2	12,2	15,5	18,8	49,2	5,9	29,0	40,2	36,2	47,3	42,0	15,0	2,7														
Summe Süd	41,0	27,7	68,0	34,9	76,4	89,3	17,7																					
Ost	9,6	8,4	4,9	6,7	8,2	24,0	2,9	19,0	26,4	24,0	31,4	42,0	15,0	2,9														
Summe Ost	18,0	11,6	32,2	21,9	50,4	73,4	17,9																					
West	9,6	8,4	4,9	7,4	9,0	25,2	3,0	19,7	27,2	24,0	31,4	41,3	14,8	2,9														
Summe West	18,0	12,3	34,2	22,7	51,2	72,7	17,6																					

Richtung	A_{Fe} , in [m²]	$q_{S,M}$, Z1	$q_{S,M}$, Z2	$q_{S,M}$, Z3	$q_{S,M}$, Z4	$q_{S,M}$, Z5	$q_{S,M}$, Z6	$q_{S,M}$, Z7
Nord	34	0,10	0,08	0,19	0,13	0,34	0,48	0,11
Süd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ost	68	0,33	0,21	0,58	0,40	0,92	1,33	0,33
West	91	0,44	0,30	0,84	0,56	1,26	1,79	0,43
Summe $q_{S,M}$, in [kWh/m²]		0,87	0,59	1,61	1,09	2,51	3,60	0,87

mit:	r, in [-]	0,36
	g, in [-]	0,76
	A_{EB} , in [m²]	1019

Bild 192 Solare Gewinne Gebäude 48MFH [24]

		Messzeitraum																													
		15.11.02-30.11.02		01.12.02-14.12.02		15.12.02-31.12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-28.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03			
Zeitraum		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7																	
t_M , in [d/Messzeitraum]		16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1																
$q_{IG,Pers.}$, in [kWh/m ²]		1,03		1,06		1,44		0,55		1,06		1,06		0,21																	
$q_{IG,elekt.}$, in [kWh/m ²]		1,98		2,04		2,77		1,05		2,04		2,04		0,40																	
$q_{IG,M.}$, in [kWh/m ²]		3,01		3,11		4,21		1,60		3,11		3,11		0,60																	

mit:	$\dot{q}_{l,Pers.}$, in [W/m ²]	1,43
	$E_{el,Pers.}$, in [kWh/(Pers.·d)]	2,74
	$n_{Pers.}$, Anzahl der Pers.	35
	A_{EB} , in [m ²]	1019

Bild 193 Innere Gewinne Gebäude 48MFH [24]

		Messzeitraum																													
		15.11.02-30.11.02		01.12.02-14.12.02		15.12.02-31.12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-28.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03			
Zeitraum		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7																	
t_M , in [d/Messzeitraum]		16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1																
$q_{d,HG,M.}$, in [kWh/m ²]		2,84		2,93		3,97		1,51		2,93		2,93		0,57																	
$q_{d,H,M.}$, in [kWh/m ²]		0,64		0,66		0,90		0,34		0,66		0,66		0,13																	

Bild 194 Verteilverluste der Heizung Gebäude 48MFH [24]

		Messzeitraum																													
		15.11.02-30.11.02		01.12.02-14.12.02		15.12.02-31.12.02		01.01.03-14.01.03		15.01.03-31.01.03		01.02.03-25.02.03		26.02.03-28.02.03		01.03.03-13.03.03		14.03.03-31.03.03		01.04.03-13.04.03		14.04.03-30.04.03		01.05.03-18.05.03		19.05.03-31.05.03		01.06.03-15.06.03			
Zeitraum		Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7																	
t_M , in [d/Messzeitraum]		16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1																
$q_{d,VG,M.}$, in [kWh/m ²]		0,80		0,83		1,13		0,43		0,83		0,83		0,16																	

Bild 195 Verteilverluste der Trinkwarmwasserleitungen Gebäude 48MFH [24]

Zeitraum	Messzeitraum													
	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5		Z6		Z7	
Heiztage t_M , in [d/M]	16	14	17	14	17	25	3	13	18	13	17	14	5	1
Transmissionswärmeverluste $q_{T,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	16,09		19,23		24,59		7,33		13,63		7,27		1,01	
Lüftungswärmeverluste $q_{V,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	6,45		7,71		9,85		2,94		5,46		2,63		0,41	
Summe $q_{T,M}+q_{V,M}$, in [kWh/(m²·M)]	22,54		26,94		34,44		10,26		19,10		9,89		1,42	
solare Fremdwärmegewinne $q_{S,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	0,87		0,59		1,61		1,09		2,51		3,60		0,87	
innere Fremdwärmegewinne $q_{IG,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	3,01		3,11		4,21		1,60		3,11		3,11		0,60	
Gewinne durch TWW $q_{d,WG,M}$, in [kWh/m ²]	0,80		0,83		1,13		0,43		0,83		0,83		0,16	
Summe $q_{S,M}+q_{IG,M}+q_{d,WG,M}$, in [kWh/(m²·M)]	4,68		3,70		5,82		2,69		5,62		6,71		1,47	
$q_{h,M}=q_{T,M}+q_{V,M}-(q_{S,M}+q_{IG,M}+q_{d,WG,M})$, in [kWh/(m²·M)]	18		23		29		8		13		3		0	
tats. Verbrauch $q_{h,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	19,75		29,87		26,62		8,53		12,83		3,12		0,58	
Verluste Heizungsverteilgt. $q_{d,H,M}$, in [kWh/(m ² ·M)]	0,64		0,66		0,90		0,34		0,66		0,66		0,13	
bereinigter tats. Verbrauch $q_{h,M,qd,H,M}$, in [kWh/(m²·M)]	19		29		26		8		12		2		0	
Endenergiebedarf Hzg. $q_{h,e}$, in [kWh/(m²·a)]	94													
tats. Verbrauch im Jahr $q_{h,e}$, in [kWh/(m²·a)]	97													

mit:	A_{EB} , in [m ²]	1019
	n , in [1/h]	0,6
	ϑ_m , in [°C]	19,4

Bild 196 Ergebnisübersicht für Gebäude 48MFH [24]

Aus den erstellten Gesamtbilanzen können weitere Schlussfolgerungen gezogen werden. Beispielsweise kann abgeschätzt werden, welcher Anteil der über die Heizung in die Räume eingebrachten Wärme über die Heizkörper und welcher Anteil über Rohrleitungen abgegeben wird. Diese Auswertung zeigt Bild 197.

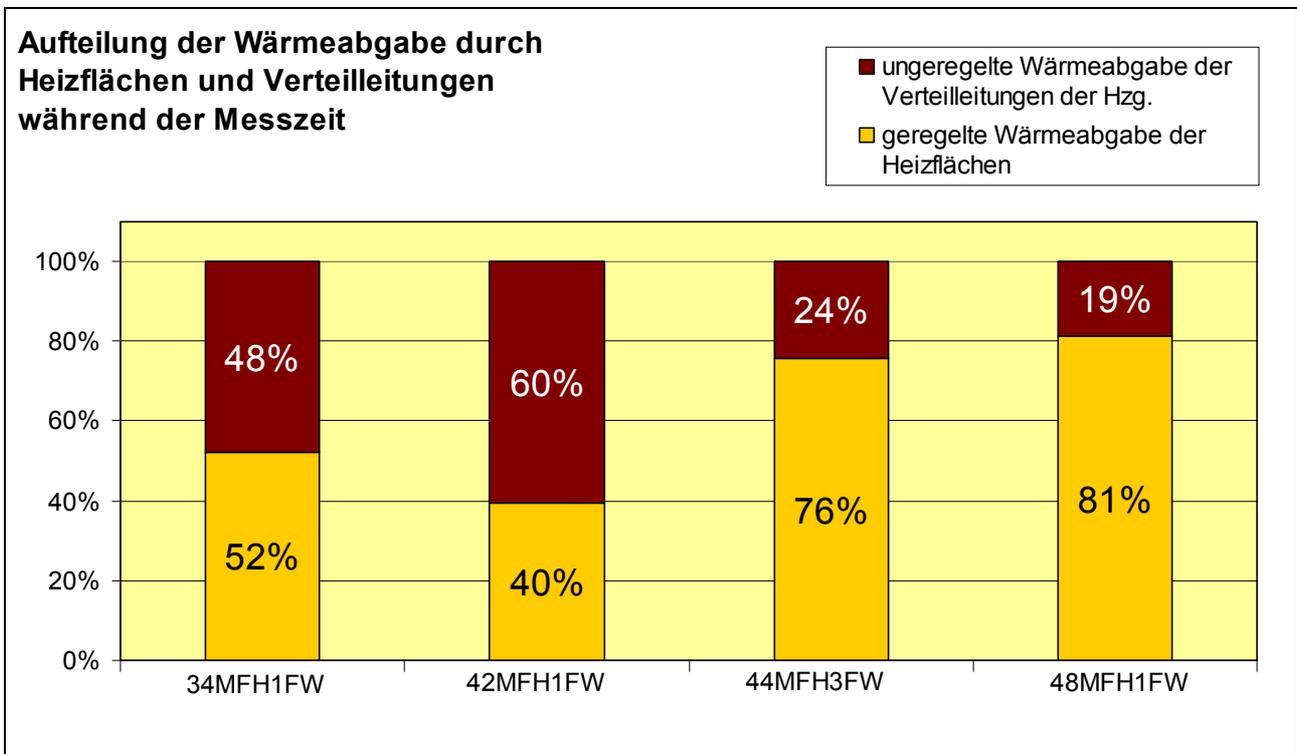


Bild 197 Aufteilung der Wärmeabgabe im Raum [24]

Im Gebäude 34MFH und 42MFH sind alle Heizungsverteilungen auf Putz verlegt worden und viele Leitungen verlegt. Im Gebäude 48 sind sehr kurze Leitungswege zu verzeichnen. Im neuen Gebäude 44 sind die Leitungen bereits mit 50 % gedämmt und unter Putz verlegt.

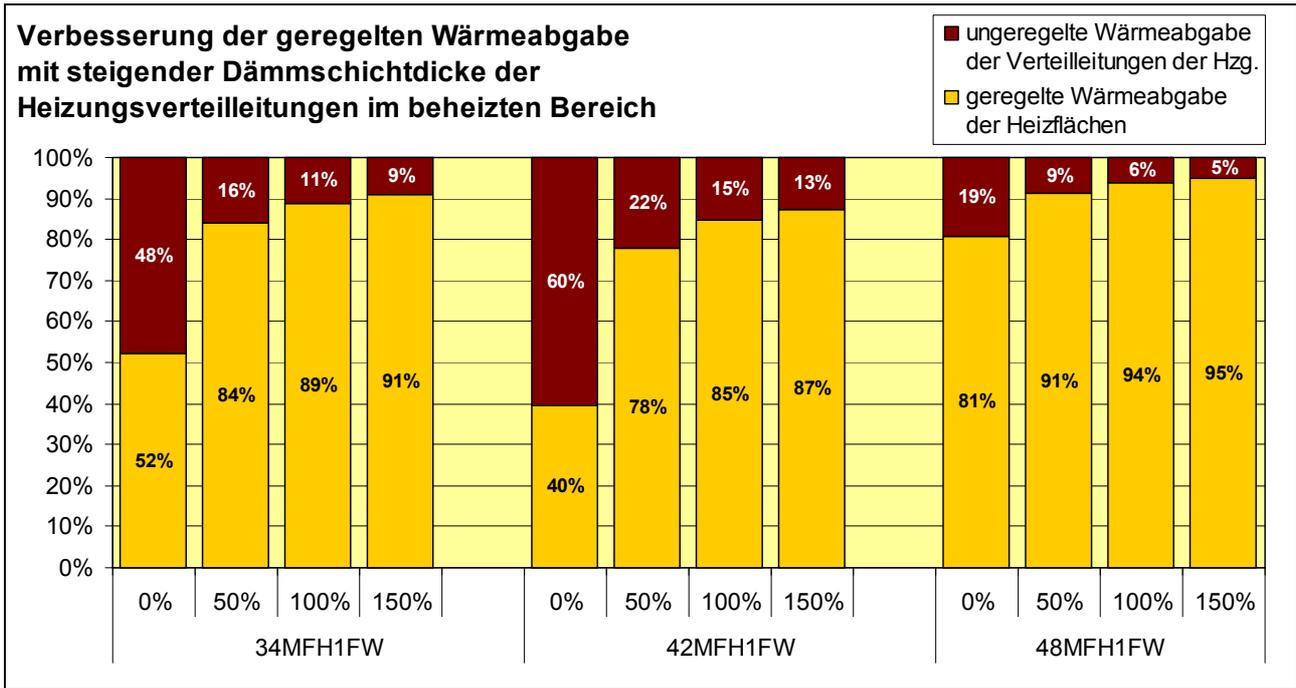


Bild 198 Verbesserung der geregelten Wärmeabgabe [24]

Bild 198 zeigt voraussichtliche Veränderungen der geregelten Wärmeabgabe über die Heizkörper, wenn die zugänglichen Leitungen in den alten Gebäuden nachträglich gedämmt werden. Den größten Effekt hat bereits eine Dämmung mit halber Dämmstärke (bezogen auf EnEV-Standard).

Weitere Erkenntnisse der Detailanalyse finden sich in [24].

10.5 Korrelation von Nutzerbefragungen und Energieeinsparungen

Neben der Dokumentation der messtechnisch nachweisbaren Verbrauchsänderungen wurden auch einige Nutzer nach der Optimierung zu ihrer Zufriedenheit, Kritikpunkten und zum Gesamteindruck ihres Heizverhaltens befragt (vergleiche auch Abschnitte 6.4.5 und 8.4). Drei wesentliche Auswertungen konnten aus dieser Befragung (nur sehr geringer Stichprobenumfang) extrahiert werden.

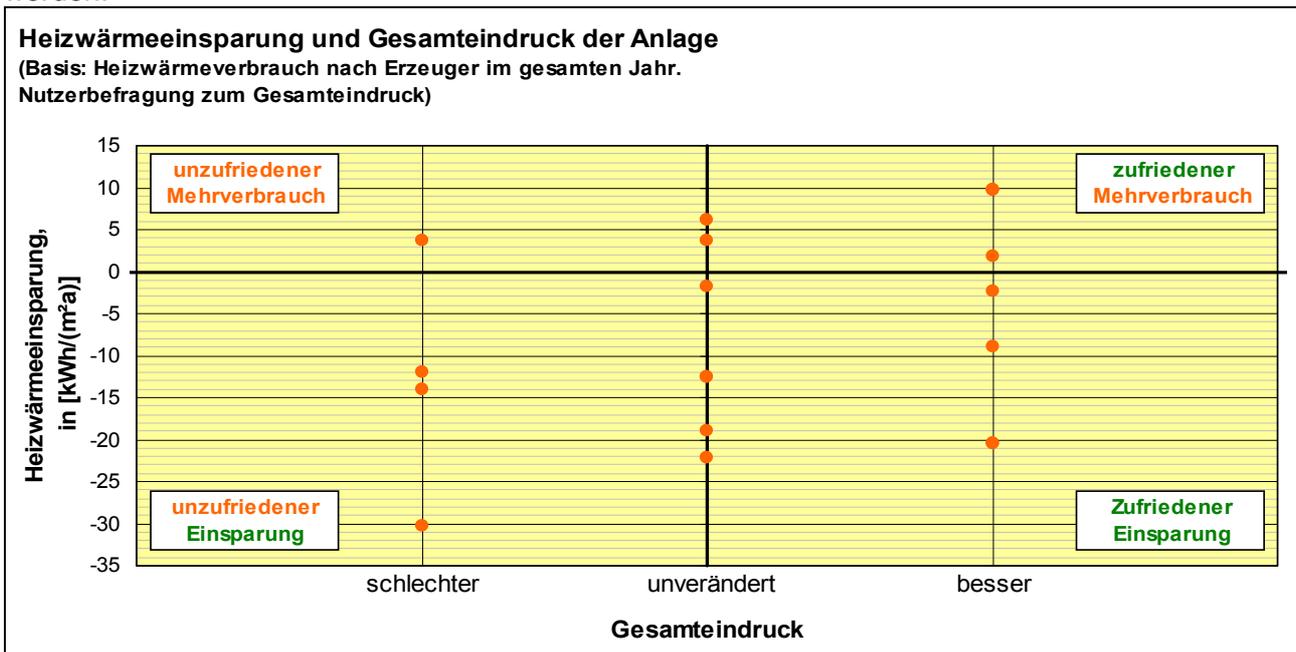


Bild 199 Heizwärmeeinsparung und Gesamteindruck der Anlage

Zunächst wurden die Nutzer nach dem Gesamteindruck der Anlage befragt. Die möglichen Antworten waren:

- der Gesamteindruck der Gebäudebeheizung ist besser als vor der Optimierung,
- der Gesamteindruck der Gebäudebeheizung ist unverändert so wie vor der Optimierung,
- der Gesamteindruck der Gebäudebeheizung ist schlechter als vor der Optimierung,

Diesen Aussagen von 19 Befragten in 14 Gebäuden wurde die erreichte Energieeinsparung (Heizwärmeverbrauch) des Gebäudes zugeordnet. Die Ergebnisse zeigt Bild 199.

Die Tendenz ist folgende: in den Anlagen, in denen die Nutzer zufriedener sind, wird tendenziell weniger Energie eingespart bzw. es ergibt sich ein Mehrverbrauch. In Anlagen, in denen die Nutzer weniger zufrieden nach der Optimierung sind, ist die Einsparung größer.

Die Nutzer (19 Befragte in 14 Gebäuden) wurden weiterhin befragt, ob es Kritikpunkte an der Anlage gibt:

- keine ausreichende Beheizung der Räume,
- lange Aufheizzeiten,
- Heizkörper/Räume werden unterschiedlich schnell warm,
- Luft in der Anlage,
- Heizkörper/Räume werden abwechselnd heiß und kalt,
- Geräusche.

Für den Fall, dass ein Problem erst mit der Optimierung auftrat, gab es einen Minuspunkt. Wenn ein Problem durch die Optimierung beseitigt wurde einen Pluspunkt. Bild 200 zeigt die Auswertung dieser Kritikpunktebewertung und der erreichten Einsparung (Heizwärmeverbrauch).

Es gibt nur einen Befragten, der sehr unzufrieden ist und gleichzeitig mehr Energie verbraucht. Es zeigt sich auch hier wieder die Tendenz, dass in Anlagen mit zufriedenen Nutzern oft ein Mehrverbrauch verbunden ist. Die größten Einsparungen gibt es in Anlagen mit einem Kritikpunkt – wobei dies meist die "nicht ausreichende Beheizung einzelner Räume" ist.

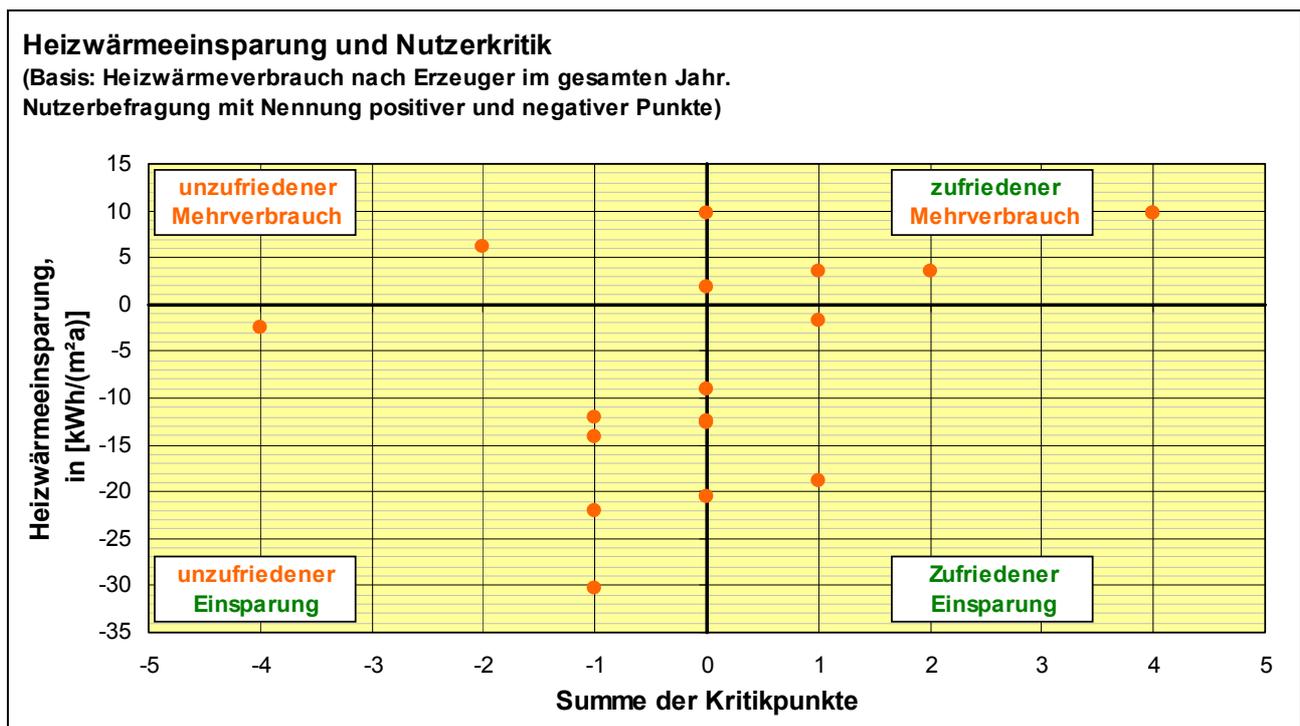


Bild 200 Heizwärmeeinsparung und Nutzerkritikpunkte

Die letzte Befragung galt dem Heizverhalten der Nutzer. Es sollte eingeschätzt werden, ob das Heizverhalten sparsamer, unverändert oder verschwenderischer als vor der Optimierung ist. Bild 201 zeigt die Ergebnisse der Befragung (16 Befragte in 12 Gebäuden). Hier ist keine eindeutige Korrelation von Nutzerempfinden und tatsächlicher Verbrauchsverminderung festzustellen. Es gibt Nutzer, die der Meinung sind, sie wären sparsamer – trotzdem verbraucht das Haus mehr als vorher. Es gibt auch Nutzer, die gefühlsmäßig unverändert heizen und dennoch 30 kWh/(m²a) sparen.

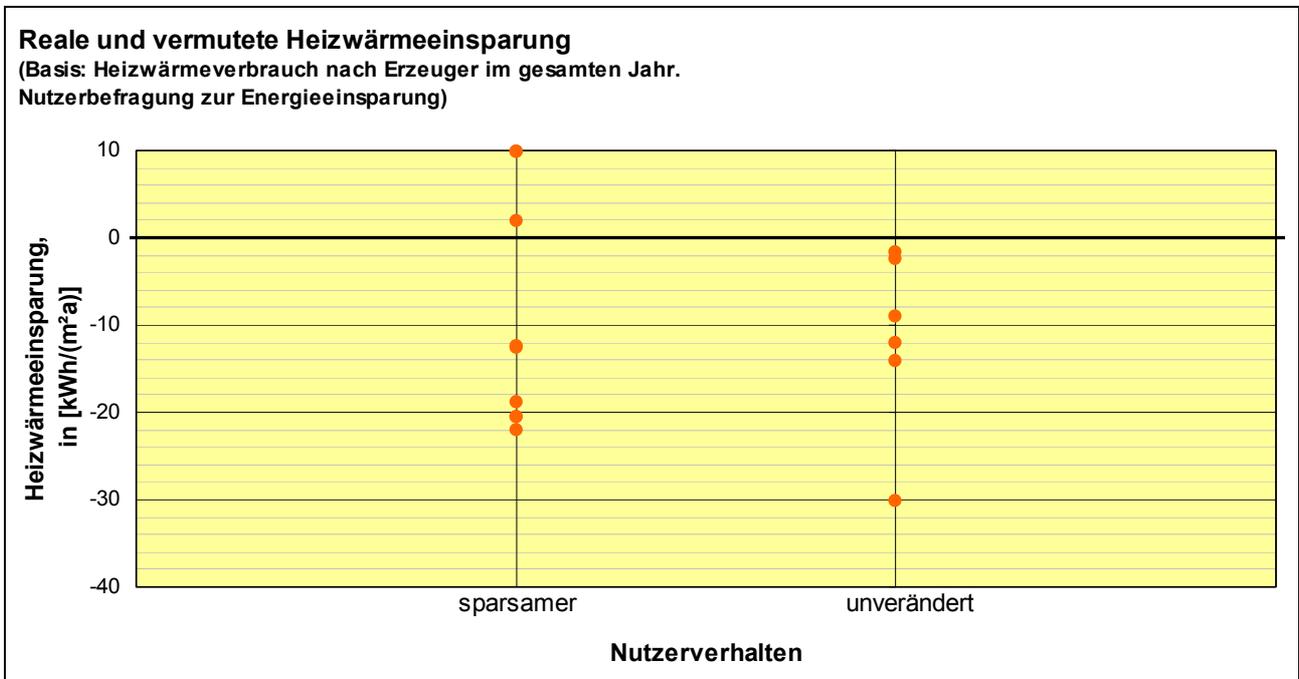


Bild 201 Reale und vermutete Heizwärmeeinsparung

10.6 Auswirkung der Wahl des Bereinigungsverfahrens

Mit Hilfe der im OPTIMUS-Projekt untersuchten Gebäude soll eine allgemeingültige Aussage getroffen werden, wie viel Energie sich mit einer Heizungsanlagenoptimierung einsparen lässt. Dazu müssen die gemessenen Verbrauchswerte auf einen Standardstandort und ein Standardjahr bereinigt werden. Es wurden mehrere Ansätze getestet, die letztlich gewählte Art der Bereinigung ist in Abschnitt 9.1.1 beschrieben.

Als ein Erkenntnis des Projekts sollen die Ergebnisse der Untersuchung verschiedener Bereinigungsverfahren in diesem Abschnitt wiedergegeben werden. Es wurden folgende Arten der Bereinigung an 29 Beispielgebäuden getestet:

Bereinigung des "Nutzwärmeverbrauchs für die Heizung"

- nach VDI 3807 mit Heizgradtagen. Physikalisch plausible Vorgehensweise.
- getestet mit allen Heizgrenztemperaturen zwischen 10°C und 20 °C ($G_{10} \dots G_{20}$)
- Einsparung berechnet bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C (G_{15})
- Einsparung berechnet bei der für das Gebäude individuell aus dem Verbrauchsverlauf bestimmten Heizgrenztemperatur ($G_{\text{individuell}}$)

Bereinigung des "Nutzwärmeverbrauchs für die Heizung"

- mit Gradtagszahlen. Physikalisch nicht plausible Vorgehensweise, jedoch in der Praxis verwendet, z.B. von den Versorgungsunternehmen.
- getestet mit allen Heizgrenztemperaturen zwischen 10°C und 20 °C ($G_{t_{20,10}} \dots G_{t_{20,20}}$)
- Einsparung berechnet bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C ($G_{t_{20,15}}$)
- Einsparung berechnet bei der für das Gebäude individuell aus dem Verbrauchsverlauf bestimmten Heizgrenztemperatur ($G_{t_{20,\text{individuell}}}$)

Bereinigung der "Verluste des Gebäudes für Transmission und Lüftung"

- Verluste = Summe aus "Nutzwärmeverbrauchs für die Heizung" plus "Fremdwärme" mit Gradtagszahlen. Physikalisch plausible Vorgehensweise. Diese wurde auch an der Universität Dresden getestet.
- getestet mit allen Heizgrenztemperatur zwischen 10°C und 20 °C ($G_{t_{20,10}} \dots G_{t_{20,20}}$)
- Einsparung berechnet bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C ($G_{t_{20,15}}$)
- Einsparung berechnet bei der für das Gebäude individuell aus dem Verbrauchsverlauf bestimmten Heizgrenztemperatur ($G_{t_{20,individuell}}$)

Die Untersuchung erfolgte Mitte 2004 mit den bis dahin verfügbaren Verbrauchswerten. Die Witterungskorrektur wurde anhand der realen Wetterdaten des Standorts durchgeführt. Weiterhin wurden für alle Gebäude im ersten und zweiten Jahr etwa vergleichbare Zeiträume (November bis April) verwendet. Bei der Datenauswertung wurden die bereinigten Verbrauchswerte der beiden Heizperioden gegenübergestellt.

Ziel der Untersuchung war, das Bereinigungsverfahren zu finden, bei dem die durchschnittliche Verbrauchsänderung zwischen Heizperiode 02/03 und 03/04 für die nicht optimierten Gebäude so gering wie möglich ist.

10.6.1 Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs mit unterschiedlichen Heizgradtagen

An 29 ausgewählten Ein- und Mehrfamilienhäusern wurde zur Findung eines korrekten Bereinigungsverfahrens der Heizwärmeverbrauch nach Wärmemengenzähler (ggf. Differenzmessung zweier Zähler) mit den Heizgradtagen bereinigt. Gleichung (43) kam dabei zum Einsatz, wobei für die Heizgrenztemperatur Werte zwischen 10 °C und 20 °C ($X = 10, 11, 12, \dots, 20$) getestet wurden.

$$\frac{Q_{h,Standard}}{Q_{h,Mess}} = \frac{G_{X,Standard}}{G_{X,Mess}} \quad (43)$$

Dieses Verfahren ist kompatibel mit der Vorgehensweise der VDI 3807 [39], wobei die VDI 3807 nur 15 °C Heizgrenztemperatur standardmäßig verwendet. Diese Vorgehensweise ist physikalisch plausibel, wenn man voraussetzt, dass der Heizwärmeverbrauch proportional zu den Heizgradtagen ist, die Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung (bzw. Heizwärmeverbrauch plus Fremdwärme) aber proportional zur Gradtagszahl.

Bild 202 zeigt die Ergebnisse für zehn nicht optimierte, Bild 203 für zehn optimierte Gebäude. Die Diagramme sind wie folgt zu verstehen: es sind jeweils zwei Geraden eingetragen. Jeder Geraden liegt nur ein gemessener Verbrauchswert zugrunde. Dieser gemessene Verbrauchswert wurde insgesamt 11 Mal (für jede Heizgrenztemperatur einmal) bereinigt. Das Bereinigungsergebnis ist im Diagramm eingetragen.

Folgendes Ergebnis sollte sich für die gezeigten 10 nicht optimierten Gebäude (Bild 202) ergeben: der bereinigte Verbrauch sollte in beiden Jahren gleich sein – wenn vorausgesetzt wird, dass sich keine Änderung neben der Witterungsänderung ergeben hat.

Diese Bedingung wird in zwei der Mehrfamilienhäuser und drei der Einfamilienhäuser bei Bereinigung mit Heizgradtagen bei einer Heizgrenze von 12, 14, 15 und 19 °C erreicht. In den verbliebenen drei Mehrfamilienhäusern und zwei Einfamilienhäusern ergibt sich nach der Bereinigung ein höherer Verbrauch – unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur.

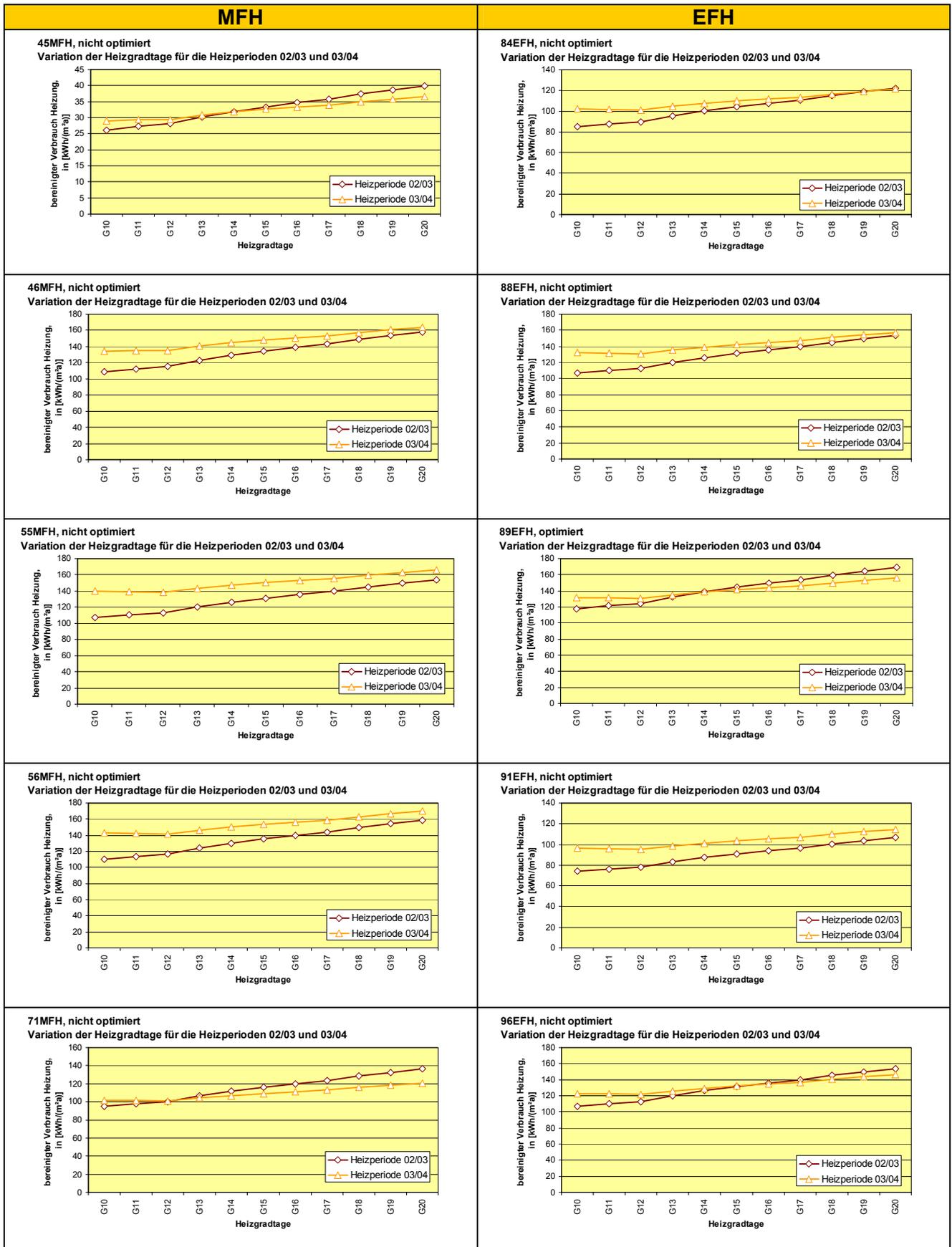


Bild 202 Verbrauch ausgewählter nicht optimierter Gebäude bereinigt mit Heizgradtagen

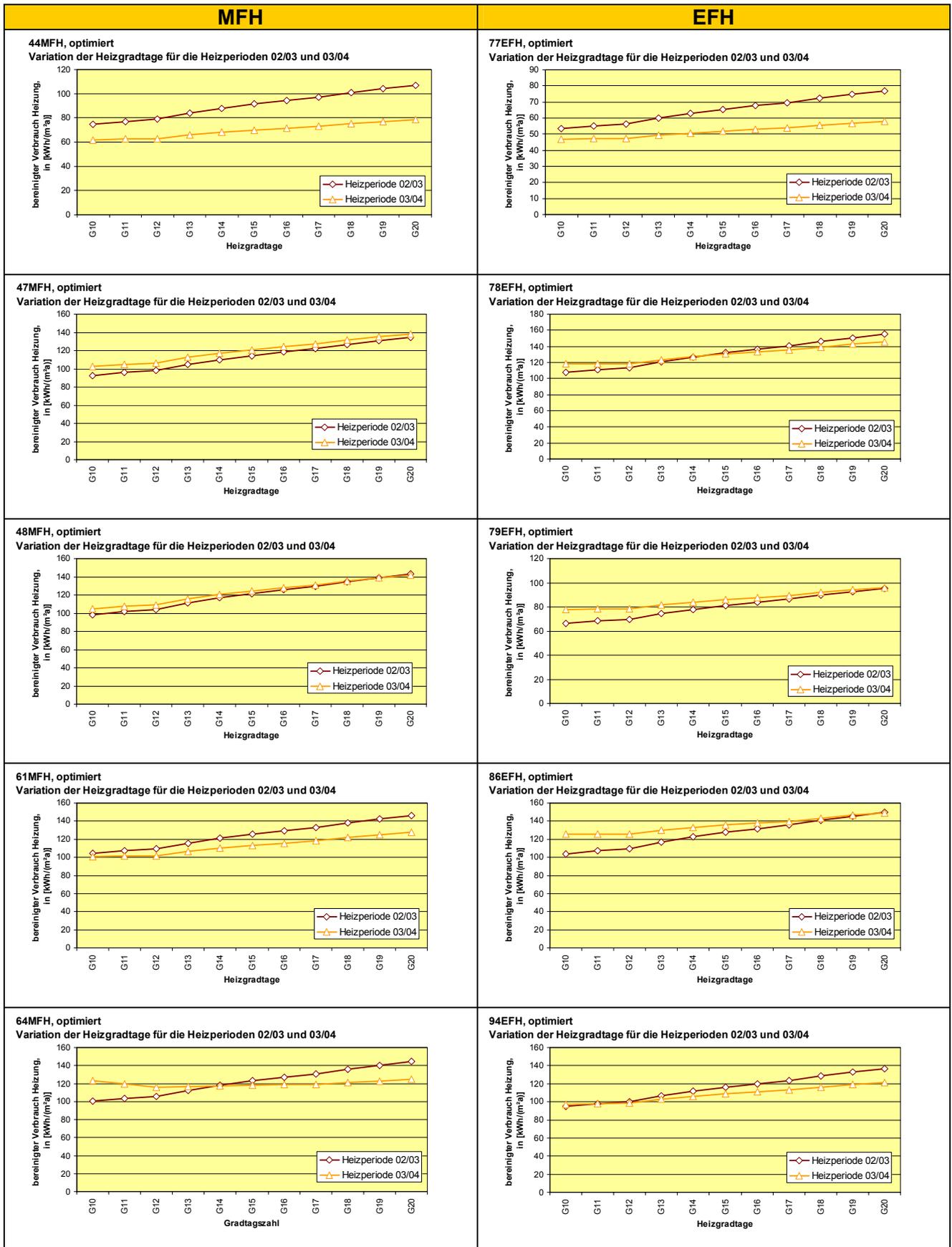


Bild 203 Verbrauch ausgewählter optimierter Gebäude bereinigt mit Heizgradtagen

Folgendes Ergebnis erwartet man für die gezeigten 10 optimierten Gebäude (Bild 203): der bereinigte Verbrauch sollte im zweiten Jahr nach der Optimierung geringer ausfallen – und zwar möglichst unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur bei der Bereinigung.

Diese Bedingung wird in zwei der Mehrfamilienhäuser und in einem Einfamilienhaus erfüllt. In einem Mehrfamilienhaus ergibt sich generell sogar ein Mehrverbrauch – bei jeder Art der Gradtagzahlkorrektur. Die restlichen zwei Mehrfamilienhäuser und vier Einfamilienhäuser weisen einen Umschlagpunkt zwischen 14 und 20 °C auf. Bei Bereinigung mit Gradtagzahlen unterhalb dieser Umschlagtemperatur ergibt sich ein rechnerischer Mehrverbrauch, darüber ein rechnerischer Minderverbrauch.

Status	Gebäude	Erste Messperiode				Zweite Messperiode				Abweichung							
		Heizgrenze aus Verbrauchsverlauf		individuell bereinigt		Standardbereinigung		Heizgrenze aus Verbrauchsverlauf		individuell bereinigt		Standardbereinigung		individuell bereinigt		Standardbereinigung	
		Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Heizgradtage	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	berechnete Einsparung in kWh/(m²a)	Einsparung in %	berechnete Einsparung in kWh/(m²a)	Einsparung in %
nicht optimiert	45MFH	19	G19	38,7	G15	33,4	17	G17	34,0	G15	32,7	-5	-12	-1	-2		
	46MFH	24	G20	157,9	G15	134,2	21	G22	164,0	G15	147,8	6	4	14	10		
	55MFH	17	G17	139,6	G15	131,2	16	G16	153,0	G15	150,2	13	10	19	14		
	56MFH	18	G18	149,5	G15	135,3	15	G15	153,6	G15	153,6	4	3	18	14		
	71MFH	16	G16	120,1	G15	116,2	14	G14	107,0	G15	109,2	-13	-11	-7	-6		
	84EFH	18	G18	115,1	G15	104,1	15	G15	109,8	G15	109,8	-5	-5	6	5		
	88EFH	16	G16	135,6	G15	131,1	14	G14	139,3	G15	142,2	4	3	11	8		
	91EFH	17	G17	96,6	G15	90,8	21	G22	114,5	G15	103,4	18	19	13	14		
	96EFH	17	G17	139,7	G15	131,3	17	G17	136,6	G15	132,1	-3	-2	1	1		
	98EFH	17	G17	81,3	G15	76,1	15	G15	78,2	G15	78,2	-3	-4	2	3		
	Durchschnitt			114,6		103,1			115,1		110,3	1	1 %	7	7 %		
optimiert	44MFH	20	G20	107,1	G15	91,4	16	G16	71,6	G15	70,1	-35	-33	-21	-23		
	47MFH	18	G18	126,8	G15	114,5	16	G16	124,3	G15	121,0	-2	-2	7	6		
	48MFH	18	G18	134,7	G15	121,6	15	G15	124,3	G15	124,3	-10	-8	3	2		
	49MFH	19	G19	187,5	G15	161,7	16	G16	179,2	G15	174,4	-8	-4	13	8		
	61MFH	17	G17	133,1	G15	125,7	17	G17	118,0	G15	113,1	-15	-11	-13	-10		
	64MFH	17	G17	130,9	G15	123,0	14	G14	117,6	G15	118,1	-13	-10	-5	-4		
	67MFH	18	G18	141,2	G15	127,7	16	G16	116,0	G15	113,9	-25	-18	-14	-11		
	76EFH	18	G18	126,0	G15	114,0	14	G14	111,1	G15	113,8	-15	-12	0	0		
	77EFH	16	G16	67,7	G15	65,5	14	G14	50,6	G15	51,8	-17	-25	-14	-21		
	78EFH	18	G18	145,9	G15	132,0	14	G14	127,3	G15	130,4	-19	-13	-2	-1		
	79EFH	16	G16	84,0	G15	81,2	13	G13	81,4	G15	85,9	-3	-3	5	6		
	80EFH	16	G16	132,8	G15	128,4	13	G13	128,6	G15	135,8	-4	-3	7	6		
	81EFH	17	G17	98,2	G15	92,3	14	G14	64,8	G15	66,4	-33	-34	-26	-28		
	82EFH	16	G16	94,8	G15	91,7	14	G14	76,3	G15	78,1	-19	-20	-14	-15		
	83EFH	18	G18	223,6	G15	202,3	15	G15	163,0	G15	163,0	-61	-27	-39	-19		
	86EFH	17	G17	135,6	G15	127,5	18	G18	143,6	G15	135,7	8	6	8	6		
	89EFH	18	G18	159,6	G15	144,4	18	G18	149,8	G15	141,4	-10	-6	-3	-2		
90EFH	17	G17	80,4	G15	75,6	12	G12	76,2	G15	82,8	-4	-5	7	10			
94EFH	17	G17	123,6	G15	116,2	17	G17	112,9	G15	108,6	-11	-9	-8	-7			
	Durchschnitt			128,6		116,5			112,1		110,6	-16	-13 %	-6	-5 %		

Tabelle 71 Vergleich der Bereinigungsergebnisse bei Verwendung der Heizgradtage

Einen Vergleich der (mit den Heizgradtagen) bereinigten Energieverbräuche und Einsparungen mit individueller Heizgrenze und Standardheizgrenze 15 °C zeigt Tabelle 71. Hierin sind alle 29 untersuchten Gebäude enthalten. Bei der Bereinigung mit individueller Heizgrenze ergibt sich für die nicht optimierten Gebäude mit 1 % Abweichung der gleiche bereinigte Verbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Eine Interpretation der befindet sich in Kapitel 10.6.4.

10.6.2 Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs mit unterschiedlichen Gradtagszahlen

An den 29 ausgewählten Ein- und Mehrfamilienhäusern wurde zur Findung eines korrekten Bereinigungsverfahrens der Heizwärmeverbrauch aus den Wärmemengenzählermessungen (ggf. Differenzmessung zweier Zähler) mit den Gradtagszahlen bereinigt. Gleichung (44) kam dabei zum Einsatz, wobei für die Innentemperatur 20 °C und für die Heizgrenztemperatur Werte zwischen 10 °C und 20 °C ($X = 10, 11, 12, \dots, 20$) getestet wurden.

$$\frac{Q_{h,Standard}}{Q_{h,Mess}} = \frac{Gt_{20,X,Standard}}{Gt_{20,X,Mess}} \quad (44)$$

Dieses Verfahren war früher allgemein üblich und wird auch heute noch von Energieversorgungsunternehmen zur Bereinigung der Witterung verwendet. Diese Vorgehensweise ist physikalisch unplausibel, wenn man voraussetzt, dass der Heizwärmeverbrauch proportional zu den Heizgradtagen ist, und nicht zur Gradtagszahl.

Bild 204 zeigt die Ergebnisse für zehn nicht optimierte, Bild 205 für zehn optimierte Gebäude. Die Diagramme sind wie folgt zu verstehen: es sind jeweils zwei Geraden eingetragen. Jeder Geraden liegt nur ein gemessener Verbrauchswert zugrunde. Dieser gemessene Verbrauchswert wurde insgesamt 11 Mal (für jede Heizgrenztemperatur einmal) bereinigt. Das Bereinigungsergebnis ist im Diagramm eingetragen.

Folgendes Ergebnis sollte sich für die gezeigten 10 nicht optimierten Gebäude (Bild 204) ergeben: falls die Gradtagszahlkorrektur die realen Verhältnisse widerspiegelt, sollte der bereinigte Verbrauch in beiden Jahren gleich sein – zumindest für eine der getesteten Gradtagszahlen.

Diese Bedingung wird in den Einfamilienhäusern fast durchgängig erfüllt, wobei die beiden Kurven entweder fast parallel laufen oder sich bei einer Heizgrenztemperatur von 10 °C berühren. Für die Mehrfamilienhäuser ergibt sich nach der Bereinigung in drei Fällen ein höherer Verbrauch, in zwei Fällen ein geringerer Verbrauch – unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur.

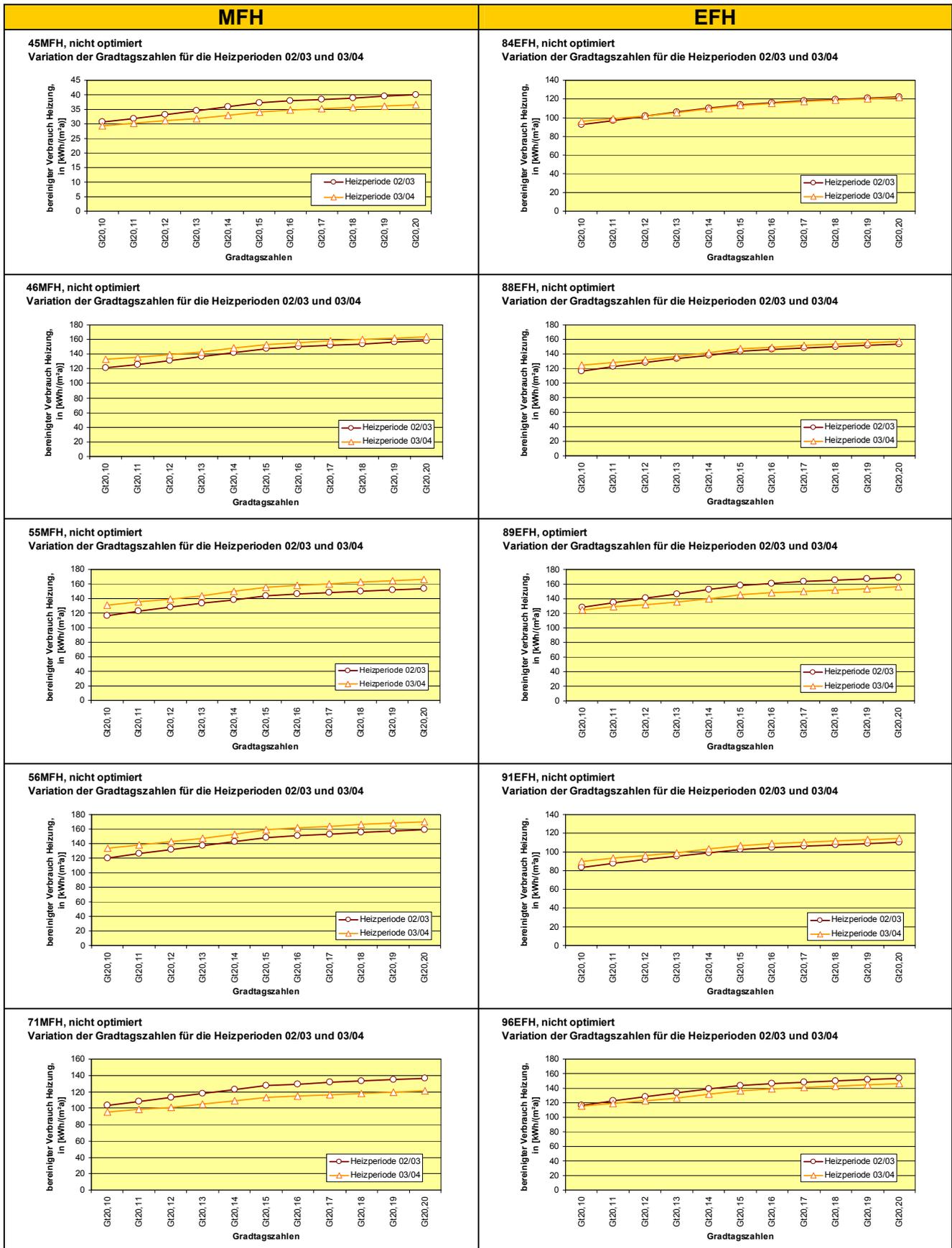


Bild 204 Verbrauch ausgewählter nicht optimierter Gebäude bereinigt mit Gradtagszahlen

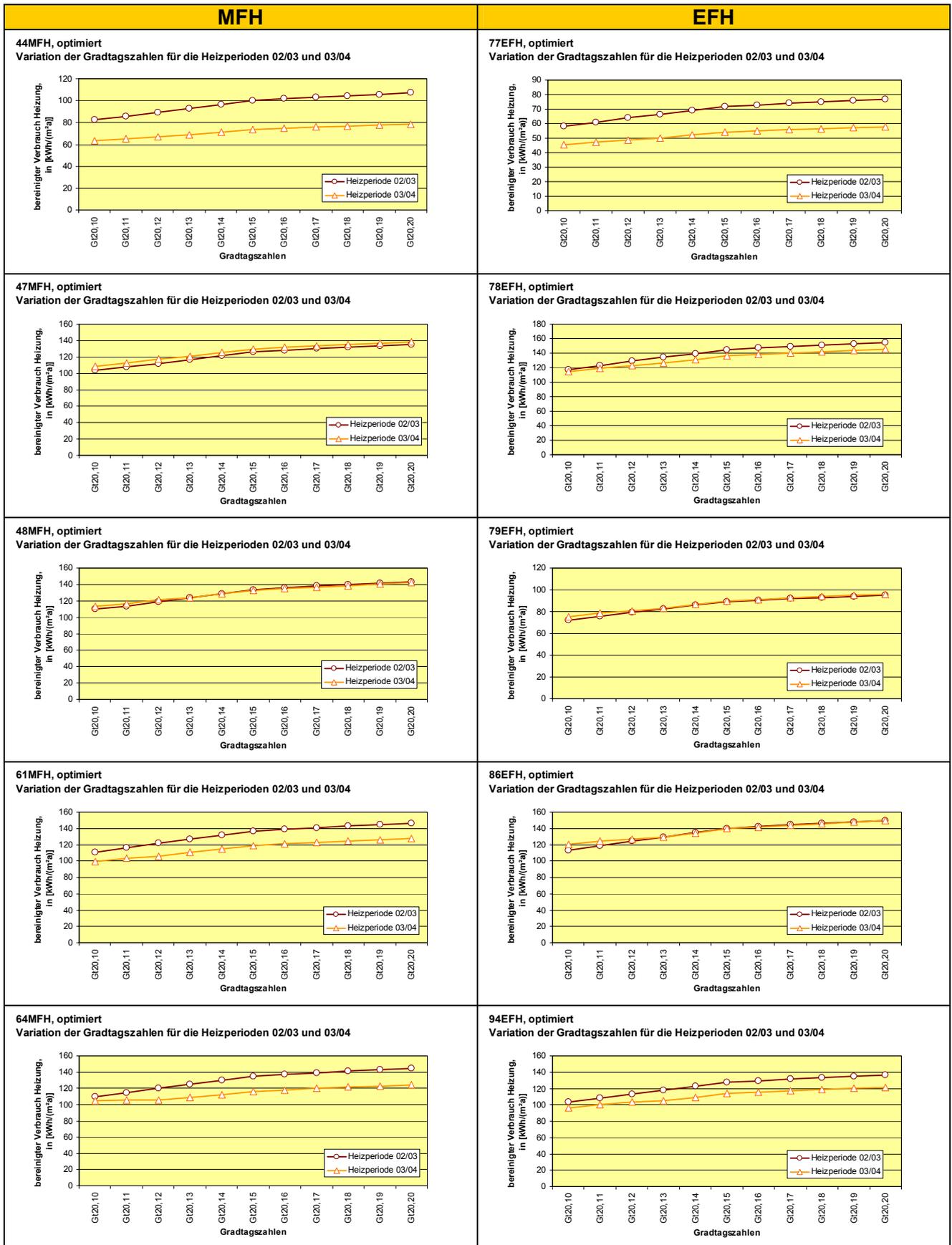


Bild 205 Verbrauch ausgewählter optimierter Gebäude bereinigt mit Gradtagszahlen

Folgendes Ergebnis erwartet man für die gezeigten 10 optimierten Gebäude (Bild 205): der bereinigte Verbrauch sollte im zweiten Jahr nach der Optimierung geringer ausfallen – und zwar möglichst unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur bei der Bereinigung. In drei Mehrfamilienhäusern ergibt sich ein geringerer bereinigter Verbrauch, in zwei MFH ist er nach der Bereinigung etwa gleich. Gleiches ergibt sich bei den EFH.

Einen Vergleich der (mit der Gradtagszahl) bereinigten Energieverbräuche und Einsparungen mit individueller Heizgrenze und Standardheizgrenze 15 °C zeigt Tabelle 72. Hierin sind alle 29 untersuchten Gebäude enthalten. Bei der Bereinigung mit individueller Heizgrenze ergibt sich für die nicht optimierten Gebäude mit 1 % Abweichung der gleiche bereinigte Verbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Eine Interpretation der befindet sich in Kapitel 10.6.4.

Status	Gebäude	Erste Messperiode					Zweite Messperiode					Abweichung			
		Heizgrenze aus Verbrauchslauf	individuell bereinigt		Standardbereinigung		Heizgrenze aus Verbrauchslauf	individuell bereinigt		Standardbereinigung		individuell bereinigt		Standardbereinigung	
			Gradtagszahl	in kWh/(m ² a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Gradtagszahl	in kWh/(m ² a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit		Gradtagszahl	in kWh/(m ² a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Gradtagszahl	in kWh/(m ² a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	berechnete Einsparung in kWh/(m ² a)	Einsparung in %	berechnete Einsparung in kWh/(m ² a)	Einsparung in %
nicht optimiert	45MFH	19	Gt20,19	39,4	Gt20,15	37,3	17	Gt20,17	35,3	Gt20,15	34,2	-4	-11	-3	-8
	46MFH	24	Gt20,20	157,9	Gt20,15	147,5	21	Gt20,20	164,0	Gt20,15	153,2	6	4	6	4
	55MFH	17	Gt20,17	148,5	Gt20,15	143,8	16	Gt20,16	157,9	Gt20,15	155,4	9	6	12	8
	56MFH	18	Gt20,18	155,0	Gt20,15	148,3	15	Gt20,15	158,8	Gt20,15	158,8	4	2	11	7
	71MFH	16	Gt20,16	129,4	Gt20,15	127,4	14	Gt20,14	108,8	Gt20,15	112,9	-21	-16	-14	-11
	84EFH	18	Gt20,18	119,3	Gt20,15	114,1	15	Gt20,15	113,4	Gt20,15	113,4	-6	-5	-1	-1
	88EFH	16	Gt20,16	146,1	Gt20,15	143,8	14	Gt20,14	141,6	Gt20,15	146,9	-4	-3	3	2
	91EFH	17	Gt20,17	106,1	Gt20,15	102,8	21	Gt20,20	114,5	Gt20,15	106,9	8	8	4	4
	96EFH	17	Gt20,17	148,6	Gt20,15	143,9	17	Gt20,17	141,1	Gt20,15	136,7	-8	-5	-7	-5
	98EFH	17	Gt20,17	86,9	Gt20,15	84,1	15	Gt20,15	80,9	Gt20,15	80,9	-6	-7	-3	-4
	Durchschnitt			118,7		113,4			117,2		114,3	-1	-1 %	1	1 %
optimiert	44MFH	20	Gt20,20	107,1	Gt20,15	100,0	16	Gt20,16	74,5	Gt20,15	73,3	-33	-30	-27	-27
	47MFH	18	Gt20,18	131,5	Gt20,15	125,9	16	Gt20,16	131,5	Gt20,15	129,4	0	0	4	3
	48MFH	18	Gt20,18	139,7	Gt20,15	133,7	15	Gt20,15	132,7	Gt20,15	132,7	-7	-5	-1	-1
	49MFH	19	Gt20,19	191,1	Gt20,15	180,7	16	Gt20,16	189,6	Gt20,15	186,6	-1	-1	6	3
	61MFH	17	Gt20,17	141,0	Gt20,15	136,5	17	Gt20,17	123,0	Gt20,15	119,2	-18	-13	-17	-13
	64MFH	17	Gt20,17	139,3	Gt20,15	134,9	14	Gt20,14	112,0	Gt20,15	116,2	-27	-20	-19	-14
	67MFH	18	Gt20,18	146,4	Gt20,15	140,0	16	Gt20,16	119,8	Gt20,15	117,9	-27	-18	-22	-16
	76EFH	18	Gt20,18	130,7	Gt20,15	125,0	14	Gt20,14	114,4	Gt20,15	118,7	-16	-12	-6	-5
	77EFH	16	Gt20,16	72,9	Gt20,15	71,8	14	Gt20,14	52,1	Gt20,15	54,1	-21	-29	-18	-25
	78EFH	18	Gt20,18	151,3	Gt20,15	144,7	14	Gt20,14	131,1	Gt20,15	136,0	-20	-13	-9	-6
	79EFH	16	Gt20,16	90,4	Gt20,15	89,0	13	Gt20,13	83,2	Gt20,15	89,7	-7	-8	1	1
	80EFH	16	Gt20,16	143,1	Gt20,15	140,8	13	Gt20,13	131,4	Gt20,15	141,7	-12	-8	1	1
	81EFH	17	Gt20,17	104,5	Gt20,15	101,2	14	Gt20,14	66,7	Gt20,15	69,3	-38	-36	-32	-32
	82EFH	16	Gt20,16	102,2	Gt20,15	100,5	14	Gt20,14	78,5	Gt20,15	81,5	-24	-23	-19	-19
	83EFH	18	Gt20,18	231,8	Gt20,15	221,8	15	Gt20,15	171,5	Gt20,15	171,5	-60	-26	-50	-23
	86EFH	17	Gt20,17	144,3	Gt20,15	139,8	18	Gt20,18	145,8	Gt20,15	139,5	2	1	0	0
	89EFH	18	Gt20,18	165,4	Gt20,15	158,3	18	Gt20,18	152,2	Gt20,15	145,6	-13	-8	-13	-8
90EFH	17	Gt20,17	85,5	Gt20,15	82,8	12	Gt20,12	77,4	Gt20,15	85,6	-8	-10	3	3	
94EFH	17	Gt20,17	131,5	Gt20,15	127,4	17	Gt20,17	117,2	Gt20,15	113,6	-14	-11	-14	-11	
	Durchschnitt			133,6		127,8			115,6		115,3	-18	-13 %	-13	-10 %

Tabelle 72 Vergleich der Ergebnisse bei Gradtagszahlbereinigung (ohne Fremdwärme)

10.6.3 Bereinigung der Wärmeverluste mit unterschiedlichen Gradtagszahlen

An 29 ausgewählten Ein- und Mehrfamilienhäusern wurde zur Findung eines korrekten Bereinigungsverfahrens die Wärmeverluste für Transmission und Lüftung (berechnet mit Hilfe der gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte) mit den Gradtagszahlen bereinigt. Gleichung (45) kam dabei zum Einsatz, wobei für die Innentemperatur 20 °C und für die Heizgrenztemperatur Werte zwischen 10 °C und 20 °C ($X = 10, 11, 12, \dots, 20$) getestet wurden.

$$\frac{(Q_h + Q_{\text{Gewinne}})_{\text{Standard}}}{(Q_h + Q_{\text{Gewinne}})_{\text{Mess}}} = \frac{(Q_T + Q_V)_{\text{Standard}}}{(Q_T + Q_V)_{\text{Mess}}} = \frac{Gt_{20,X,\text{Standard}}}{Gt_{20,X,\text{Mess}}} \quad (45)$$

Diese Vorgehensweise ist physikalisch plausibel, wenn man voraussetzt, dass die Wärmeverluste für Transmission und Lüftung (bei gleich bleibend angenommenen Luftwechseln) proportional zur Gradtagszahl sind. Die Wärmeverluste werden anhand der Heizgrenztemperatur nach Gleichung (46) und (47) abgeschätzt.

$$\frac{Q_{\text{Gewinne}}}{Q_h} = \frac{(\vartheta_i - \vartheta_{\text{HG}})}{(\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_a)} \quad (46)$$

$$Q_{h,\text{Standard}} = Q_{h,\text{Mess}} \cdot \frac{Gt_{20,15,\text{Standard}}}{Gt_{20,15,\text{Mess}}} \cdot \frac{1 + \frac{\vartheta_i - \vartheta_{\text{HG}}}{\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_{a,\text{Mess}}}}{1 + \frac{\vartheta_i - \vartheta_{\text{HG}}}{\vartheta_{\text{HG}} - \vartheta_{a,\text{Standard}}}} \quad (47)$$

Bild 206 zeigt die Ergebnisse für zehn nicht optimierte, Bild 207 für zehn optimierte Gebäude. Die Diagramme sind wie folgt zu verstehen: es sind jeweils zwei Geraden eingetragen. Jeder Geraden liegt nur ein gemessener Verbrauchswert zugrunde. Dieser gemessene Verbrauchswert wurde insgesamt 11 Mal (für jede Heizgrenztemperatur einmal) bereinigt. Das Bereinigungsergebnis ist im Diagramm eingetragen.

Folgendes Ergebnis sollte sich für die 10 gezeigten nicht optimierten Gebäude (Bild 206) ergeben: falls die Korrektur der aus dem Verbrauch berechneten Wärmeverluste mit der Gradtagszahl die realen Verhältnisse widerspiegelt, sollte der bereinigte Verbrauch in beiden Jahren gleich sein – zumindest für eine der getesteten Gradtagszahlen.

Diese Bedingung wird in allen Gebäuden durchgängig erfüllt, wobei die beiden Kurven sich bei einer Heizgrenztemperatur zwischen 12 °C und 20 °C schneiden. Im Mittel bei etwa 17 °C.

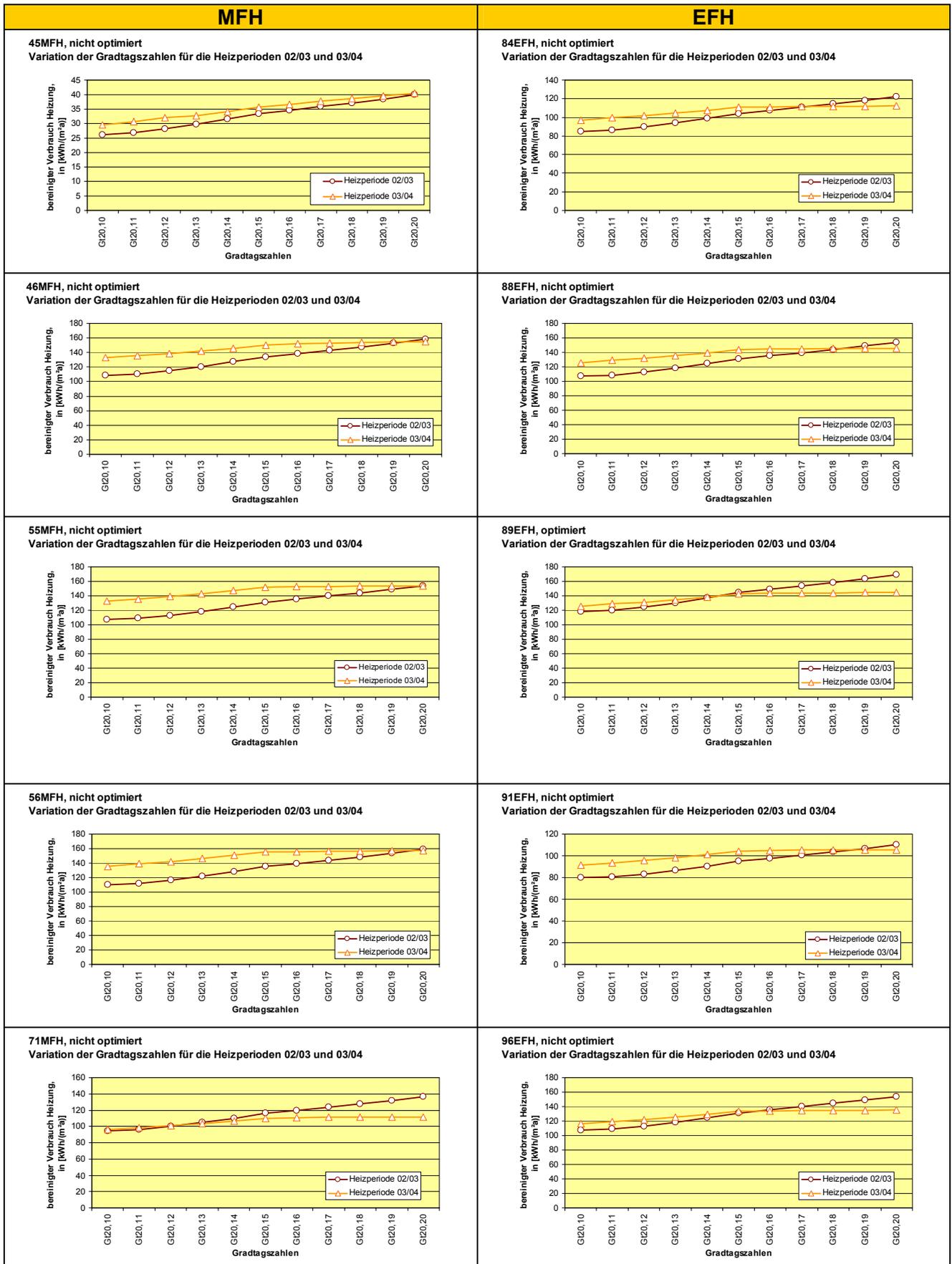


Bild 206 Verluste ausgewählter nicht optimierter Gebäude bereinigt mit Gradtagszahlen

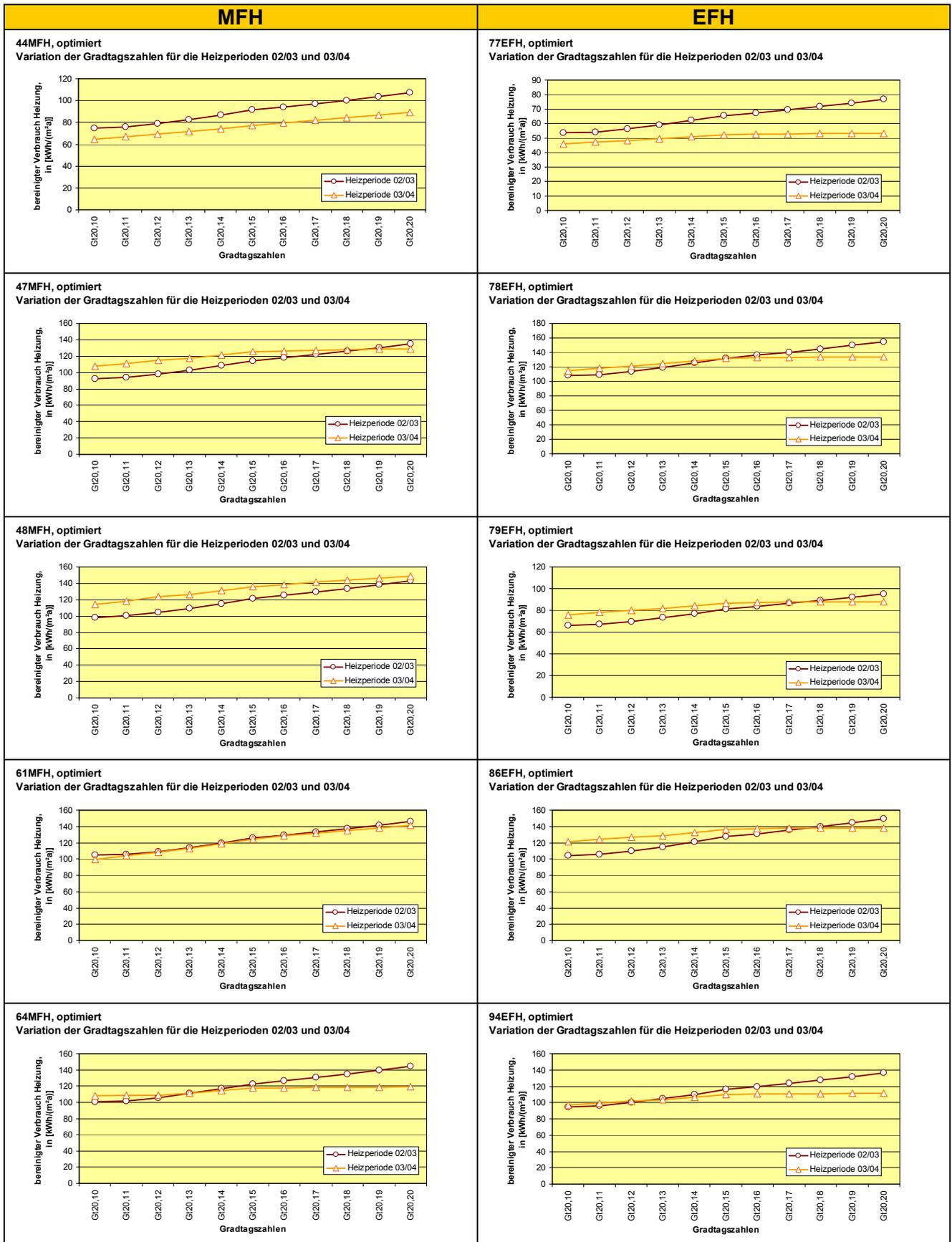


Bild 207 Verluste ausgewählter optimierter Gebäude bereinigt mit Gradtagszahlen

Folgendes Ergebnis erwartet man für die 10 gezeigten optimierten Gebäude (Bild 207): der bereinigte Verbrauch sollte im zweiten Jahr nach der Optimierung geringer ausfallen – und zwar möglichst unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur bei der Bereinigung.

In drei Gebäuden ergibt sich unabhängig von der Wahl der Heizgrenztemperatur ein geringerer oder gleicher Verbrauch. In einem Gebäude liegt er höher. Die restlichen zwei Mehrfamilienhäuser und vier Einfamilienhäuser weisen einen Umschlagpunkt zwischen 12 und 18 °C auf. Bei Bereinigung mit Gradtagszahlen unterhalb dieser Umschlagtemperatur ergibt sich ein rechnerischer Mehrverbrauch, darüber ein rechnerischer Minderverbrauch.

Status	Gebäude	Erste Messperiode					Zweite Messperiode					Abweichung			
		Heizgrenze aus Verbrauchsverlauf	individuell bereinigt		Standardbereinigung		Heizgrenze aus Verbrauchsverlauf	individuell bereinigt		Standardbereinigung		individuell bereinigt		Standardbereinigung	
			Gradtagszahl	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Gradtagszahl	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit		Gradtagszahl	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	Gradtagszahl	in kWh/(m²a) aus den Verbrauchsdaten der Kernheizzeit	berechnete Einsparung in kWh/(m²a)	Einsparung in %	berechnete Einsparung in kWh/(m²a)	Einsparung in %
nicht optimiert	45MFH	19	Gt20,19	38,5	Gt20,15	33,4	17	Gt20,17	37,7	Gt20,15	35,6	-1	-2	2	7
	46MFH	24	Gt20,20	157,9	Gt20,15	134,2	21	Gt20,20	155,1	Gt20,15	150,4	-3	-2	16	12
	55MFH	17	Gt20,17	139,6	Gt20,15	131,2	16	Gt20,16	152,3	Gt20,15	151,6	13	9	20	16
	56MFH	18	Gt20,18	148,5	Gt20,15	135,3	15	Gt20,15	155,0	Gt20,15	155,0	7	4	20	15
	71MFH	16	Gt20,16	119,6	Gt20,15	116,2	14	Gt20,14	107,0	Gt20,15	110,2	-13	-11	-6	-5
	84EFH	18	Gt20,18	114,3	Gt20,15	104,1	15	Gt20,15	110,8	Gt20,15	110,8	-4	-3	7	6
	88EFH	16	Gt20,16	135,0	Gt20,15	131,1	14	Gt20,14	139,3	Gt20,15	143,5	4	3	12	9
	91EFH	17	Gt20,17	100,4	Gt20,15	95,0	21	Gt20,20	105,7	Gt20,15	104,3	5	5	9	10
	96EFH	17	Gt20,17	139,7	Gt20,15	131,3	17	Gt20,17	134,6	Gt20,15	133,3	-5	-4	2	2
	98EFH	17	Gt20,17	81,3	Gt20,15	76,1	15	Gt20,15	83,3	Gt20,15	83,3	2	2	7	9
	Durchschnitt			114,4		103,2			113,7		112,4	-1	-1 %	9	9 %
optimiert	44MFH	20	Gt20,20	107,1	Gt20,15	91,4	16	Gt20,16	79,7	Gt20,15	77,1	-27	-26	-14	-16
	47MFH	18	Gt20,18	125,9	Gt20,15	114,5	16	Gt20,16	126,2	Gt20,15	125,1	0	0	11	9
	48MFH	18	Gt20,18	133,7	Gt20,15	121,6	15	Gt20,15	135,7	Gt20,15	135,7	2	1	14	12
	49MFH	19	Gt20,19	186,4	Gt20,15	161,7	16	Gt20,16	204,4	Gt20,15	198,5	18	10	37	23
	61MFH	17	Gt20,17	133,1	Gt20,15	125,7	17	Gt20,17	131,9	Gt20,15	124,6	-1	-1	-1	-1
	64MFH	17	Gt20,17	130,9	Gt20,15	123,0	14	Gt20,14	114,1	Gt20,15	117,6	-17	-13	-5	-4
	67MFH	18	Gt20,18	140,2	Gt20,15	127,7	16	Gt20,16	115,5	Gt20,15	115,0	-25	-18	-13	-10
	76EFH	18	Gt20,18	125,2	Gt20,15	114,0	14	Gt20,14	111,8	Gt20,15	115,1	-13	-11	1	1
	77EFH	16	Gt20,16	67,4	Gt20,15	65,5	14	Gt20,14	50,9	Gt20,15	52,4	-16	-24	-13	-20
	78EFH	18	Gt20,18	144,9	Gt20,15	132,0	14	Gt20,14	128,0	Gt20,15	131,9	-17	-12	0	0
	79EFH	16	Gt20,16	83,6	Gt20,15	81,2	13	Gt20,13	81,9	Gt20,15	86,9	-2	-2	6	7
	80EFH	16	Gt20,16	132,2	Gt20,15	128,4	13	Gt20,13	129,4	Gt20,15	137,3	-3	-2	9	7
	81EFH	17	Gt20,17	98,2	Gt20,15	92,3	14	Gt20,14	65,2	Gt20,15	67,2	-33	-34	-25	-27
	82EFH	16	Gt20,16	94,4	Gt20,15	91,7	14	Gt20,14	76,7	Gt20,15	79,0	-18	-19	-13	-14
	83EFH	18	Gt20,18	222,1	Gt20,15	202,3	15	Gt20,15	165,3	Gt20,15	165,3	-57	-26	-37	-18
	86EFH	17	Gt20,17	135,6	Gt20,15	127,5	18	Gt20,18	138,2	Gt20,15	136,7	3	2	9	7
89EFH	18	Gt20,18	158,5	Gt20,15	144,4	18	Gt20,18	144,0	Gt20,15	142,5	-14	-9	-2	-1	
90EFH	17	Gt20,17	80,4	Gt20,15	75,6	12	Gt20,12	77,0	Gt20,15	83,6	-3	-4	8	11	
94EFH	17	Gt20,17	123,6	Gt20,15	116,2	17	Gt20,17	110,9	Gt20,15	109,9	-13	-10	-6	-5	
	Durchschnitt			128,1		116,5			117,2		116,6	-11	-9 %	0	0 %

Tabelle 73 Vergleich der Ergebnisse bei Gradtagszahlbereinigung (ohne Fremdwärme)

Einen Vergleich der (mit der Gradtagszahl unter Berücksichtigung der Fremdwärme) bereinigten Energieverbräuche und Einsparungen mit individueller Heizgrenze und Standardheizgrenze 15 °C zeigt Tabelle 73. Hierin sind alle 29 untersuchten Gebäude enthalten. Bei der Bereinigung mit individueller Heizgrenze ergibt sich für die nicht optimierten Gebäude mit 1 % Abweichung der gleiche bereinigte Verbrauch in zwei aufeinanderfolgenden Jahren.

Eine Interpretation der Ergebnisse befindet sich in Kapitel 10.6.4.

10.6.4 Schlussfolgerung für das Bereinigungsverfahren

Die erste Schlussfolgerung für die Wahl des Bereinigungsverfahrens "Heizgradtage" oder "Gradtagszahlen" ist: es kann keine eindeutige Empfehlung für das eine oder andere Verfahren ausgesprochen werden.

Generell ist festzustellen, dass die Bereinigung des Verbrauchs unter Beachtung der individuellen Heizgrenze (Ermittelt aus dem Verbrauchsverlauf, vgl. Abschnitt 10.2.1) geeigneter zu sein scheint als die Annahme einer festen Heizgrenze von z.B. 15 °C. Alle drei getesteten Bereinigungsverfahren liefern für die nicht optimierten Gebäude im ersten und zweiten Jahr annähernd den gleichen Verbrauch ($\pm 1\%$), wenn mit der individuellen Heizgrenze bereinigt wird.

Bereinigung des Verbrauchs mit Gradtagszahlen

Die Bereinigung des Verbrauchs mit Gradtagszahlen führt zu guten Übereinstimmungen des bereinigten Verbrauchs der nicht optimierten Gebäude in den zwei Jahren. Allerdings ist sie nicht physikalisch begründbar und wird daher nicht weiter verfolgt.

Bereinigung des Verbrauchs incl. Fremdwärme mit Gradtagszahlen

Die Bereinigung des Verbrauchs unter Berücksichtigung der Fremdwärme leitet sich aus der Bereinigung mit Gradtagszahlen ab und ist deren physikalisch richtigere Weiterführung. Allerdings müssen die Fremdwärmemengen anhand der Heizgrenze abgeschätzt werden, da sie nicht messbar sind. Dieser Ansatz wird daher nicht weiter verfolgt.

Bereinigung mit Heizgradtagen

Die Bereinigung des Heizwärmeverbrauchs mit Heizgradtagen ähnelt physikalisch gesehen dem zuvor beschriebenen Ansatz der Bereinigung. Es ist eine Abwandlung des Ansatzes, den die VDI 3807 verwendet – jedoch mit individueller Heizgrenze – und einfach nachzuvollziehen. Basierend auf den Erkenntnissen für die nicht optimierten Gebäude fällt die Wahl auf dieses Bereinigungsverfahren.

11 Wirtschaftlichkeit

Neben den energetischen Betrachtungen und der Untersuchung der Umweltrelevanz einer Heizungsanlagenoptimierung ist ein Projektschwerpunkt natürlich die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit. Nachfolgend wird auf Basis der Kostendaten für die einzelnen Optimierungen nach Abschnitt 8 dargestellt, inwieweit sich das Projekt bzw. die Energieeinsparungen durch die Heizungsanlagenoptimierung als wirtschaftlich erweisen.

Aufgrund der getätigten Investitionen ergeben sich Mindestenergieeinsparungen, die erreicht werden müssen, damit sich eine Optimierung für den Endverbraucher wirtschaftlich darstellt. Diese notwendigen Investitionen werden in den optimierten Gebäuden jeweils den erreichten Einsparungen gegenübergestellt. Somit ergibt sich eine Einzelwirtschaftlichkeit.

Zusätzlich wird die Gesamtinvestition mit der gesamten erreichten Einsparung verglichen und untersucht, ob sich die Optimierung in bestimmten Gebäudegruppen (Altersklassen, Gebäudegrößen u.ä.) als besonders wirtschaftlich herausstellt. Verallgemeinerte Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von Handwerkerschulungen, Nutzerschulungen sowie Hochrechnungen für den gesamten bundesdeutschen Bestand schließen den Abschnitt ab.

11.1 Wirtschaftlichkeit der Optimierungen

Für die im OPTIMUS-Projekt optimierten Gebäude werden ein Gesamtwirtschaftlichkeitsnachweis (alle Gebäude), ein Wirtschaftlichkeitsnachweis nach Gebäudegruppen und schließlich auch für Einzelobjekte durchgeführt. Es werden jeweils die aus betriebswirtschaftlicher Sicht minimal notwendigen einzusparenden Energiemengen der tatsächlich erreichten Energieeinsparung gegenüber gestellt.

11.1.1 Art des Wirtschaftlichkeitsnachweises

Der Wirtschaftlichkeitsnachweis für die Optimierung der untersuchten Gebäude wurde auf mehrere Arten durchgeführt:

- als Gesamtnachweis für das ganze Projekt,
- als Gruppennachweis für Gruppen von Gebäuden mit gleichen Eigenschaften,
- als Einzelnachweis für jedes Gebäude.

Für jeden Nachweis werden jeweils die **aufgrund der Investition notwendigen einzusparenden Energiemengen** und die **tatsächlich eingesparten Energiemengen** (als Endenergien) gegenübergestellt. Die zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit einzusparenden Energiemengen ergeben sich nach dem in Abschnitt 8.3 beschriebenen Ansatz. Sie umfassen die jährlichen zusätzlichen Kapitalkosten (aus den getätigten Investitionen) und ggf. die zusätzlich jährlich anfallenden Wartungskosten für nachgerüstete Schmutzfilter – jeweils mit Preissteigerungen berechnet. Liegt die erreichte Energieeinsparung über der notwendigen, ist die Optimierung wirtschaftlich.

Im Fall des Einzelnachweises für ein konkretes Objekt werden dessen erreichte Energieeinsparung (bereinigte Endenergie an der Gebäudegrenze) sowie die dort auftretenden Kapital- und Wartungskosten als Basisdaten verwendet. Der Gesamtnachweis des Projektes erfolgt über die insgesamt in allen optimierten Gebäuden angefallenen Kosten für Kapital und Wartung sowie über die Summe der in diesen Gebäuden eingesparten Energie. Die nicht real getätigten Investitionen in Wilhelmshaven (Eigenanteil der Innung Wilhelmshaven) wurden durch reale Vergleichskosten nach Angaben des Obermeisters Stein ersetzt.

Analog zum Gesamtnachweis erfolgen Gruppennachweise, z.B. für die optimierten Ein- und Mehrfamilienhäuser oder für Gruppen von Gebäuden, in denen ähnliche Maßnahmenpakete durchgeführt wurden:

- Maßnahmenpaket 1: Die vorhandenen Komponenten müssen nur eingestellt werden.
- Maßnahmenpaket 2: Es müssen voreinstellbare Thermostatventile eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 3: Es muss eine neue Pumpe/neuer Differenzdruckregler eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 4: Pumpe/Differenzdruckregler und THKV müssen eingebaut werden.

11.1.2 Gesamtwirtschaftlichkeit des Projekts

Für den Gesamtwirtschaftlichkeitsnachweis gelten die bereits in Abschnitt 8.3.2 genannten Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Diese sollen hier der Vollständigkeit halber noch einmal wiederholt werden:

- Kalkulationszins: 5 %/a
- Energiepreissteigerung: 6 %/a
- Anlagenteuerung: 2 %/a
- Betrachtungszeitraum: 15 a
- Lebensdauer der Investition: 15 a, bei Pumpen 10 a
- Energiekosten ohne MWSt: 0,05 €/kWh thermisch und 0,15 €/kWh elektrisch

Es wurden insgesamt knapp 42.000 € investiert– vergleiche Abschnitt 8.3.1. Daraus ergeben sich für alle Gebäude zusammen jährliche Kapitalkosten von insgesamt knapp 4200 €/a. Zusätzlich zu diesen bedingen die in mehreren Gebäuden nachträglich installierten Schmutzfilter zusätzliche jährliche Wartungskosten von knapp 200 €/a (ebenfalls für alle Gebäude zusammen).

Die jährlichen Zusatzkosten für die 31 optimierten Gebäude erfordern, dass insgesamt eine Energiemenge von **entweder knapp 58.000 kWh/a thermische Energie oder 19.000 kWh/a elektrische Hilfsenergie gespart werden muss**, damit das Projekt wirtschaftlich ist.

Die erreichte Energieeinsparung von 30 der 31 optimierten Gebäude beträgt etwas mehr als **106.000 kWh/a thermische Energie und knapp 3700 kWh/a elektrische Hilfsenergie**. Das entspricht zusammen einer äquivalenten Energieeinsparung (Umrechnungsfaktor 3 für Strom und 1 für Wärmeenergien) von **117.200 kWh/a**. Ein Gebäude ist nicht auswertbar.

Das Projektziel – Nachweis der Gesamtwirtschaftlichkeit – wird bei weitem erreicht.

11.1.3 Wirtschaftlichkeit von Gebäudegruppen

Die Gegenüberstellung der notwendigen Energieeinsparung und der erreichten Energieeinsparung für verschiedene Gruppen von Gebäuden zeigen Tabelle 74 und Bild 208. Die flächenbezogenen Kennwerte sind durch gewichtete Mittelwertbildung gebildet, d.h. Summe der absoluten Energieeinsparung bezogen auf die Summe der gesamten betreffenden Fläche.

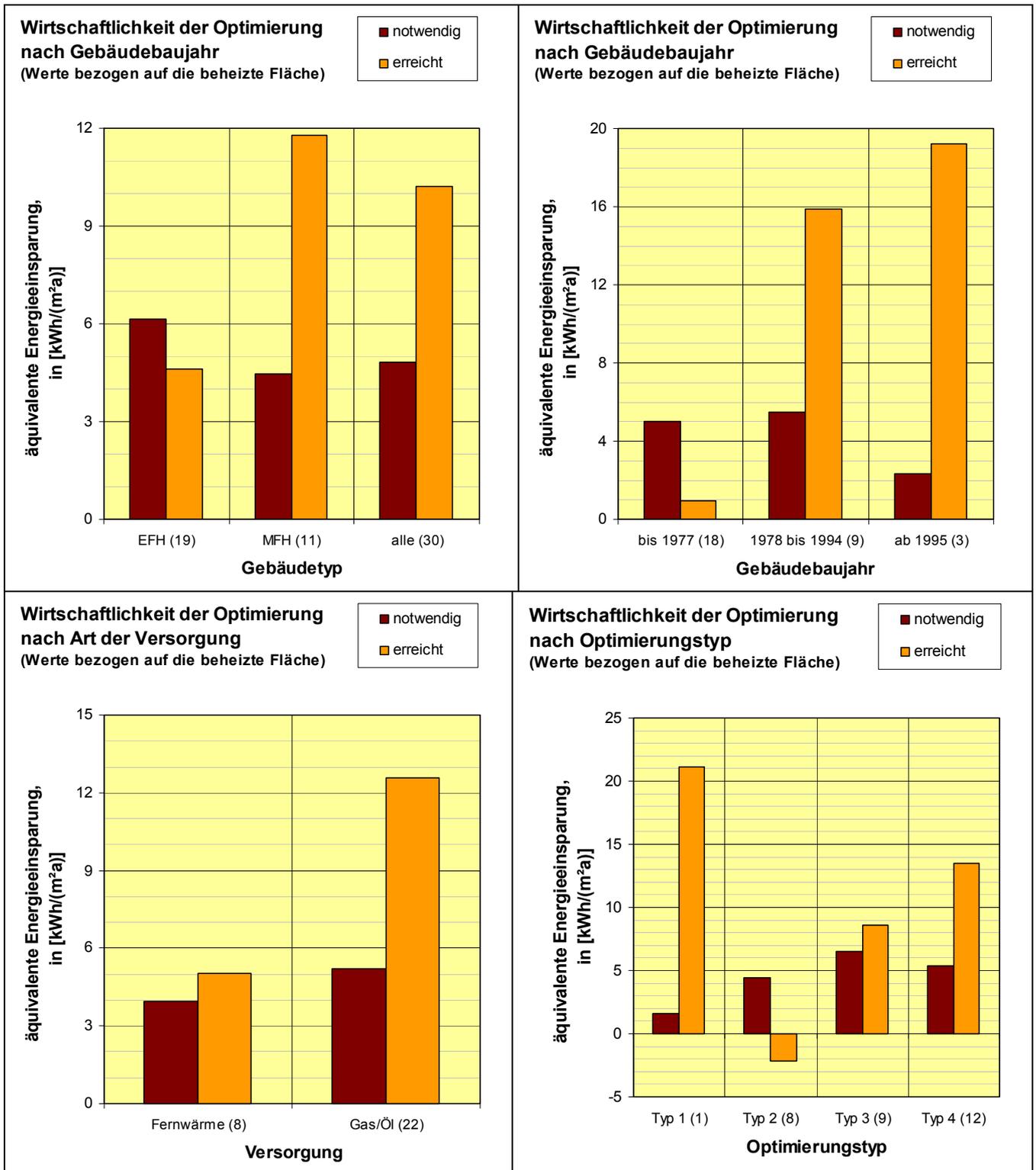


Bild 208 Wirtschaftlichkeit der Optimierung nach verschiedenen Merkmalen

Die Wirtschaftlichkeit wird bei Gebäuden der ältesten Baualtersklasse – weder bei EFH noch bei MFH – erreicht. Hier sind die Investitionen recht hoch und die Energieeinsparungen sehr niedrig. Die Gebäude mit Baujahren nach 1978 erreichen im Mittel die Wirtschaftlichkeit. In fernwärmever sorgten Gebäuden kann – unabhängig von der Altersklasse – eine Wirtschaftlichkeit gerade erreicht werden.

Kriterium 1	Kriterium 2	notwendige Einsparung an äquivalenter Endenergie, in [kWh/(m²a)]	erreichte Einsparung an äquivalenter Endenergie, in [kWh/(m²a)]	Zahl
alle		4,8	10,2	30
alle	bis 1977	5,0	1,0	18
	1978 bis 1994	5,5	15,9	9
	ab 1995	2,3	19,2	3
EFH	bis 1977	6,6	1,9	13
	ab 1978	5,5	8,4	6
	alle	6,2	4,6	19
MFH	bis 1977	4,3	0,5	5
	ab 1995	4,6	18,2	6
	alle	4,5	11,8	11
Mit Fernwärme	alle	4,0	5,0	8
Mit Gas/Ölkessel	alle	5,2	12,6	22
Optimierungstyp 1	alle	1,6	21,1	1
Optimierungstyp 2	alle	4,4	-2,1	8
Optimierungstyp 3	alle	6,6	8,6	9
Optimierungstyp 4	alle	5,4	13,5	12

Tabelle 74 Wirtschaftlichkeit der Optimierung

11.1.4 Betrachtung von Einzelobjekten

Für alle 31 optimierten Gebäude stellt Bild 209 die zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit notwendige Energieeinsparung und die tatsächlich erreichte Energieeinsparung gegenüber. Basis ist die äquivalente Energie, d.h. elektrische Energien sind mit dem Faktor 3,0 (Preisverhältnis) auf thermische Energien umgerechnet.

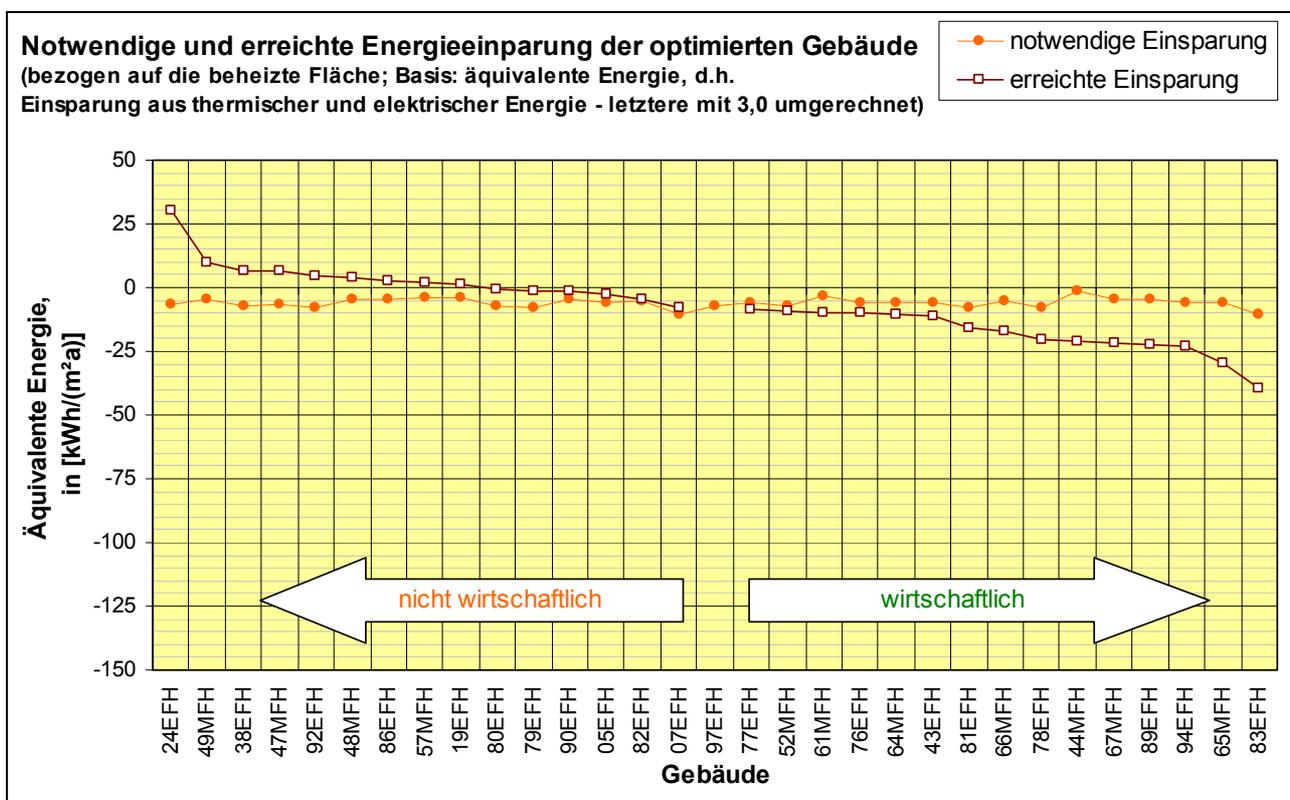


Bild 209 Wirtschaftlichkeit von Einzelobjekten (nach äquivalenter Energie)

Die Optimierung ist in 15 Gebäuden nicht wirtschaftlich - 9 dieser Gebäude sparen keine Energie, 6 Gebäude sparen nicht genug Energie. In diesen nicht wirtschaftlichen Gebäuden sollte eine Einsparung von zusammen 20.600 kWh/a erreicht werden. Tatsächlich konnten aber nur 17.500 kWh/a gespart werden. Bei den aktuell vorliegenden Energiepreisen (Juli 2005) und den mittleren

Energiepreissteigerungsraten der letzten 5 Jahre wäre auch in diesen Gebäuden eine Wirtschaftlichkeit gegeben. In 15 Gebäuden ist die Optimierung wirtschaftlich. Hier sollten zusammen 36.200 kWh/a gespart werden. Erreicht wurden 134.600 kWh/a. Ein Gebäude ist nicht auswertbar. In den neuen Gebäuden bzw. auf einen guten Standard modernisierten Gebäuden ist im Mittel von einer Wirtschaftlichkeit auszugehen.

11.2 Wirtschaftlichkeit der Schulungen

Neben der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der eigentlichen Optimierungsmaßnahmen können auch Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Handwerker- und Nutzerschulungen getroffen werden.

11.2.1 Handwerkerschulungen

Die Planung und Ausführung einer anlagentechnischen Optimierung erfordert i.d.R. eine Schulung der beteiligten Fachkräfte, vor allem im Umgang mit entsprechender Software (vgl. auch Abschnitt 7.3.3) sowie für die Gebäude- und Anlagenaufnahme (vgl. Abschnitt 6.1.3).

Für den Wohnungsbau kann im Bereich der EFH sowie kleinerer und mittlerer MFH (bis ca. 8 Wohneinheiten) Planung und Ausführung durch ein Handwerksunternehmen erfolgen, im Nichtwohnbau – der hier nicht weiter vertieft wird – und in größeren MFH sollten Heizungsplaner eingesetzt werden. Die anfallenden Kosten sowie weitere Randbedingungen sind aus Praxisprojekten abgeschätzt und in Tabelle 75 bzw. Bild 210 zusammengestellt.

Randdaten	alle Kosten ohne MWSt.	Randdaten	alle Kosten ohne MWSt.
Referent mit Vorbereitung und Reise	32 h/Termin	Teilnehmer	2 ... 10 Unternehmen à 2 Personen
Stundensatz Referent	50 €/h	Stundensatz Unternehmen	38 €/h
Raum für Vortrag	600 €/Termin	Zeitdauer des Seminars	16 h/Termin
Unterlagen, Einladung	10 €/Person		

Tabelle 75 Randdaten für Handwerkerschulung

Bei einer typischen Teilnehmerzahl von 10 ... 20 Personen pro Schulung und anschließend durchgeführten 20 Optimierungen durch das Unternehmen liegt der Preis je Optimierung bei etwa 80 €/Gebäude. Diese Summe umfasst die Kosten der Schulung (ca. 20 ... 25 %) und darüber hinaus die entgangenen Gewinne, die dem Handwerksunternehmen dadurch entstehen, dass Mitarbeiter während der Zeit der Schulung nicht produktiv tätig sein konnten.

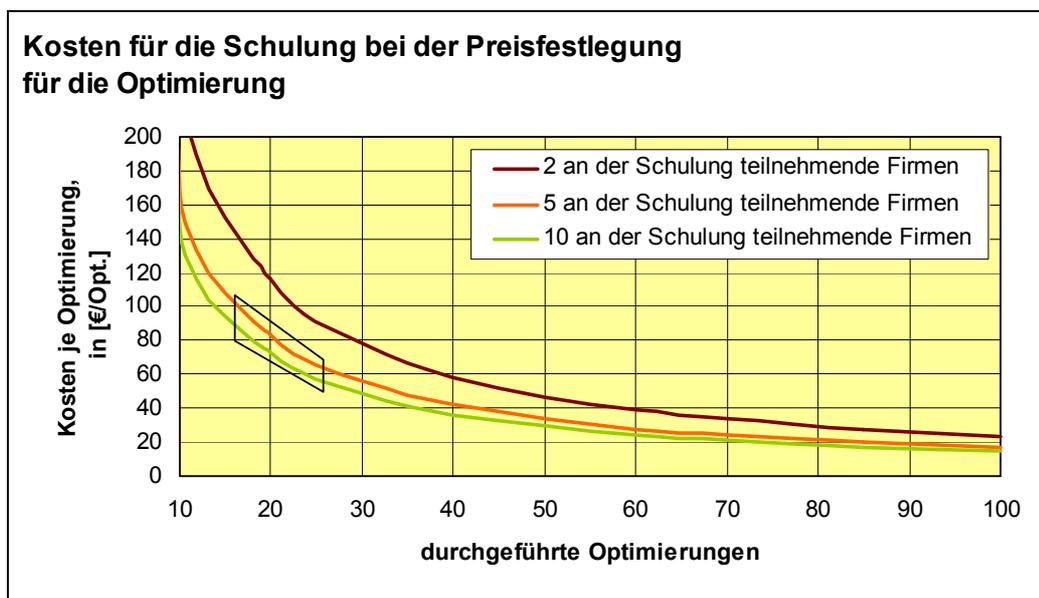


Bild 210 Schulungskosten für das Handwerksunternehmen

Gewinne aus umgesetzten Optimierungen, welche die Grenze übersteigen, machen die Optimierung für das Unternehmen wirtschaftlich. Es ist also in jedem Fall bei der Umsetzung der Qualitätssicherung und Anlagenoptimierung von einem betriebswirtschaftlichen Gewinn für die Unternehmen auszugehen. Daneben zählt sicher auch die Aneignung von Wissen zum – nicht in Zahlen quantifizierbaren – Gewinn.

11.2.2 Nutzerschulungen

Eine Anlagenoptimierung bzw. der Umgang des Nutzers mit einer optimierten, d.h. eingeregelter Anlage setzt ein vernünftiges Nutzerverhalten voraus. Dies erfordert eine regelmäßige Nutzeraufklärung, vor allem im Mehrfamilienhaus.

Die etwa alle zwei Jahre zu wiederholende Nutzerschulung dient der Aufklärung des Nutzers über sein Energieverhaltensverhalten – inklusive der Bereiche Wasser- und Elektroenergieeinsparung. Im optimalen Fall nehmen 25 ... 30 Personen an einer Schulung teil. Aufgrund eigener Erfahrungen mit Qualitätssicherungsprogrammen wird davon ausgegangen, dass aber nur etwa ein Drittel der Bewohner durch eine Schulung erreichbar ist.

Randdaten	alle Kosten ohne MWSt.	Randdaten	alle Kosten ohne MWSt.
Referent mit Vorbereitung und Reise	6 h/Termin	mittlere Personenbelegung	40 m ² /Person
Stundensatz Referent	50 €/h	Unterlagen, Einladung	7 €/Person
Raum für Vortrag	300 €/Termin	Betrachtungszeitraum und Nutzungszeit (Abschreibungszeit)	$n = m = 2 \text{ a}$
Teilnehmer	10 ... 40 Personen	Annuität	$a_{p,n} \approx 0,5 \text{ a}^{-1}$

Tabelle 76 Randdaten für Nutzerschulung

Es ergeben sich die in Tabelle 76 zusammengestellten Randbedingungen für die Bewertung. Ein realistischer Preis für eine Nutzerschulung beträgt demnach – siehe auch Bild 211 – bezogen auf die Fläche 0,15 €/m².

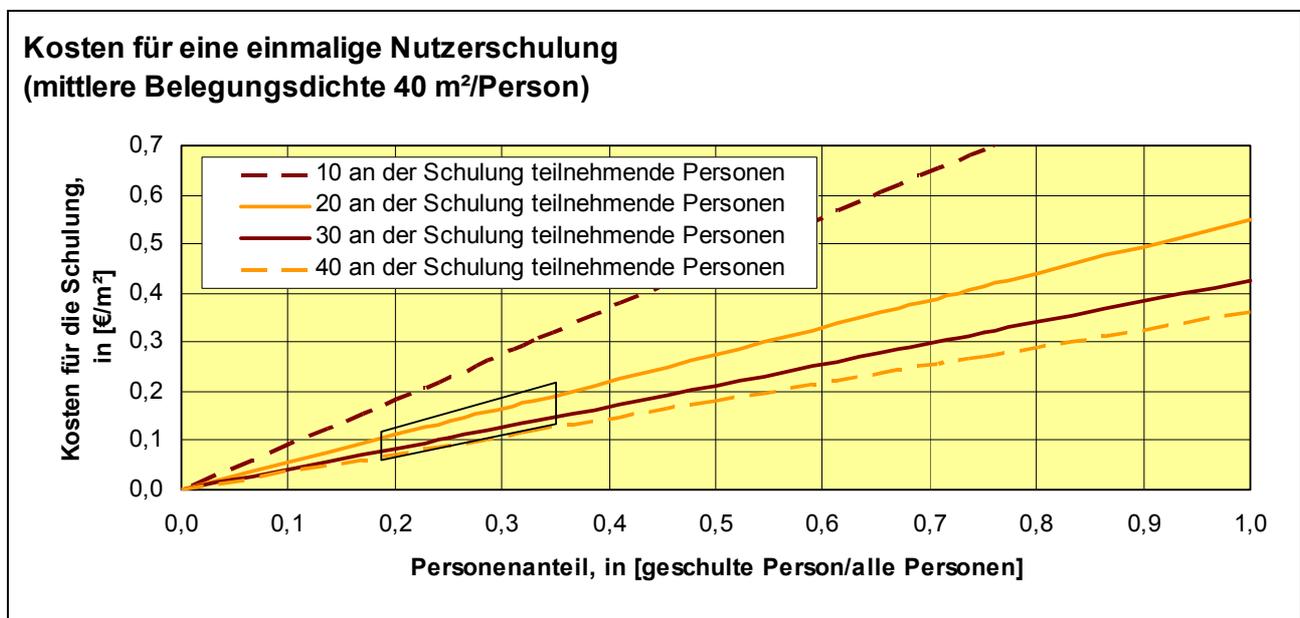


Bild 211 Kosten für die Nutzerschulung (ohne MWSt.)

Mit der Annuität von $0,5 \text{ a}^{-1}$ und dem Energiepreis von $0,05 \text{ €/kWh}$ ergibt sich eine notwendige mittlere Einsparung für thermische Energien von $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zum Erreichen der Wirtschaftlichkeitsgrenze. Alternativ ist die Verminderung des elektrischem Energieverbrauchs um etwa $0,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ denkbar. Jede Einsparung darüber hinaus sowie alle Einsparungen ab dem dritten Jahr nach der Nutzerschulung erhöhen die Wirtschaftlichkeit.

Bei typischen Endenergieverbräuchen für Heizwärme und Trinkwarmwasser von 70 kWh/(m²·a) (NEH) bis 200 kWh/(m²·a) (Bestand) sowie Stromverbräuchen von 25 kWh/(m²·a) erscheint die Nutzerschulung als wirtschaftlich sehr sinnvoll. Im Dreiliterhaus oder Passivhaus dürfte die wirtschaftliche Grenze erreicht sein, wobei bei dieser Nutzerstruktur i.A. auch nicht von einer Energieverschwendung auszugehen ist. Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass Nutzerschulungen den – ökologisch und/oder ökonomisch bedingten – Willen des Nutzers zur Einsparung erfordern.

Wirtschaftlichkeit bei unterschiedlichen Kostenträgern

Trägt der Mieter die Kosten für die Schulung von ca. 20 ... 30 €/Person selbst, ergibt sich die Wirtschaftlichkeit wie oben beschrieben. Kostenträger und Empfänger des geldwerten Vorteils ist der Nutzer. Die Motivation der Mieter, unter dieser Voraussetzung an einer Schulung teilzunehmen, wird bei dieser Lösung als vergleichsweise gering angesehen.

Übernimmt der Vermieter die Kosten und legt sie bei der nächsten Kaltmieterhöhung um, ist zu oben benannten Preisen eine Mietpreissteigerung von unter 1 Cent je Quadratmeter und Monat zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit notwendig. Die Energieeinsparung verbucht der Mieter zudem positiv. Über eine Erhöhung der Vermietbarkeit soll in diesem Zusammenhang nicht spekuliert werden, da die effektiven Geldbeträge zu gering sind.

11.3 Potentiale im Neubau und Bestand

Ausgehend von den Erkenntnissen über die Energieeinsparung und die Kosten der Optimierung von Heizungsanlagen wird nachfolgend abgeleitet, für welche Bestandsgebäude eine wirtschaftliche Optimierung machbar ist. Ausgehend vom Wohngebäudebestand in Deutschland werden Hochrechnungen hinsichtlich der insgesamt zur Bestandsoptimierung notwendigen Investitionskosten durchgeführt.

Es gelten die in Abschnitt 8.3.2 genannten Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung und Kostenfunktionen.

Obwohl die eigentliche OPTIMUS-Projektaufgabe die Optimierung von Bestandsanlagen zum Thema hatte, werden nachfolgend auch Hinweise zur Wirtschaftlichkeit einer von vornherein qualitätsgesicherten Anlagenerstellung im Neubau gegeben. Schließlich ist jeder Neubau nach seiner Erstellung ein Bestandsgebäude – und für Jahre nicht genutzte Energieeinsparpotentiale sind ökologisch und ökonomisch zu vermeiden.

11.3.1 Wirtschaftlichkeit im Bestand und Neubau

Die Wirtschaftlichkeit wird bei Gebäuden der ältesten Baualtersklasse nicht erreicht. Hier sind die Investitionen recht hoch und die Energieeinsparungen sehr niedrig. In fernwärmeversorgten Gebäuden kann eine Wirtschaftlichkeit gerade erreicht werden, in Gebäuden mit Kessel ist die erreichte Einsparung deutlich größer als die notwendige Einsparung.

Empfehlungen für den Bestand aufgrund der Projektergebnisse

1. Gebäude der Baujahre ab 1978 können uneingeschränkt optimiert werden, auch nachträglich mit Investition in Komponenten.
2. Aus der Gruppe der Gebäude mit Baujahren vor 1977 sollten vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, weil hier die größeren Einsparungen zu erwarten sind. In dieser Gebäudegruppe sollte die Optimierung erfolgen, wenn ohnehin Investitionen in die Anlage und vor allem nach einer Modernisierung der Gebäudehülle notwendig sind oder wenn bereits einstellbare Komponenten vorhanden sind.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen aus Sicht der Mieter und der Vermieter

Der Vermieter des Gebäudes trägt zunächst die Kosten für die anlagentechnische Optimierung, der Nutzer profitiert in erster Linie durch verminderte Energiekosten.

Kosten für Anlagensanierungen, welche die energetische Qualität verbessern, kann der Eigentümer i.d.R. zu 100 % auf die Mieter in Form erhöhter Kaltmieten umgelegen. In diesem Fall ist die Maßnahme für den Eigentümer auf jeden Fall wirtschaftlich neutral. Die Kosten übernimmt indirekt der Mieter. Für ihn ergibt sich eine Wirtschaftlichkeit erst bei einer Energieeinsparung über das in Bild 212 (siehe auch Abschnitt 8.3.2) genannte Maß hinaus. Eine gleichzeitige Nutzerschulung ist in diesem Fall angebracht.

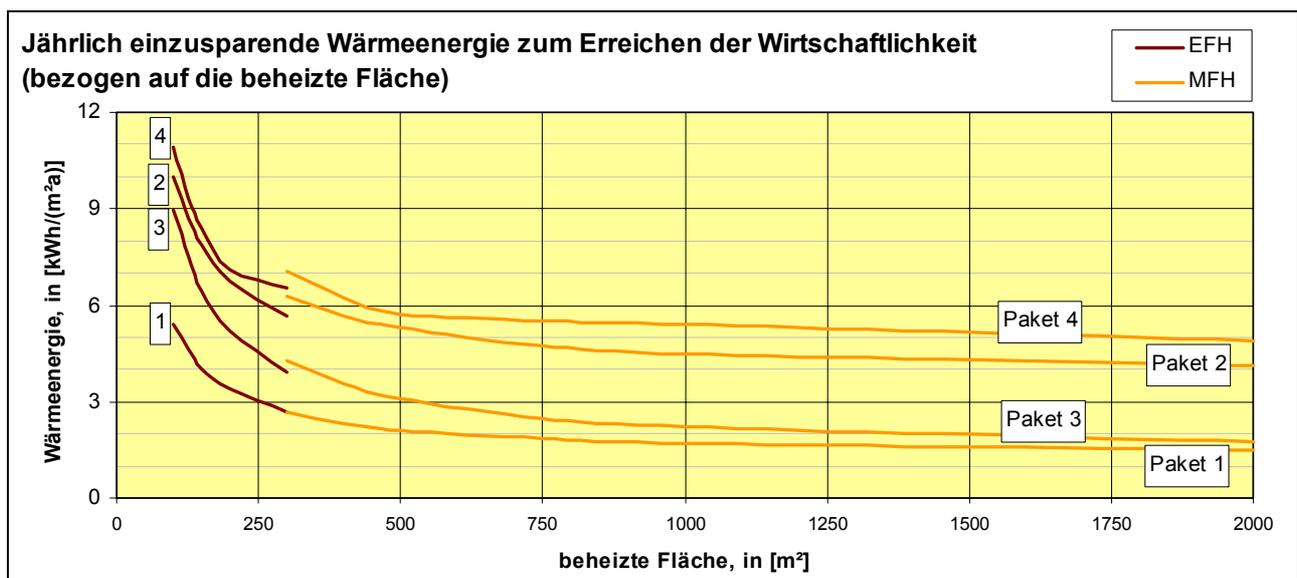


Bild 212 Jährlich einzusparende Wärmeenergie zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit

Legt der Vermieter die Investitionskosten nicht um, sondern wirbt mit geringen Energiekosten für seine Gebäude, muss er zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit die Vermietbarkeit steigern bzw. einen vorhandenen Leerstand vermindern. Bei einem angenommenen typischen monatlichen Kaltmietpreis von 5 €/m² und etwa gleich hohen, einmaligen Kosten für die Optimierung ergibt sich eine notwendige Steigerung der vermieteten Fläche um etwa 2 Prozent über einen Zeitraum von 5 Jahren oder etwa 1 Prozent über einen Zeitraum von 10 Jahren. Dies erscheint angesichts des Kostendruckes auf die potentiellen Mieter erreichbar. Für den Mieter ist die Investition dann auf jeden Fall wirtschaftlich, weil er Energiekosten spart.

Kosten und Wirtschaftlichkeit im Neubau

Im Neubau ergeben sich die im Folgenden beschriebene Mehr- und Minderkosten einer Qualitätssicherung der Anlagentechnik gegenüber der heute typischen Planung und Ausführung.

Analog der Abschätzung der Optimierungskosten für den Bestand können Kosten für Planungs- und Umsetzungsleistungen im Neubau abgeschätzt werden. Die benötigte Arbeitszeit für die einzelnen Arbeitsschritte entspricht den Randdaten der Optimierung von Bestandsanlagen. Die im Neubau nicht notwendige, zeitintensive Aufnahme vor Ort kann in einem ersten Ansatz durch eine genauere Berechnung des Rohrnetzes ausgeglichen werden.

Es ergeben sich somit Kosten für die Heizlastberechnung, die Rohrnetzberechnung, Heizflächen-, THKV- und Wärmeerzeugerauswahl, Einstellung von THKV, Pumpen und ggf. Differenzdruckreglern sowie zentralen Reglern und eine nachvollziehbare Dokumentation. Für die genannten Positionen kann mit Investitionskosten von etwa 1,5 €/m² im MFH und 2,0 €/m² im EFH gerechnet werden. Voraussetzung ist die Anwendung von Softwareprogrammen zur Berechnung.

Eine qualitätsgesicherte Planung (Leistungsbemessung) führt zu verminderten, angepassten Erzeugerleistungen. Dies vermindert vor allem im MFH die Investitionskosten und Leistungspreise, v. a. für Fernwärmeanschluss im Betrieb. Als Ergebnis des OPTIMUS-Projektes wird das Thema "Anschlussleistungspreis" (speziell für Fernwärme) mit möglichen, weitreichenden Folgen für die zukünftige Preisgestaltung im Raum Braunschweig diskutiert. Es ist mit einer bundesweiten Ausdehnung dieser Diskussion zu rechnen!

Der Einbau von Kesseln ohne Anforderung an einen Mindestvolumenstrom im EFH ist dagegen mit Mehrkosten verbunden, wobei es diese Geräte am Markt gibt. Die Einstellung der zentralen Regelung nach den Planungsvorgaben sowie Kosten für die Planung sind in dem oben angegebenen Summenpreis enthalten.

Eine hydraulische Planung vermindert die Investitionskosten für Pumpen. Bei Kompaktgeräten für das EFH hat der Planer i.d.R. keinen Einfluss auf die Leistung der integrierten Pumpe. Geräte, die eine beliebige externe Pumpe zulassen, sind derzeit noch teurer als Normalgeräte. Gleiches gilt für Hocheffizienzpumpen. Die Kosten für die korrekte Planung und Einstellung sind im oben angegebenen Summenpreis enthalten. Muss ein Differenzdruckregler eingebaut werden, erhöht sich die Investition um etwa 0,5 ... 1 €/m².

Bei der Bemessung von Heizflächen können Investitionskosten gespart werden, wenn die Spreizung entsprechend groß und damit die Heizflächen klein gewählt werden. Hier stehen die Planungskosten den Investitionskosten gegenüber. Die Planungskosten sind im oben angegebenen Preis enthalten. Für den Einsatz von THKV mit kleineren Durchlasswerten und Möglichkeiten einer Voreinstellung fallen gegenüber heutiger Praxis keine Investitionsmehrkosten an. Die Hersteller bieten alle Modelle zu etwa gleichen Kosten an. Für Ventilheizkörper sind allerdings kleinere und voreinstellbare THKV ab Werk zu fordern. Die Kosten für die Planung und Umsetzung eines hydraulischen Abgleichs sind im oben angegebenen Preis enthalten.

Das Verteilnetz stellt eine besondere Anforderung an die Planung und Ausführung. Die Kosten für die Planung einer optimierten Anordnung der Heizflächen und Warmwasserentnahmestellen können an dieser Stelle nicht geschätzt werden. Für den Einsatz stärkerer Leitungsdämmung sind u. U. zusätzliche Fußbodenaufbauten erforderlich, deren bauliche Mehrkosten je Gebäude unterschiedlich sind. Die ordnungsgemäße Umsetzung von Dämmungen vor Ort erfordert ggf. eine Qualifizierung des Baupersonals.

Für die Planung und Ausführung einer qualitativ hochwertigen Anlagentechnik, incl. Qualifizierung des Personals und der oben genannten Summe für die immateriellen Merkmale werden etwa 5 ... 8 €/m² als realistisch angesehen. Dies entspricht bei heutigen Baupreisen (1200 €/m²) etwa 0,7 % der Investitionssumme. Die Grenzwirtschaftlichkeit erfordert bei einer 15-jährigen Betrachtung eine mittlere jährliche Energieeinsparung von 10 ... 15 kWh/(m²·a), die aus den Projektergebnissen als realistisch angesehen wird und durch frühere Untersuchungen bestätigt wird.

Dieses Einsparziel ist realistisch, da insbesondere in neuen Gebäuden hohe Energieeinsparungen erreicht werden konnten.

Empfehlungen für den Neubau aufgrund der Projektergebnisse

Die Optimierung der Heizungsanlage im Neubau und bei der Modernisierung sollte unbedingt durchgeführt werden, da der Aufwand der Datenerhebung nie wieder so gering ist und die erreichbaren Energieeinsparungen verhältnismäßig hoch.

11.3.2 Hochrechnungen

Ausgehend von den Kosten für die Optimierung wird für den Gebäudebestand in Deutschland eine Hochrechnung durchgeführt. Folgende Randdaten werden der Kostenabschätzung zugrundegelegt:

- Flächen in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Anteil der mit zentralen Heizsystemen ausgestatteten Gebäude nach Abschnitt 9.4.
- Es wird auf Basis der OPTIMUS-Projektergebnisse davon ausgegangen, dass in etwa 20 % der Mehrfamilienhäuser eine neue Pumpe oder ein neuer Differenzdruckregler installiert werden muss, um die optimalen Betriebsbedingungen zu erreichen. Für die EFH wird dieser Anteil auf 70 % geschätzt.
- Es wird auf Basis der OPTIMUS-Projektergebnisse davon ausgegangen, dass in etwa 70 % der Mehrfamilienhäuser neue Thermostatventile installiert werden müssen, weil die vorhandenen nicht einstellbar sind oder der Typ (die Einstellparameter) sich nicht nachträglich ermitteln lässt. Für die EFH wird dieser Anteil auf 80 % geschätzt.

Aus den genannten Randbedingungen ergeben sich die in Tabelle 77 abgeschätzten Teilflächen. Tabelle 78 zeigt den sich ergebenden Investitionsbedarf. Kostengrundlage sind die Kostenfunktionen nach Abschnitt 8.3.2 für ein MFH mit 450 m² beheizter Fläche und ein EFH mit 130 m² beheizter Fläche.

Gesamt-wohnfläche	Anteile Gebäudeart	Erzeugeranteile	Anteile Pumpe/DDR	Anteile Thermostatventil	Teilflächen, in [m ²]
3.200.000.000 m ²	MFH 43 %	Gas/Öl/ Fernwärme 91 %	nur einstellen 80 %	nur einstellen 30 %	300.518.400
				austauschen 70 %	701.209.600
			austauschen/ zusätzlich einbauen 20 %	nur einstellen 30 %	75.129.600
				austauschen 70 %	175.302.400
	EFH 57 %	Gas/Öl/ Fernwärme 91 %	nur einstellen 30 %	nur einstellen 20 %	99.590.400
				austauschen 80 %	398.361.600
			austauschen/ zusätzlich einbauen 70 %	nur einstellen 20 %	232.377.600
				austauschen 80 %	929.510.400
	Sonstige 9 %				

Tabelle 77 Ermittlung der Wohnflächen mit unterschiedlichem Investitionsbedarf

Gebäudeart	Pumpe/DDR	Thermostatventile	Optimierungstyp	Fläche, in [m ²]	bezogene Kosten nach OPTIMUS-Ansatz, in [€/m ²]	Gesamtkosten	
						in [€]	in [MRD. €]
MFH	nur einstellen	nur einstellen	1	300.518.400	1,33	400.691.200	
		austauschen	2	701.209.600	2,22	1.558.243.556	
	austauschen/ zusätzlich einbauen	nur einstellen	3	75.129.600	3,78	283.822.933	
		austauschen	4	175.302.400	4,22	740.165.689	
EFH	nur einstellen	nur einstellen	1	99.590.400	1,77	176.198.400	
		austauschen	2	398.361.600	4,00	1.593.446.400	
	austauschen/ zusätzlich einbauen	nur einstellen	3	232.377.600	4,38	1.018.886.400	
		austauschen	4	929.510.400	5,54	5.148.057.600	
Summe / Mittelwerte						10.919.512.178	10,9

Tabelle 78 Abgeschätzter Investitionsbedarf für die Optimierung in Deutschland

Der geschätzte Investitionsbedarf beträgt im Durchschnitt 3,75 €/m² beheizter Fläche oder 133 €/Person.

Gesamtwirtschaftlichkeit

Auf Basis der hochgerechneten Energieeinsparungen und dem ermittelten Investitionsbedarf wird nachfolgend abgeschätzt, ab welcher Energiepreissteigerung die Optimierung des gesamten deutschen Gebäudebestandes wirtschaftlich ist. Es werden die bereits in Abschnitt 9.4 betrachteten vier Szenarien für die Primärenergieeinsparung berücksichtigt: die Optimierung wird sofort in allen Gebäuden durchgeführt oder erst zusammen mit einer baulichen Verbesserung (jeweils Hochrechnung anhand der Kennwerte nach Baualtersklassen oder Verbrauch).

Tabelle 79: Es wird die Energiepreissteigerung gesucht, bei der die Investition genau innerhalb des Betrachtungszeitraums von 15 Jahren wirtschaftlich ist.

Aus dem Investitionsbedarf von 3,75 €/m² ergeben sich mit der Annuität ($a_{p,n} = 0,096 \text{ a}^{-1}$ bei 15 Jahren Betrachtung und einem Kapitalzins von 5 %/a) in jedem Fall Kapitalkosten von 0,36 €/m²a). Bei drei von vier möglichen Einsparscenarien ist bereits zu heutigen Preisen ohne Preissteigerung innerhalb der nächsten 15 Jahre eine Wirtschaftlichkeit gegeben. Im vierten Szenario führt eine Energiepreissteigerung von 7 %/a zur Wirtschaftlichkeit.

Szenario		Hochrechnung aufgrund der Kennwerte für ...	zu deckende Kapitalkosten über 15 Jahre, in [€/m ² a]	Flächenbezogenes Einsparpotential, in [kWh/(m ² a)]	notwendiger mittlerer Energiepreis der nächsten 15 Jahre, in [€/kWh]	notwendige Energiepreisverteuerung, in [%/a]
Fall 1	Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung	Bualter	0,36	-4,3	0,084	+7,0
Fall 2		Verbrauch	0,36	-9,0	0,040	-3,2
Fall 3	Kombinierte Anlagen- und Bauoptimierung	Bualter	0,36	-12,2	0,030	-7,9
Fall 4		Verbrauch	0,36	-7,3	0,049	-0,1

Tabelle 79 Notwendige Energiepreisverteuerung innerhalb von 15 Jahren Betrachtungszeitraum

Tabelle 80: Es wird der Betrachtungszeitraum gesucht, bei dem die Investition genau wirtschaftlich ist, wenn die Energiepreissteigerung 6 %/a beträgt.

Aus dem Investitionsbedarf von 3,75 €/m² ergeben sich je nach Betrachtungszeitraum mit der Annuität die jährlichen Kapitalkosten (z.B. bei 10 a eine Annuität von 0,132 a⁻¹ und Kapitalkosten von 0,49 €/m²a). Mit der mittleren Energiepreissteigerung von 6 %/a ergibt sich eine mittlere Energieeinsparung, die genauso hoch ist wie die Kapitalkosten. Die notwendige Zeit, die zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit benötigt wird beträgt im besten Fall 6 Jahre und im schlechtesten 16 Jahre.

Szenario		Hochrechnung aufgrund der Kennwerte für ...	zu deckende Kapitalkosten im Betrachtungszeitraum, in [€/m ² a]	Flächenbezogenes Einsparpotential, in [kWh/(m ² a)]	notwendiger mittlerer Energiepreis der im Betrachtungszeitraum bei 6 %/a Energiepreisverteuerung, in [€/kWh]	Betrachtungszeitraum, in [a]
Fall 1	Ausschließlich Anlagentechnikoptimierung	Bualter	0,34	-4,3	0,080	16
Fall 2		Verbrauch	0,58	-9,0	0,065	8
Fall 3	Kombinierte Anlagen- und Bauoptimierung	Bualter	0,74	-12,2	0,061	6
Fall 4		Verbrauch	0,49	-7,3	0,068	10

Tabelle 80 Notwendiger Betrachtungszeitraum bei einer Energiepreisverteuerung von 6 %/a

Die Wirtschaftlichkeit ist somit aus heutiger Sicht erreichbar. Energiepreissteigerungen von maximal 7 %/a bzw. ein maximaler Zeitraum zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit von 16 a sind realistisch. Damit stellt sich die Optimierung des Gebäudebestands als wirtschaftliches Instrument dar und spart bei größeren Energiepreissteigerungen bzw. nach Erreichen des Endes des Betrachtungszeitraumes sogar Energiekosten ein.

11.4 Probleme und Empfehlungen für künftige Projekte

Als Erkenntnis des OPTIMUS-Projekts ergibt sich die unbedingte Empfehlung für Projekte mit ähnlichem Anspruch, einen Gesamtkostenansatz mit Berücksichtigung von Preissteigerungen zu verwenden. Nur so lassen sich Kapitalkosten und Energiekosteneinsparungen sinnvoll gegenüberstellen.

12 Empfehlungen zur Qualitätssicherung

Der nachfolgende Abschnitt gibt eine Zusammenfassung der Projekterkenntnisse hinsichtlich der Qualitätssicherung von Heizungsanlagen. Vor den Empfehlungen für künftige Optimierungen und Qualitätssicherungsprojekte wird jedoch noch ein zusammenfassender Überblick gegeben, wie es mit der Qualitätssicherung derzeit bestellt ist.

12.1 Status Quo der Qualitätssicherung

12.1.1 Gründe für fehlende Optimierung und Qualität

Die fehlende Umsetzung von Optimierung und Qualität von Heizungsanlagen in der Praxis hat vielfältige Ursachen. Zu verwandten Fragestellungen sind Fachaufsätze veröffentlicht worden. Auf Basis verschiedener Quellen und u.a. im OPTIMUS-Projekt gemachter, eigener Erfahrungen sind Erläuterungen zum Thema in [28] zusammengestellt. Nachfolgend wird eine Zusammenfassung gegeben, vgl. Übersicht in Bild 213.

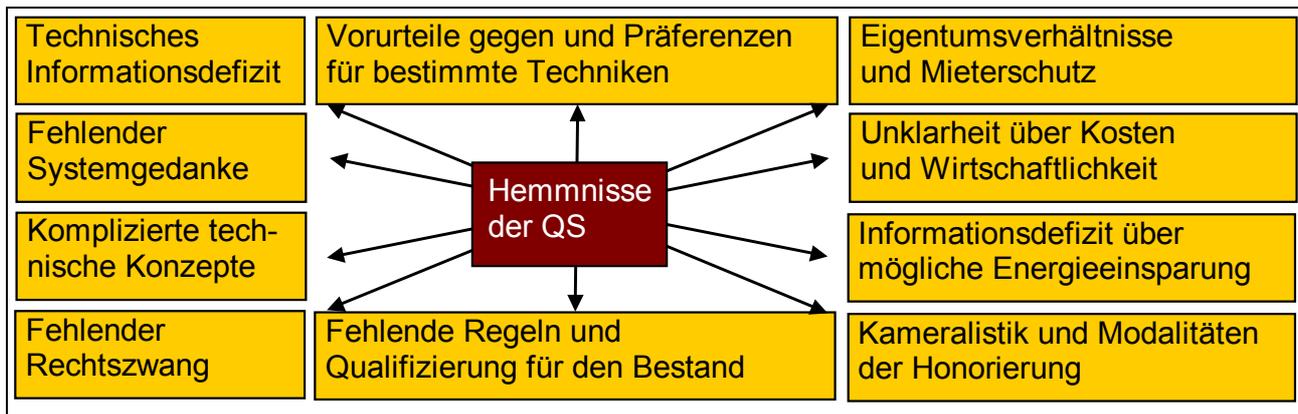


Bild 213 Hemmnisse der Qualitätssicherung

Technisches Informationsdefizit

Die mangelnde Information aller Beteiligten (Planer, Handwerk, Auftraggeber/Investor, Nutzer, Eigentümer) über Konsequenzen einer erfolgreichen oder unterlassenen Qualitätssicherung hemmt deren Umsetzung. Die Anlagentechnik funktioniert auch ohne Optimierung, wenn auch energetisch und wirtschaftlich suboptimal. Es besteht also für Planer und Ausführende kein (technischer) Zwang, sich mit hydraulischen Zusammenhängen zu befassen, wie es zu Zeiten der Schwerkraftheizung üblich und funktionsrelevant war. Die Optimierung von Heizungsanlagen wird heute als reine Mängelbekämpfung, nicht als Ursachenforschung, angesehen. Es wird geschätzt, dass bei mehr als 80 % der Anlagen die Hydraulik, die Druckhaltung und Entlüftung nicht korrekt funktionieren [47].

Die Meinung der Fachwelt über den hydraulischen Abgleich gibt LEUSCHNER kritisch wieder: der "hydraulische Abgleich wird von allen fachlichen Beteiligten in der Theorie gefordert und in der Praxis nach Möglichkeit umgangen" [41]. Diese Aussage beschreibt die Situation der Qualitätssicherung im Allgemeinen. Er stellt weiterhin fest, dass der hydraulische Abgleich unpopulär ist und dem Kunden als nicht sinnvoll, nicht notwendig und nicht bezahlbar erscheint [40].

Fehlender Systemgedanke

Eine Nebenerscheinung, aber aus Sicht der Autoren die Hauptursache des Staus Quo technischen Informationsdefizits ist die fehlende Systemplanung und -ausführung technischer Anlagen. Dies gilt gleichermaßen für das Zusammenspiel der technischen Komponenten in der Anlage als auch für die Abstimmung der Gewerke untereinander.

Es ergibt sich ein Informationsdefizit aus der Produktdarstellung der Hersteller. Es wird der Eindruck erweckt, allein neue Komponenten verhelfen dem Gebäude zu einem optimal abgestimmten Anlagensystem. Fachhandwerker sind mit der rasanten Produktentwicklung überfordert und handhaben die Umsetzung nach altbekannten Grundsätzen (da der "Handwerker nur macht, was er kennt"). Auch Planern fehlt fächerübergreifendes Wissen [15].

Die integrierte Planung mit Abstimmung der Gewerke untereinander hat sich zum großen Teil noch nicht durchsetzen können. Es ist festzustellen, dass die Um- und Nachrüstung praktisch gänzlich am Planer vorbeigeht [43].

Vorurteile gegen und Präferenzen für bestimmte Techniken

"Energieeinsparung hat in Deutschland kein Image" [15], dies trifft auch auf die Qualitätssicherung von Heizungsanlagen zu. Während die Investition in regenerative Energien zum Prestigeobjekt ausgebaut werden kann, bleibt die Qualitätssicherung für jeden Außenstehenden unsichtbar.

Schon konventionelle Einsparmaßnahmen wie erhöhter Wärmeschutz oder der Kesselaustausch – die selbst wenigstens eine Lobby unter den Fachhandwerkern besitzen – haben mit geringer Akzeptanz in Nutzerkreisen zu kämpfen. Für die Optimierung sieht die Lage ungleich schlechter aus. Vorurteile und Unsicherheiten gegenüber energieeinsparenden Maßnahmen sind viele Jahre nach der Einführung in den Markt noch immer aktuell.

Fehlende technische Regeln und Qualifizierung für den Bestand

Energieeinsparung durch Qualitätssicherung und Optimierung ist ein Markt für Anlagen im Bestand. Die Gebäude aus den Nachkriegsjahren sind vielfach bereits baulich modernisiert oder eine Sanierung steht bevor. Hier könnte flächendeckend eine Optimierung der Anlagentechnik vorgenommen werden. ARENDT [44] bemerkt noch 1990 sehr treffend, dass es im Normenwerk und in der Lehre prinzipiell keinen "Altbau" gibt. Normen gehen von Neubau aus. Bildung im Bereich der Bestandsaufnahme fehlt in Deutschland. Die Lehre hängt 10 ... 20 Jahre hinter der praktischen Erkenntnis her [44].

Es gibt nur wenige praktikable Quellen, die sich mit der umfassenden Optimierung von Anlagensystemen im Bestand befassen. Ansätze aus der Fachliteratur kapitulieren oft vor dem Problem, nicht zuletzt wegen fehlender Gebäudedaten. So verwundert auch die Aussage nicht, dass Architekten, Ingenieure und Handwerker es nicht gewohnt sind, sich zunächst mit der Substanz des Bestehenden zu beschäftigen, um anschließend über angemessene Maßnahmen zu entscheiden [20].

Informationsdefizit über Energieeinsparungen, Kosten und Wirtschaftlichkeit

Über die Auswirkungen fehlender bzw. den Erfolg durchgeführter Qualitätssicherung der Anlagentechnik liegen nur wenige belastbare Studien vor. Vorhandene Untersuchungen behandeln vielfach nur die bauliche Optimierung und resultierende Energieeinsparungen. Derzeit muss von einem Informationsdefizit aller Beteiligten über mögliche Ersparnisse durch Anlagenoptimierung ausgegangen werden. Da Energieeinsparung neben den Gesichtspunkten des Klimaschutzes, der für den Einzelnen oft nicht greifbar ist, vor allem wirtschaftliche Bedeutung hat, ist das Wissen über die eingesparten Energiekosten sowie die notwendigen Investitionskosten bedeutsam. In der Regel kennen Gebäudenutzer jedoch nicht einmal den eigenen Energieverbrauch.

In Fachkreisen werden vor allem die zu geringen Energiepreise als Bremse von Einsparmaßnahmen angesehen. Die externen Folgekosten der verbrauchsabhängigen Emissionen tragen zudem indirekt alle Bürger [15]. Ein weiteres Hemmnis ist das Absatzdenken der Energieversorger. Diese stehen einer Energieeinsparung i.d.R. nur dann positiv gegenüber, wenn sie ihr Marktfeld im gleichen Maße auf andere Bereiche ausdehnen können. Für sie wird die Qualitätssicherung evtl. interessant, wenn sie die Energieversorgung als Dienstleistung zur Bewirtschaftung von Flächen und nicht zur Abrechnung von verbrauchten Kilowattstunden verkaufen können.

Die Planungskosten sind derzeit nicht oder nur schwerlich abschätzbar. Die Planungsleistungen einer Modernisierung entsprechen in der Abfolge etwa denen eines Neubaus, sind aber sehr viel aufwendiger. Die HOAI wird dem extrem hohen Aufwand für die problemgerechte Ermittlung der Planungsgrundlagen auch mit dem Umbauszuschlag für Sanierungen nicht gerecht.

Hinzu kommt, dass beispielsweise die Durchführung des hydraulischen Abgleichs bisher als Nebenleistung aufgeführt wurde und auch mit der Neuausgabe der VOB/C ATV noch immer nicht klar geregelt ist, wer die Berechnung durchzuführen hat. Der Ausführende hat die Pflicht der Überprüfung der Planungsvorgaben.

Komplizierte technische Konzepte

Komplizierte technische Konzepte vermindern die Akzeptanz von Energiespartechniken in Fachkreisen und in der Bevölkerung. Weil die Optimierung und Qualitätssicherung – vor allem im Bestand – von Fachunternehmen als schwierig angesehen wird, wird sie oft unterlassen. Dabei ist eine korrekt geplante Hydraulik und Regelung die Grundlage für alle einfachen und komplizierten technischen Konzepte.

Eigentumsverhältnisse und Mieterschutz

Eingriffe in bestehende Gebäude, die sich im Besitz von Eigentümergemeinschaften befinden, unterliegen erschwerten Bedingungen. Hier müssen – auch bei Optimierungsmaßnahmen – Mehrheitsentscheidungen getroffen werden, bevor Investitionen getätigt werden. Das Vermieter-Mieter-Problem mit den Kosten und dem Nutzen der Energieeinsparung ist bei der anlagentechnischen Optimierung ebenso vorhanden wie bei allen Energieeinsparinvestitionen. Der Eigentümer bzw. Vermieter trägt die Investitionskosten und der Mieter hat den Nutzen, die verminderten Energiekosten.

Bei Durchführung von Qualitätssicherung im vermieteten Wohnbau muss mit verstärkten negativen Reaktionen, z.B. von Mieterschutzvereinigungen, gerechnet werden. Dies zeigen Erfahrungen aus parallel zu dieser Arbeit begleiteten Projekten. Wenn die vorher möglichen überhöhten Raumtemperaturen (über 25 °C) nachher nicht mehr erreicht werden können oder dauerhaft geöffnete Fenster zur Raumauskühlung führen, kommt es zu Mieterbeschwerden. Diese können im schlimmsten Fall eine Optimierung nachträglich verhindern.

Kameralistik und Modalitäten der Honorierung

Öffentliche Investitionen, z.B. in Qualitätssicherung, werden in der Praxis durch die Teilung des Haushaltes nach dem kameralistischen Prinzip in den Vermögens- und Verwaltungshaushalt behindert. Auch die heute übliche Honorierung für Architekten und Ingenieure (HOAI) nach den Investitionskosten spricht gegen die Planung optimierter Gebäude. Der Gesamtkostengedanke fehlt in beiden Systemen.

Fehlender Rechtszwang

Obwohl die Regeln der Technik (incl. VOB) den hydraulischen Abgleich, korrekte Dimensionierung und andere Punkte der QS ausdrücklich fordern, wird in der Praxis der Rechtszwang so gering angesehen, dass sie dennoch unterlassen werden. Vermutlich, weil die Anlage auch ohne QS technisch funktioniert. Es sei darauf hingewiesen, dass eine zivilrechtliche Klage der Nutzer wegen "Unwirtschaftlichkeit" auch im Nachhinein nicht ausgeschlossen ist.

Mit der Einführung der Energieeinsparverordnung hat das Bundesland Schleswig-Holstein den Rechtszwang zumindest für den Neubau erhöht: der Fachhandwerker muss bei Fertigstellung des Gebäudes eine Fachunternehmererklärung unterschreiben, in der er auch den hydraulischen Abgleich bestätigt. Dies ist als generelle Forderung auch für Modernisierungen im Bestand nach einer zukünftigen EnEV 2006 bzw. nach der nationalen Umsetzung der Europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie zu fordern.

12.1.2 Energieverbrauchstypen und Handlungsanweisungen

Dem Zustand der Qualität der Anlagentechnik und dem Stand der Qualitätssicherung kann man auch durch eine andere Beschreibung näher kommen. Auf Basis der bei der Aufnahme der OPTIMUS-Gebäude vorgefundenen Anlagentechnik kann ermittelt werden, wie hoch der maximale Energieverbrauch der Gebäude sein kann [28]. Daraus leiten sich Handlungsanweisungen für die Gebäude ab.

Die Untersuchung der Eigenschaften realer Anlagen gibt folgendes Bild: Insgesamt ermöglichen die großzügige Wärmeerzeuger- und Pumpenauslegung, die Heizkurveneinstellung nahe oder gleich dem Auslieferungszustand ab Werk sowie die typisch eingesetzten Ventile und Heizkörper ein enormes Verschwendungspotential heute vorhandener Anlagen und Gebäude. Der hydraulische Abgleich ist in weniger als 10 % der Anlagen vorhanden. Der Einzelraumregelkreis arbeitet praktisch nur im Zweipunktverhalten, eine stetige Regelung kann aufgrund der Überdimensionierung der Komponenten nicht erwartet werden.

Daraus ergibt sich ein maximal möglicher Energieverbrauch, der zwei bis drei mal höher ist, als der minimale Jahresenergiebedarf der Gebäude mit angepasstem Nutzerverhalten und optimierten Anlagentechnik (Untersuchung von Typgebäuden in [28]). Ein erhöhter Energieverbrauch stellt sich in der Praxis ein, wenn ein entsprechend verschwenderisches Nutzerverhalten vorliegt.

Energieverbrauchstypen

Die Auswertung der Energieverbrauchsdaten der OPTIMUS-Gebäude zog einige Überlegungen zur Erreichbarkeit von Einsparungen nach sich. Es stellte sich die Frage, inwieweit eine Optimierung in bestimmten Gebäudetypen überhaupt eine Verbrauchsminderung bringen kann. Nachfolgend eine Zusammenfassung der Erkenntnisse.

Eines der Ziele einer anlagentechnischen Optimierung ist die Begrenzung des Wärmeabgabepotentials der Heizungsanlage, jedoch nur soweit, dass eine Beheizung des Gebäudes auch ohne Fremdwärmeeintrag erfolgen kann. Dies dient dazu, den Energieverbrauch auf das notwendige Maß zu begrenzen.

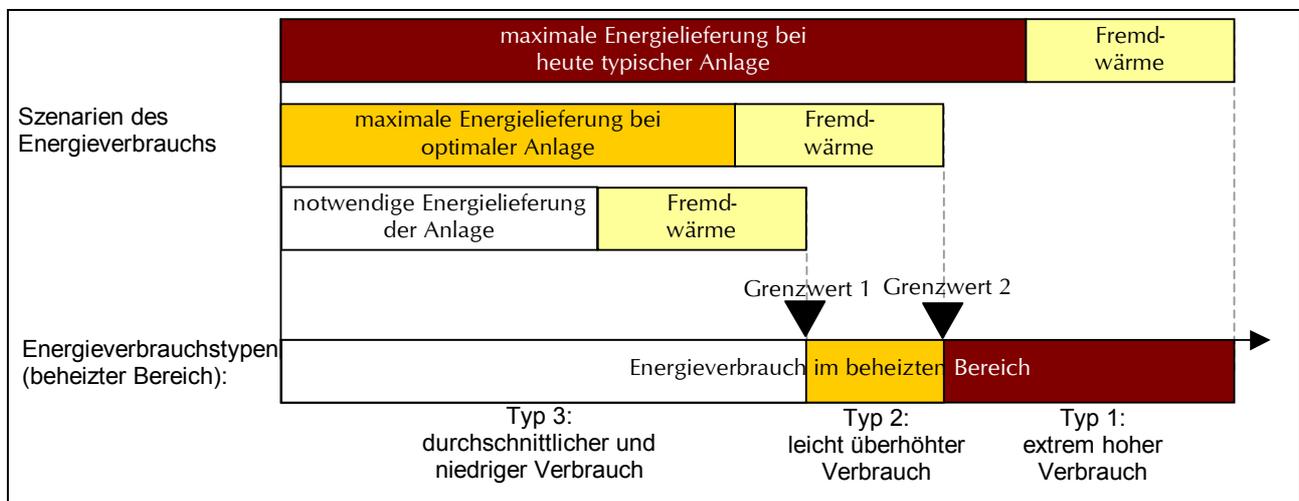


Bild 214 Energieverbrauchstypen

Trotzdem ist nach der Optimierung immer noch eine Energieverschwendung möglich. Das minimale, in jedem Gebäude vorhandene Verschwendungspotential (auch mit optimierter Anlagentechnik!) liegt daher im realen Fall etwa in der Höhe des Fremdwärmeeintrags. Dies bedeutet die zwingende Notwendigkeit, im Rahmen der Optimierung auch den Fremdwärmeeintrag in den beheizten Bereich zu begrenzen.

Aus dieser Überlegung lassen sich die Gebäude in drei Energieverbrauchstypen einteilen, für die unterschiedliche Handlungsanweisungen zur Energieeinsparung abgeleitet werden können.

Gebäude mit extrem hohem Verbrauch (Typ 1) benötigen zunächst eine anlagentechnische Begrenzung des Verschwendungspotentials. Hier können praktisch immer Energieeinsparungen erreicht werden.

Bei nur leicht erhöhtem Energieverbrauch eines Gebäudes (Typ 2) sind vor allem Nutzerschulungen zum Erreichen einer Energieeinsparung nötig. Dieser Energieverbrauchstyp ist vor allem unter den neuen Gebäuden bzw. den baulich sanierten Gebäuden mit geringer Transmissionsheizlast zu finden. Hier können vorhandene Fremdwärmeleistungen (Sonneneinstrahlung, Personenabwärme, Abwärme der Trinkwarmwasserleitungen usw.) große Anteile der nutzungsbedingten Verluste decken.

Da die Leistungsbemessung und Regelung des Anlagensystems jedoch für einen Zustand ohne Fremdwärme erfolgt, steht praktisch immer mehr Leistung als notwendig zur Verfügung. Das Verschwendungspotential entspricht also auch bei optimierter Anlage etwa dem Fremdwärmeangebot. Eine Leistungsbegrenzung ist daher nur begrenzt wirksam. Die Optimierung bewirkt in Gebäuden dieses Energieverbrauchstyps vor allem verminderte technische Verluste durch optimierte Anlagenparameter.

Gebäude mit durchschnittlichem Verbrauch (Typ 3) bieten praktisch kaum Möglichkeiten der Energieeinsparung durch die anlagentechnische Optimierung.

Handlungsanweisungen

Die Handlungsanweisungen für die unterschiedlichen Verbrauchstypen sind in Tabelle 81 noch einmal zusammengefasst.

Energieverbrauchstyp		Merkmale
Typ 1	extrem hoher Verbrauch mit Nutzung des Verschwendungspotentials der Anlagentechnik	<ul style="list-style-type: none"> Verglichen mit ähnlichen Gebäuden (Dämmstandard, Anlage, Nutzung) liegt ein sehr hoher Verbrauch vor. Dieser könnte mit einer qualitätsgesicherten Anlage und der dann vorhandenen Leistungsbegrenzung nicht erreicht werden. Das gebotene Verschwendungspotential wird genutzt. Eine Optimierung der Anlagentechnik führt hier insgesamt zu einer Drosselung des Energieverbrauchs innerhalb des beheizten Bereichs sowie einer Minderung der technischen Verluste.
Typ 2	leicht überhöhter, jedoch auch mit optimierter Technik erreichbarer Verbrauch	<ul style="list-style-type: none"> Verglichen mit anderen Gebäuden liegt ein leicht überhöhter Verbrauch vor. Dieser könnte jedoch auch mit optimierter Anlagentechnik erreicht werden. Das Nutzerverhalten ist nicht optimal: trotz ausreichend vorhandener Fremdwärme, wird die Leistung der Anlage beansprucht. Eine Optimierung der Anlage kann hier nur in Verbindung mit einer Nutzerschulung größere Einsparungen bewirken. Im Einzelfall tritt nur eine Effizienzverbesserung (Verminderung technischer Verluste) ein.
Typ 3	durchschnittlicher oder unterdurchschnittlicher Energieverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> Das Nutzerverhalten ist trotz eines ggf. vorhandenen Verschwendungspotentials der Anlage optimal. Eine Optimierung der Anlagentechnik kann hier nur die Effizienz der Anlage verbessern.

Tabelle 81 Definition von Energieverbrauchstypen und Handlungsanweisungen

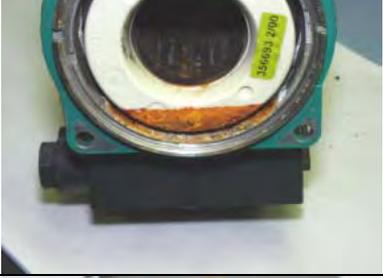
12.2 Ursachen für Pumpenausfälle und Gegenmaßnahmen

Eine weitere Aufgabe des OPTIMUS-Projekts bestand in der Zusammenstellung der Ursachen für Pumpenausfälle und entsprechenden Gegenmaßnahmen. Tabelle 82 liefert einen Überblick. Die Daten wurden vom Projektpartner WILO bereitgestellt.

Zusammenfassend ist folgendes festzustellen: etwa 40 % der eingereichten Gewährleistungsfälle bei Pumpen werden abgelehnt, weil sie nicht aufgrund ein schadhaften Produktes, sondern aufgrund von Mängeln in der Installation, Einstellung und dem Betrieb der Anlage beruhen (Angaben WILO, Jahr 2004).

Schaden	Schadensbild	Vermeidung
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pumpe blockiert</p> 	<p>Kühlnuten des Axiallagers haben sich durch hohen Schwebstoffanteil im System zugesetzt. Die Folge ist ein Schmierfilmabriss, wodurch die Pumpe vor Ort Laufgeräusche verursacht. Im fortgeschrittenen Stadium blockiert der Rotor.</p>	<p>Schwebstoffanteil im System reduzieren. Druckhaltung, inkl. MAG und Betriebspunkt überprüfen und System entlüften.</p>
	<p>Systembedingte Steinbildung (Kalk) durch hohen Frischwasseranteil im Medium oder eine hohe Carbonathärte des Füllwassers verursacht ein Blockieren des Rotors.</p>	<p>Hohen Frischwasseranteil vermeiden, bzw. nur enthärtendes Wasser einfüllen. System mittels inhibierten Säuren reinigen.</p>
	<p>Rückstände aus dem System deuten entweder auf eine fehlerhafte Überdosierung von Zusatzstoffen, eine Kalkausfällung durch hohen Frischwasseranteil oder ein Füllwasser mit hoher Carbonathärte hin. Die Rückstände blockieren den Rotor im Radiallager.</p>	<p>System reinigen und Betriebsmedium optimieren.</p>
	<p>Die Axiallagerhalterung aus EPDM ist durch den Einsatz von mineralölhaltigem Medium aufgequollen. Dadurch blockiert der Rotor im Spalttopf.</p>	<p>Medium optimieren oder entsprechend dem Medium zugelassenen Pumpentyp verwenden.</p>
	<p>Durch nachträgliche Befüllung der Anlage mit Frostschutzmittel (inkl. Korrosionsschutz) wurden die bereits an der Rohrleitung vorhandenen Korrosionspartikel gelöst. Die daraus resultierenden Schwebstoffe blockieren den Rotor im Spalttopf.</p>	<p>Vor der Zugabe von Frostschutzmittel muss das System sorgfältig gespült und das korrekte Mischungsverhältnis beachtet werden.</p>

Trockenlauf		Der starke Blaulauf des Rotors deutet auf fehlende Durchspülung der Kartusche hin. Dadurch sind die Schmierung der Lager sowie die Kühlung der Motorwicklung nicht gewährleistet. Die Folge sind Laufgeräusche und die thermische Überlastung der Motorwicklung.	
	 Angelaufene Rotorwelle	Siehe oben. In diesem Fall übertrug sich die hohe Reibungstemperatur im Wellenbereich auf die Laufradaufnahme, wodurch sich das Kunststofflaufrad bei ca. +145°C thermisch verformte.	
		Die thermische Verfärbung der Kartusche und des Rotors deuten auf einen Trockenlauf der Pumpe hin. An der Anlage erhitze sich das Motorgehäuse sehr stark und löste mehrfach den Motorschutz aus. Die Ursache für diesen Zustand ist auf mangelhafte Druckhaltung zurückzuführen.	
		Der Bleiaustritt aus den Lagern deutet auf Reibungstemperaturen von über +320°C. Ursache ist ein Trockenlauf der Pumpe. Eine ausreichende Durchspülung der Pumpe war nicht gegeben.	
Druckschlag		Das Lagerschild der Kartusche wurde durch Druckstöße verformt. Weiterhin wurden die Verschraubungslöcher des Motorgehäuses abgerissen. In diesem Fall waren es schnell schließende Ventile.	
		Das geborstene Pumpengehäuse weist keine Lunkerstellen im Grauguss auf. Als Ursache für den Defekt wurden Druckstöße im System analysiert, worauf auch die Beschädigung der Kartusche hinweist. Diese wurde durch den Druckstoß gegen das Motorgehäuse gedrückt. Die Folge war eine starke Undichtigkeit.	

Lagerschaden		Riefen auf der Rotorwelle im Lagerbereich durch Kavitation (Dampfblasenbildung). Neben dem Lagerschaden ist eine Blau- Gelbfärbung der Rotorwelle durch den Trockenlauf zu erkennen. Ursache ist eine mangelhafte Druckhaltung, bzw. ein Betriebspunkt außerhalb der Kennlinie.	Kavitation durch Trockenlauf vermeiden. Druckhaltung inkl. MAG und Betriebspunkt überprüfen.
		Ständiger Sauerstoffeintritt verursachte Korrosion in der Anlage. Die entstehenden Partikel verursachten einen Lagerschaden, der eine thermische Überlastung der Motorwicklung zur Folge hatte.	Sauerstoffeintritt in das System verhindern, Druckhaltung inklusive MAG vor Ort überprüfen. Weiterhin sollte das System gespült und anschließend entlüftet werden.
		Die tiefen Riefen auf der Rotorwelle deuten auf die Verwendung von Zusatzstoffen in der Anlage hin. Diese kristallisieren durch Sauerstoffoxidation in der Pumpe und setzen sich in die weichen Kohlelager. Dadurch verkratzen sie die Welle und verursachen einen Lagerschaden der zur thermischen Überlastung der Motorwicklung führt.	Dosierungsangaben des Zusatzstoff-Herstellers beachten. Das System entlüften und Sauerstoffeintritt ins System verhindern. Druckhaltung inkl. MAG und das System entlüften
Kurzschluss		Wassereintritt in die Motorwicklung über die Klemmenleiste des Moduls verursachte einen Kurzschluss. Ursache ist der Einbau des Motorkopf mit dem Schaltkasten senkrecht nach unten (auf 6 Uhr), wodurch der Kondensatablauf über die Schlitze im Motorgehäuse nicht gewährleistet ist.	Einbaulage mit dem Schaltkasten senkrecht unter dem Motorkopf vermeiden.
		Durch die fehlende Befestigungsschraube im Moduldeckel ist Wasser in den Schaltkasten eingetreten. Aus einer Undichtigkeit oberhalb der Pumpe tropfte das Wasser auf den Schaltkasten. Dies hatte einen Kurzschluss auf der Platine zur Folge.	Schutzgrad IP 43 sicherstellen, indem alle Schrauben sachgemäß montiert werden und die Undichtigkeit über der Pumpe abdichten.

Materialdefekt		Wassereintritt über die Kabeleinführung in den Schaltkasten. Die Folge war ein Kurzschluss. Ursache ist eine Verlegung des Kabels ohne Schlaufe zum Modul.	Verlegung des Anschlusskabels mit einer Schlaufe vor dem Eintritt in das Modul, um zu gewährleisten, dass der tiefste Punkt des Kabels außerhalb des Moduls liegt.
		Die starke Verkrustung des Pumpengehäuses resultiert aus einem hohen Sauerstoffeintritt. Ursache ist entweder eine alte Anlage mit offen durchströmten Ausgleichsbehältern oder eine Fußbodenheizung mit nicht sauerstoffdichten Kunststoffleitungen. Deshalb blockierte das Laufrad im Pumpengehäuse.	Das System spülen, entlüften und Sauerstoffeintritt ins System verhindern. Bei Fußbodenheizung muss eine Systemtrennung berücksichtigt werden.
	 Dynamobleche wurden vom Rotorpaket angegriffen	Die Dynamobleche des Rotors wurden durch einen pH-Wert des Wasser < 6,5 angefressen. Dies ist auf kontinuierlichen Sauerstoffeintritt zurückzuführen. Dadurch erhöht sich die Stromaufnahme und diese beschädigt die Motorwicklung.	pH-Wert auf ca. 8,2 erhöhen und kontinuierlichen Sauerstoffeintritt verhindern. Dafür muss die Druckhaltung, inkl. MAG geprüft werden.
	 Anzeichen von Spongiose	die Oberfläche des Pumpengehäuses lässt sich mit dem Schraubendreher einfach aufschieben, d.h. die Oberfläche ist aufgeweicht (Spongiose). Das passiert bei einem pH-Wert <6,3.	

Tabelle 82 Schadensbilder und Schadensvermeidung bei Pumpen

12.3 Empfehlungen für künftige Optimierungen

Aus den Erkenntnissen des Projekts können für zukünftige Projekte einerseits sowie für die praktische Umsetzung von Optimierungen andererseits die in diesem Abschnitt zusammengestellten Empfehlungen ausgesprochen werden.

12.3.1 Kostengünstige Verfahren

Die OPTIMUS-Partner stimmen darin überein, dass nach Beendigung des Projekts eine breite Realisierung von Optimierungen entscheidend auch von marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten bestimmt wird. Daher wurde diskutiert, ob und wie es möglich ist, mit Hilfe vereinfachter, und damit kostengünstigerer Verfahren qualitativ hochwertige Ergebnisse bei der Optimierung zu erlangen. Zwei Punkte sind von entscheidender Bedeutung:

- Kostengünstiges Erkennen optimierungswürdiger Gebäude, bei denen die Heizungsanlagenoptimierung tendenziell viel Energie einspart.
- Kostengünstiges Optimieren der gewählten Gebäude.

Beide Themen werden in den nächsten Abschnitten besprochen.

Kopplung mit der Energiepasserstellung

Soll sich die Optimierung von Heizungsanlagen über den Projektzusammenhang hinaus als Standardverfahren zur Energieeffizienzsteigerung durchsetzen, müssen marktwirtschaftliche Kriterien in die Überlegungen zur Verfahrensgestaltung einbezogen werden.

An dieser Stelle wird die Empfehlung gegeben, eine Anlagenoptimierung bzw. die dazu notwendige Gebäudebegehung und -aufnahme mit der ab 2006 schrittweise notwendigen Energiepasserstellung für Gebäude zu koppeln. Der Energiepass als Grobanalyse löst die Feinanalyse mit der Optimierung aus. Primäres Ziel ist es, den insgesamt notwendigen Arbeitsaufwand zur Datenerhebung zu reduzieren.

Der Energiepass soll Empfehlungen an den Kunden richten, wie im konkreten Gebäude sinnvoll und wirtschaftlich Energie eingespart werden kann. Die Aufklärung des Kunden, dass die Anlagenoptimierung eine solche Maßnahme ist, sieht die OPTIMUS-Gruppe als große Chance für das Handwerk an.

12.3.2 Optimierungsempfehlung aufgrund von Indikatoren

Folgende Erfolgsquoten für die Optimierung können angesetzt werden, wenn vorab keine weiteren Untersuchungen zum Gebäude, zu Anlage und Nutzung getätigt werden:

- Bei Wohngebäuden mit Baujahren vor 1978 ohne weitere bauliche Maßnahmen ist davon auszugehen, dass im Mittel keine Energieeinsparung durch die Optimierung erreicht werden kann.
- Bei Gebäuden mit Baujahren nach 1978 sowie bei baulich auf diesen Standard modernisierten Gebäuden ist im Mittel von einer äquivalente Energieeinsparung zwischen $-7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in EFH und $-14 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in MFH zu rechnen.

Die in Tabelle 83 klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung, es gilt "++" als am erfolgversprechendsten. Die Bewertung durch die OPTIMUS-Partner erfolgt anhand der erreichten Energieeinsparung sowie der Wirtschaftlichkeit.

Gebäude der Baujahre ab 1978 können uneingeschränkt optimiert werden, auch nachträglich mit Investition in Komponenten. Aus der Gruppe der Gebäude mit Baujahren vor 1977 sollten vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, weil hier die größeren Einsparungen zu erwarten sind. In dieser Gebäudegruppe sollte die Optimierung jedoch auf jeden Fall erfolgen, wenn ohnehin Investitionen in die Anlage notwendig sind, eine Modernisierung der Gebäudehülle erfolgt ist oder wenn bereits einstellbare Komponenten vorhanden sind.

	EFH		MFH	
	mit Kessel	mit Fernwärme	mit Kessel	mit Fernwärme
Baujahr bis 1977 – nicht baulich modernisiert	0	0	0	0
Baujahr bis 1977 – größtenteils baulich modernisiert	+	+	++	+
Baujahr 1978 bis 1994	+	+	++	+
Baujahr ab 1995	++	++	++	++

Tabelle 83 Empfehlungen für Optimierung

Die Überdimensionierung der Technik (Überdimensionierung der Pumpe, der Heizflächen oder des Wärmeerzeugers) ist kein Indiz für später erreichbare Energieeinsparungen.

12.3.3 Datenaufnahme und Berechnungen

Soll eine vernünftige und energiesparende Heizungsoptimierung umgesetzt werden, sind folgende Punkte unverzichtbar:

1. Die Leistung der Heizflächen muss an den Bedarf der Räume angepasst werden. Dazu soll die zentrale Einstellung der Vorlauftemperatur dienen (betrifft alle Heizkörper) sowie die dezentrale Volumenstrombegrenzung an jeder Heizfläche (hydraulischer Abgleich).
2. Der Differenzdruck der Pumpe soll nur so hoch sein, wie die Anlage es für einen korrekten Betrieb erfordert. Jeder überflüssige Differenzdruck ist ggf. zentral mit einem Differenzdruckregler abzudrosseln, damit keine Geräuschprobleme entstehen.

Heizlastberechnung

Um Punkt 1 in der Praxis umzusetzen, ist eine (mindestens überschlägige) Heizlastberechnung anhand der wärmeübertragenden Umfassungsflächen eines Raumes sowie die Aufnahme der real installierten Heizflächen erforderlich. Aus dem Verhältnis der Heizkörperleistung zur Raumheizlast resultieren die Heizkörpervolumenströme. Mit beiden Rechenprogrammen, die im OPTIMUS-Projekt eingesetzt wurden, ist eine einfache und auch im Vergleich zu einer detaillierten Rohrnetz-berechnung weitgehend korrekte Ermittlung der Volumenströme möglich (vgl. Abschnitte 7.2 bis 7.4).

Die dazu notwendige Datenaufnahme vor Ort wird vom Fachhandwerk als zu aufwendig angesehen. Nach Ansicht der Projektbearbeiter kann sie aber praktisch nicht oder kaum weiter vereinfacht werden. Sowohl die sehr viel einfachere, grundflächenbezogene Heizlastberechnung als auch ähnlich vereinfachende Annahmen (z.B. die Heizflächen wären nach dem Bedarf des Raumes bemessen, gleiche Spreizung an den Heizflächen usw.) haben sich in der Praxis nicht bestätigt. Sie können zu falsch berechneten Heizkörpervolumenströmen führen.

In Hinblick auf später daraus resultierende Nutzerbeschwerden wird eine Vereinfachung über die im Rahmen von OPTIMUS entwickelten bzw. angewendeten Verfahren bis auf weiteres nicht empfohlen.

Druckverlustberechnung und hydraulischer Abgleich

Der zweite unverzichtbare Punkt der korrekten Druckverlustberechnung und daraus folgend die korrekte Einstellung des Anlagendifferenzdrucks setzt eine überschlägige Rohrnetz-berechnung voraus. Die Aufnahme der dazu notwendigen, minimalen Daten (zentrale hydraulische Widerstände, geschätzte Entfernung der Heizkörper zur Pumpe) bereitet dem Fachhandwerk geringere Schwierigkeiten. In diesem Punkt haben sich die entwickelten und getesteten Datenaufnahmeblätter als praktikabel erwiesen.

Minimale Datenaufnahme und Rechenprogramme

Die für das OPTIMUS-Projekt ursprünglich entwickelten, umfangreichen Aufnahmeformulare für Gebäude und Anlagentechnik, die in Abschnitt 6.3.1 beschrieben sind, wurden im Projektverlauf komprimiert. Erkenntnisse über nicht benötigte Daten sind dabei berücksichtigt worden.

Die resultierenden Aufnahmeformulare für das "Ausführliche Verfahren" (Bild 89 bis Bild 91 in Abschnitt 7.3.1) und das "Verfahren für Ein- und Zweifamilienhäuser" (Bild 100 bis Bild 103 in Abschnitt 7.4.1) enthalten nur noch das Minimum benötigter Daten.

Eine mögliche Vereinfachung der Gebäudeaufnahme wird auch nach Projektende von den Projektpartnern geprüft. Dazu ist die Bildung einer Arbeitsgruppe aus Vertretern der der FH Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) und der Firma Wilo sowie weiterer Fachleute vorgesehen.

Die beiden Rechenprogramme (Abschnitte 7.3 und 7.4) werden – vor allem weil vergleichbare Programme am Markt derzeit nicht verfügbar sind – für die Anwendung in der Praxis empfohlen und möglichst mit Technik-Softwarefirmen in deren Produktangebot integriert.

12.3.4 Checklisten zur Techniko-optimierung

Aus der Arbeit im OPTIMUS-Projekt sowie den Untersuchungen zum Energieverbrauch wurden Regeln für die Qualitätssicherung von Heizungsanlagen abgeleitet, siehe auch [28]. Hierbei wurde unterschieden in Regeln für:

- die materielle Qualität der Anlage (betrifft in der Regel mit Investition- bzw. Materialkosten verbundene Merkmale von einzelnen Komponenten) und
- die immaterielle Qualität der Anlage (meist kostenlos zu beeinflussende Eigenschaften wie Einstellung der Regelung usw.).

Tabelle 84 fasst die Empfehlungen zusammen. **Es kann aus den Erfahrungen des OPTIMUS-Projekts zusammengefasst werden, dass die tatsächliche Umsetzung der Planung vor Ort mit Einstellung der Thermostatventile, Pumpen, Regelung und ggf. eine Leistungseinstellung des Wärmeerzeugers unverzichtbar für den energiesparenden Betrieb sind.**

Komponente	Qualität	Neubau	Bestand
Erzeuger	materiell	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einbindung regenerativer Energien prüfen ▪ Einbindung der zentralen Trinkwarmwasserbereitung vorsehen ▪ Erzeuger mit geringen Bereitschaftsverlusten und hoher Effizienz der Umwandlung wählen ▪ Kessel ohne Mindestumlauf mit großem Wasserinhalt und mit geringem hydraulischen Widerstand bevorzugen ▪ Wärmeerzeuger mit integrierten (nicht einstellbaren) Pumpen vermeiden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ggf. Nachrüstung einer zentralen Trinkwarmwasserbereitung ▪ ggf. nachträgliche Dämmung von Kesseln zur Verminderung der Bereitschaftsverluste
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionierung nach Gebäude- und Nutzungsanforderungen ▪ Überdimensionierung vermeiden ▪ Begrenzung der berechneten Leistung ▪ Aufstellort innerhalb des beheizten Bereiches bevorzugen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ überschlägige Dimensionierung nach Gebäude- und Nutzungsanforderungen ▪ Begrenzung der berechneten Leistung
Verteilnetz und Speicher	materiell	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zugängliche zentrale (und dezentrale) Armaturen sind zu dämmen ▪ auf den Einbau von Einrohrheizungen ist zu verzichten ▪ Leitungen sind zu dämmen, auch innerhalb des beheizten Bereiches mit möglichst voller Dämmstärke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ggf. nachträgliche Dämmung des Speichers bzw. der Anschlüsse und Durchdringungen sowie vorhandener, zugänglicher Leitungen ▪ bei großen Durchmessern doppelte Dämmung vorsehen ▪ nachträgliche Dämmung der Verteilleitungen in Einrohrheizsystemen ▪ ist dies unmöglich, sollte über eine Umstellung auf Zweirohrheizung nachgedacht werden
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dokumentierte Berechnung und Umsetzung des hydraulischen Abgleichs ▪ zentrale Einrichtungen zur Differenzdruckregelung sollen die zentralen Festwiderstände (Erzeuger, Filter, etc.) nicht mit regeln ▪ Speicher so klein wie möglich und gut gedämmt wählen ▪ Aufstellort des Speichers möglichst im beheizten Bereich ▪ im Fußbodenaufbau verlegte Rohrleitungen sollten oberhalb der Dämmebene angeordnet werden ▪ Wärmeverluste von Anbindeleitungen sollten möglichst vollständig in dem Raum anfallen, in dem der betreffende Heizkörper angeordnet ist ▪ Verlegung im beheizten Bereich und mit kurzen Verlegewegen ist anzustreben 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vorhandene Netze sollten (zumindest überschlägig) berechnet und hydraulisch abgeglichen werden.

Pumpe	materiell	<ul style="list-style-type: none"> keine geregelten Pumpen in Anlagen mit Überströmeinrichtungen vorsehen Netze mit konstanten Volumenströmen erfordern keine geregelten Pumpen ggf. Pumpen mit externen Messaufnehmern zur Differenzdruckregelung vorsehen 	<ul style="list-style-type: none"> Pumpenwahl nach (überschlägiger) Rohrnetz berechnung Ersetzen vorhandener (ungeregelter) Pumpen durch neue (geregelte), wenn deren Leistungsaufnahme im Jahresmittel geringer ist
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> die Pumpenwahl erfordert eine Rohrnetz berechnung Verzicht auf den Einsatz geregelter Pumpen, wenn deren Leistungsaufnahme im Jahresmittel höher ist als die einer ungeregelten Pumpe 	
zentrale Regelung	materiell	<ul style="list-style-type: none"> in Mehrfamilienwohngebäuden sollten Auslegungsvorlauftemperaturen von etwa 65 ... 75 °C angestrebt werden, um Nutzerbeschwerden entgegenzuwirken. Damit werden auch nahe der Heizgrenze (10 ... 15 °C) noch Vorlauftemperaturen am Heizkörper nahe der Körperoberflächentemperatur (33 ... 35 °C) erreicht. Brennwertkessel in Anlagen mit Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom (Überströmeinrichtungen vorhanden) sollten Auslegungsvorlauftemperaturen ≤ 70 °C eingestellt werden, damit an etwa 95 % aller Heiztage eine Vorlauftemperatur ≤ 55 °C erreicht wird (Brennwertnutzung). die zentrale Vorregelung erfolgt witterungsgeführt anhand der Außentemperatur, eine lastabhängig geregelte Vorlauftemperatur sollte wegen des möglichen Verschwendungspotentials nicht (oder nur kurzzeitig) höher als der nach Außentemperatur erforderlich sein 	<ul style="list-style-type: none"> nach einer baulichen Modernisierung muss die Vorlauftemperatur (und/oder die Netzvolumenströme) angepasst werden
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> am Regler sollte eine Heizgrenze von beispielsweise 15 °C (ggf. unter Berücksichtigung einer Dämpfung) einstellbar sein und eingestellt werden. eine Nachabschaltung, oder -senkung sollte wegen der damit verbundenen Wiederaufheizung nicht bei extrem niedrigen Außentemperaturen erfolgen die geplante Vorlauftemperatur muss am Regler eingestellt und dokumentiert werden Wiederaufheizung mit kurzzeitig erhöhten Vorlauftemperaturen oder in größeren, gemischt genutzten Räumen (Wohn- und Schlafräumen) durch zeitgesteuerte Zusatzheizkörper vorsehen 	
Heizflächen	materiell	<ul style="list-style-type: none"> Aufheizzuschläge bei der Dimensionierung vermeiden (ggf. Zusatzheizkörper oder eine temporäre Vorlauftemperaturerhöhung vorsehen) in Anlagen mit Mindestvolumenstrom sollten Heizkörper auf einen hohen Volumenstrom (geringere Spreizung) ausgelegt werden, um das Überströmen zu mindern der Einsatz von Ventilheizkörpern mit stark überdimensionierten THKV sollte vermieden werden 	<ul style="list-style-type: none"> stark von der mittleren Dimensionierung abweichende vorhandene Heizkörper sind ggf. auszutauschen, damit das Temperaturniveau insgesamt angepasst werden kann sehr große Heizkörper von auf Zweirohrbeheizung umgestellten Einrohrsystemen sind i.d.R. auszutauschen
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> die Heizflächenbemessung erfordert eine Heizlastberechnung bei Einsatz von Lüftungsanlagen sind in Zu- und Ablufträumen veränderte Luftwechsel bei der Dimensionierung zu beachten die Wahl des optimalen Temperaturniveaus erfordert einen Kompromiss, damit Regelbarkeit, Behaglichkeit und Wärmeverluste der Verteilung sowie Anforderungen des Erzeugers und der Heizkostenerfassung erfüllt werden 	
dezentrale Regelung	materiell	<ul style="list-style-type: none"> Wahl der dezentralen Regler (i.d.R. THKV) anhand der Rohrnetz berechnung THKV sollen einstellbar sein, Voreinstellungen sind Rücklaufverschraubungen vorzuziehen (Nachvollziehbarkeit der Einstellung) alternativ Einsatz elektronischer Regler oder selbsttätig abgleichender Ventile mit integrierter Differenzdruckregelung 	<ul style="list-style-type: none"> vorhandene, nicht einstellbare THKV sind durch einstellbare (bzw. elektronische oder selbsttätig abgleichende mit integrierter Differenzdruckregelung) zu ersetzen
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> eine Durchflussbegrenzung durch angepasste Dimensionierung (begrenzt durch das Angebot am Markt), Hubbegrenzung (begrenzt durch das Angebot am Markt) oder Voreinstellung ist vorzusehen die Einstellung der THKV (bzw. des gesamten hydraulischen Abgleichs) erfordert eine Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> Ventile sollen so klein gewählt werden, dass möglichst wenig Voreinstellung nötig wird

Trinkwarmwasserbereitung	materiell	<ul style="list-style-type: none"> es gelten die Aussagen zur Dämmung und Verlegung sowie zu installierten Leitungslängen und Speichern analog den Empfehlungen für Heizungsverteilnetze Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung sind primärenergetisch anhand des Nutzungsprofils zu prüfen 	
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> in Netzen mit Zirkulation ist die tägliche Zirkulationsdauer unter Beachtung der hygienischen Belange durch eine entsprechende Regelung zu begrenzen der hydraulische Abgleich der Zirkulation ist durchzuführen 	
Lüftungsanlage	materiell	<ul style="list-style-type: none"> hydraulischer Abgleich der Lüftungsanlage 	<ul style="list-style-type: none"> nachträglicher hydraulischer Abgleich der Lüftungsanlage
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> Abstimmung der Regelung von Heizungs- und Lüftungsanlage aufeinander verringerte Lüftungsstufe (Schwachlüftung) mit automatischer Rückstellung in den Nennbetrieb in der Aufheizzeit nach einer Heizungsabsenkung 	<ul style="list-style-type: none"> nachträgliche Anpassung der Ventilatorleistung
weitere Merkmale		<ul style="list-style-type: none"> Verminderung des nicht regenerativen Fremdwärmeeintrags in den beheizten Bereich durch Wahl hochwertiger elektrischer Antriebe 	

Tabelle 84 Regeln für die QS der Anlagentechnik

12.4 Weitere Empfehlungen

Neben der Optimierung der Anlagentechnik sind begleitende Maßnahmen der Nutzerinformation sinnvoll, deren Kernpunkte nachfolgend erläutert werden.

Der Nutzer muss in jedem Fall in den Prozess der Qualitätssicherung eingeschaltet werden. Bei Gebäuden mit sehr hohem Verbrauch ist ohne Nutzerinformation – vor allem im Mehrfamilienhaus – von einer geringen Akzeptanz der neuen Bedingungen auszugehen. Die resultierenden Mieterbeschwerden führen im schlimmsten Fall dazu, dass der Hausmeister die durchgeführte Optimierung rückgängig macht.

Bei Gebäuden mit vergleichsweise geringem Verbrauch wird durch die Aufklärung der Nutzer der Effekt der Qualitätssicherung und Optimierung der Anlagentechnik entscheidend unterstützt. Ohne Mitwirken der Nutzer beschränkt sich der Einspareffekt in diesen Gebäuden vielfach nur auf die Effizienzverbesserung der Wärmebereitstellung.

Eine mögliche Handlungsanweisung für Nutzer von Gebäuden vor und nach einer Qualitätssicherung ist in Tabelle 85 wiedergegeben. In jedem Fall sind durch ausreichende Kommunikation Beschwerden vorzubeugen. Ein akzeptierter, objektiver Ansprechpartner sollte benannt werden.

Gebäude ohne Qualitätssicherung	Gebäude mit teilweiser oder vollständiger Qualitätssicherung
<p>Wenn eine Qualitätssicherung der Anlage nicht möglich ist, weil finanzielle Mittel zur Nachrüstung von einstellbaren Thermostatventilen fehlen, eine Temperaturanpassung im System erst nach Austausch einiger Heizkörper möglich ist, die Heizzeit nicht verkürzt werden kann, solange das System nicht abgeglichen ist, können folgende Nutzerinformationen zu einer Verbrauchsminderung führen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aufklärung über richtiges Lüftungsverhalten, um zu vermeiden, dass das angebotene Verschwendungspotential genutzt wird. Hinweise, die Thermostatventile manuell herunterzuregulieren, weil die zentrale Temperaturabsenkung ohne den hydraulischen Abgleich und die korrekte Heizkurveneinstellung energetisch unwirksam ist. Manuelles Abstellen aller Heizkörper auf Frostschutzbetrieb oberhalb 15 °C Außentemperatur, um ein ungewolltes Durchströmen des Netzes sowie Ablüften zu vermeiden. 	<p>Wenn die Qualitätssicherung der Anlagentechnik gewährleistet ist, bedeutet dies eine Begrenzung des Verschwendungspotentials der Anlage. Ein Mehrverbrauch ist trotzdem wegen der vorhandenen Fremdwärme denkbar. Die Nutzerinformation sieht in diesem Fall wie folgt aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aufklärung über richtiges Lüftungsverhalten. Gleichzeitige Information, dass bei Dauerlüftung die Raumtemperatur absinkt und dies kein Fehlverhalten der Anlage ist. Hinweis, dass überhöhte Raumtemperaturen ggf. nicht mehr erreicht werden können. Hinweis, dass die THKV nachts nicht per Hand heruntergestellt werden müssen, weil es eine zentrale Temperaturabsenkung gibt, die auch dafür sorgt, dass das Gebäude morgens auch ohne Nutzereingriff wieder warm wird. Erläuterung der Tatsache, dass die Heizung ab einer Außentemperatur von ca. 15 °C die Anlage selbsttätig abgestellt wird.

Tabelle 85 Regeln für die QS der Nutzung

Es sollte eine Nutzeraufklärung über folgende Grundsätze und Zusammenhänge erfolgen:

- Werte für typische Raumtemperaturen und Einfluss der Raumtemperatur auf die Heizkosten,
- Information über richtiges Lüftungsverhalten und Einfluss der Lüftung auf die Heizkosten,
- Verhalten während des eingeschränkten Heizbetriebs (starke Raumauskühlung durch Dauerlüftung vermeiden) und während der Schnellaufheizung danach (möglichst keine Lüftung),
- Information über die richtige Bedienung der Heizungsregelung (sofern notwendig), der Lüftungsanlage (sofern vorhanden) und der dezentralen Regelung (Thermostatventile etc.),
- Aufklärung über die Vor- und Rücklauftemperaturen im Winter (geringe Rücklauftemperaturen sind ggf. geplant) und in der Übergangsjahreszeit (Vorlauftemperaturen am Heizkörper unter Hautoberflächentemperatur),
- Information über Zirkulation und Zirkulationsunterbrechung der Trinkwarmwasserverteilung,
- Vor- und Nachteile der flächen- und der verbrauchsbezogenen Heizkostenabrechnung.

Für den Handwerker sind ausführliche Nutzerinformationen sowie die Checklisten zur Anlagenoptimierung in einem Handbuch zusammengefasst, vgl. Bild 215. Das Handbuch ist im Anhang zum Bericht zu finden.

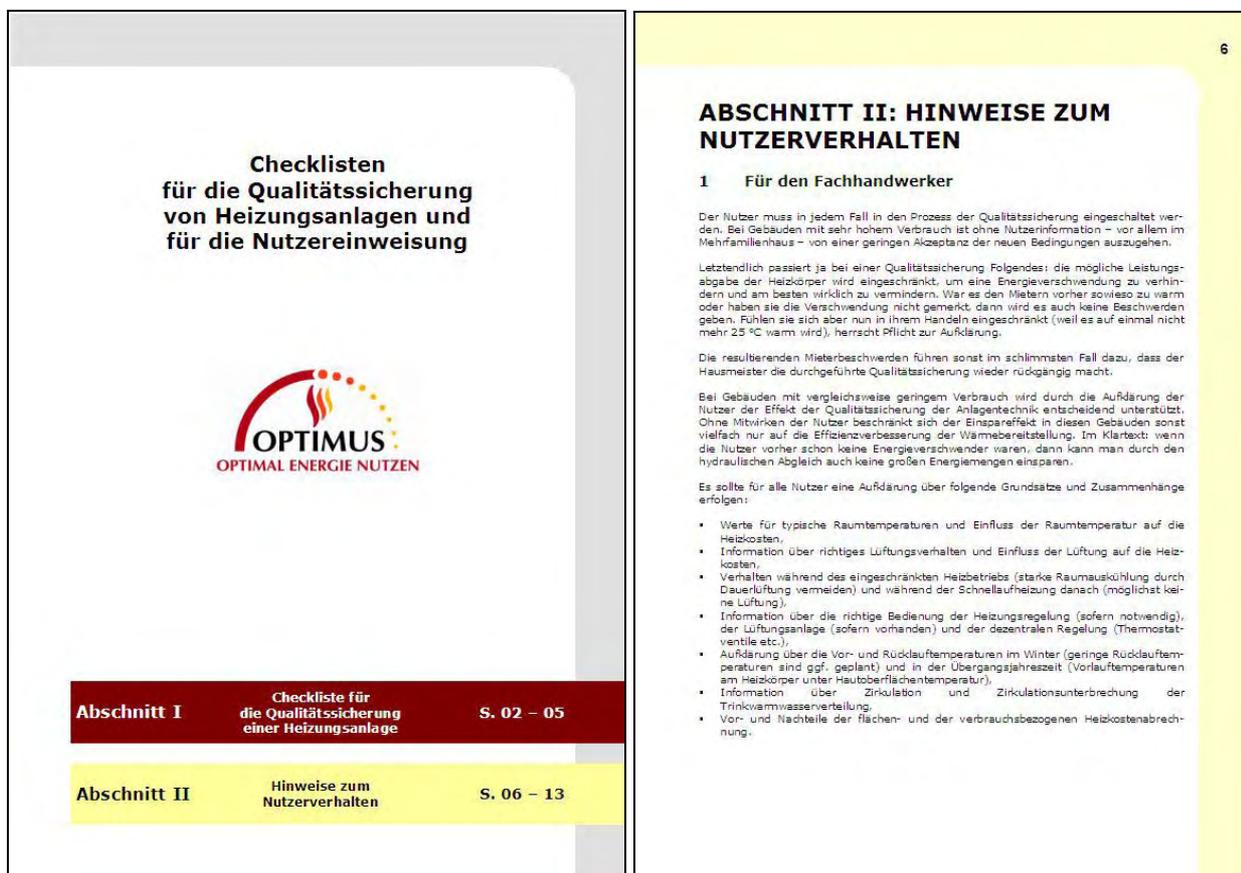


Bild 215 Handbuch zur Nutzerinformation und Checklisten

13 Zusammenfassung

Der nachfolgende letzte Abschnitt des Berichts fasst die technischen Ergebnisse des Projekts OPTIMUS zusammen. Sowohl die erreichten Einsparungen an Energie und CO₂ als auch die wirtschaftlichen Potentiale werden in einer Übersicht präsentiert. Aus den Projektergebnissen werden Erkenntnisse für die Gestaltung künftiger Verordnungen und Normen abgeleitet. Ein Ausblick auf die langfristige Umsetzung der Anlagenoptimierung in der Praxis wird gegeben.

Das Ziel des Projektes OPTIMUS war, die bisher nicht genutzten Energieeinsparpotentiale durch eine technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und freizulegen sowie mittels einer Informations- und Qualifizierungsstrategie nachhaltig zu sichern.

Aus technischer Sicht ist dieses Ziel erreicht worden. Die Lücke an technischen Regeln für die Optimierung einerseits und praktikablen Anwendungshilfen (Messtechnik, Rechenprogramme, Checklisten usw.) andererseits konnte geschlossen werden. Es sind zwei Rechenprogramme mit Handbüchern und Hintergrundinformationen für den Fachhandwerker und Fachplaner erstellt und erprobt worden.

Die vorhandenen Einsparpotentiale bei der Optimierung von Heizungsanlagen konnten bisher nicht exakt beziffert werden, da sich die wissenschaftliche Untersuchungen oft nur auf technische Teilaspekte oder einzelne Produkte von Herstellern beschränken. Insbesondere der Effekt eines hydraulischen Abgleichs wurde noch nicht statistisch untersucht. Eines der wichtigsten Ziele des Projektes, vorhandene Einsparpotentiale messtechnisch nachzuweisen und die Wirtschaftlichkeit zu beweisen, ist erreicht worden.

13.1 Erreichte Einsparungen und Verbesserungen

Eine vorab durchgeführte Untersuchung zur Art der Witterungskorrektur ergab die Bereinigung mit Heizgradtagen G, jedoch mit gebäudespezifischer Heizgrenztemperatur, als geeignetstes Verfahren. Für eine Auswahl von Gebäuden, in denen keine Änderung des Energieverbrauchs erwartet wurde, ergab die Bereinigung mit individuellen Heizgradtagen die geringste Abweichung des Verbrauchs in zwei aufeinanderfolgenden Jahren ($\pm 1\%$). Folglich wurde diese Art der Korrektur für das Gesamtprojekt gewählt.

Einsparung von Heizwärme

Das gewählte Bereinigungsverfahren (mit Heizgradtagen und individueller Heizgrenze) führt dazu, dass der bereinigte Heizwärmeverbrauch der 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in beiden Messperioden praktisch gleich ist. Es ergibt sich eine geringe Differenz von unter 1 kWh/(m²a) bezogen auf einen mittleren Jahresnutzwärmeverbrauch von 122 kWh/(m²a), d.h. deutlich unter 1 %. Die 30 auswertbaren optimierten Gebäude weisen mit der gleichen Bereinigungsverfahren einen um 7,9 kWh/(m²a) geringeren bereinigten Heizwärmeverbrauch auf.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizwärmeeinsparung von 7 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

Die Heizwärmeeinsparung ist in den untersuchten EFH etwas geringer als in den MFH und ist in den Gebäuden mit Kessel höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss. Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse. In der ältesten Baualtersklasse sind im Mittel keine Einsparungen nachweisbar. Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch.

In den optimierten Gebäuden konnten insgesamt fast 90.000 kWh/a Heizwärme eingespart werden.

Die Detailbetrachtung der Gebäude zeigt, dass in jeder Rubrik (optimiert und nicht optimiert, Baujahre vor und nach 1978 usw.) Mehr- und Minderverbräuche festzustellen sind. Bei den nicht optimierten Gebäuden gleichen sich die Mehr- und Minderverbraucher in etwa aus (Anzahl und Kennwerte). Bei den optimierten Gebäuden überwiegt die Zahl der Minderverbraucher, so dass deren Einsparung den Mehrverbrauch der Mehrverbraucher kompensiert.

Einsparung von Heizenergie

Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen.

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 1,1 kWh/(m²a) geringeren Heizenergieverbrauch auf, während sich für die 30 auswertbaren optimierten Gebäude ein um 9,4 kWh/(m²a) geringerer Heizenergieverbrauch ergibt. Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von 8 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche.

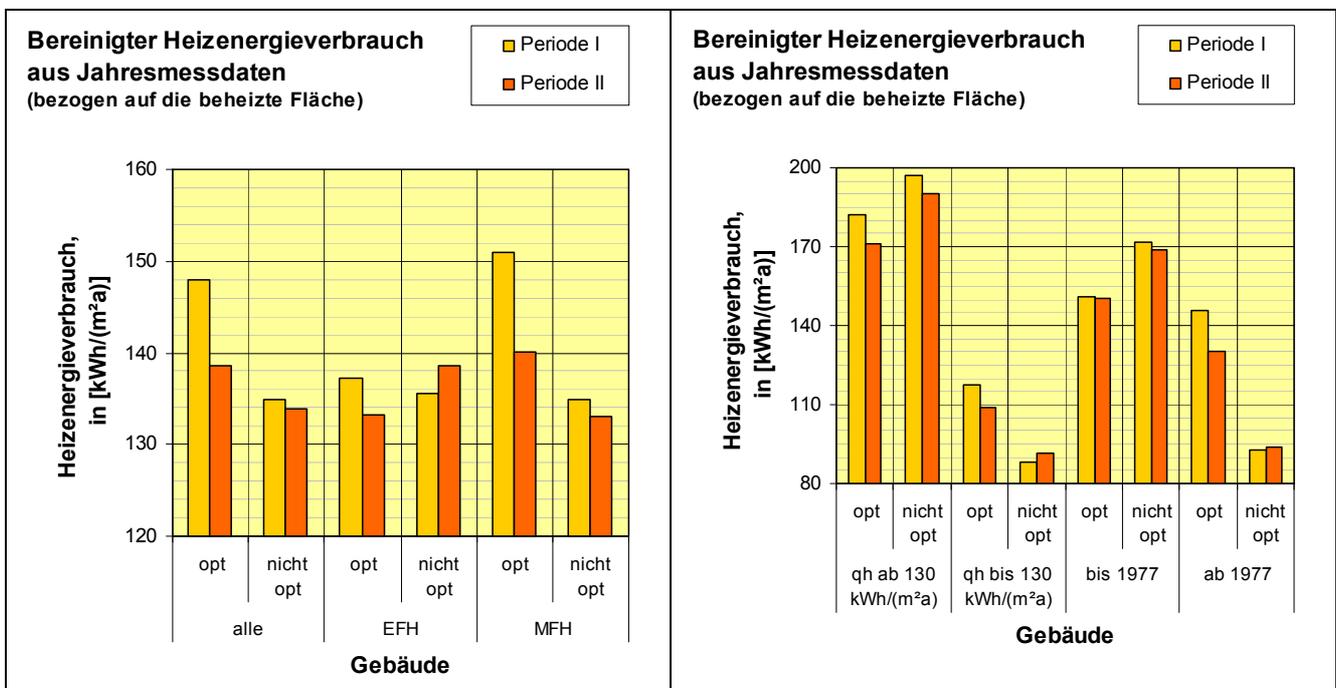


Bild 216 Einsparung Heizenergieverbrauch

Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH geringer als in den MFH und in den Gebäuden mit Kessel höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss. Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse. In der ältesten Baualtersklasse sind praktisch keine Einsparungen nachweisbar. Die Einsparung ist in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch.

Die Optimierung beeinflusst den Heizenergieverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualtersklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch). Da wegen des guten Baustandards ohnehin eine geringere Wärmeanforderung besteht, führt jedes zusätzliche (ungeregelt) auftretende Wärmepotential in diesem Gebäudetyp sehr schnell zum Mehrverbrauch. Die Optimierung beseitigt bzw. vermindert das Verschwendungspotential und führt zu größeren Einsparpotentialen.

In alten Gebäuden bzw. Gebäuden mit ohnehin hohem Verbrauch ist es umgekehrt. Wegen der baulich bedingten hohen Wärmeanforderung können Überschüsse besser genutzt werden und die mangelnde Qualität führt zu geringen Verschwendungspotentialen. Folglich ergeben sich dann auch geringere Einsparpotentiale. Im Einzelfall kann es sogar zum geringfügigen Mehrverbrauch kommen, da nun eine homogene Wärmeverteilung erreicht wird und alle Räume gleichmäßig beheizt werden (können). Erhöhte Verbrauchswerte konnten in der Vergangenheit auch bei der Umstellung von Einzelofen- auf Zentralheizung festgestellt werden: der erhöhte Komfort führte in vielen Fällen zu höheren Verbrauchswerten.

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 106.000 kWh/a Heizenergie eingespart werden. Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen.

Einsparung von Hilfsenergie

Nach der Witterungsbereinigung weisen die 38 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in der zweiten Messperiode einen um 0,1 kWh/(m²a) geringeren Hilfsenergieverbrauch auf, während sich für die 27 auswertbaren optimierten Gebäude ein um 0,4 kWh/(m²a) geringerer Hilfsenergieverbrauch ergibt. Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotential von durchschnittlich 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (v. a. für Pumpen) eines Gebäudes durch die Optimierung.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Hilfsenergieeinsparung von 0,3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche. Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH etwas größer als in den MFH. Die Einsparung ist in den Gebäuden der mittleren Baualtersklasse deutlich größer als in der ältesten und neuesten Baualtersklasse.

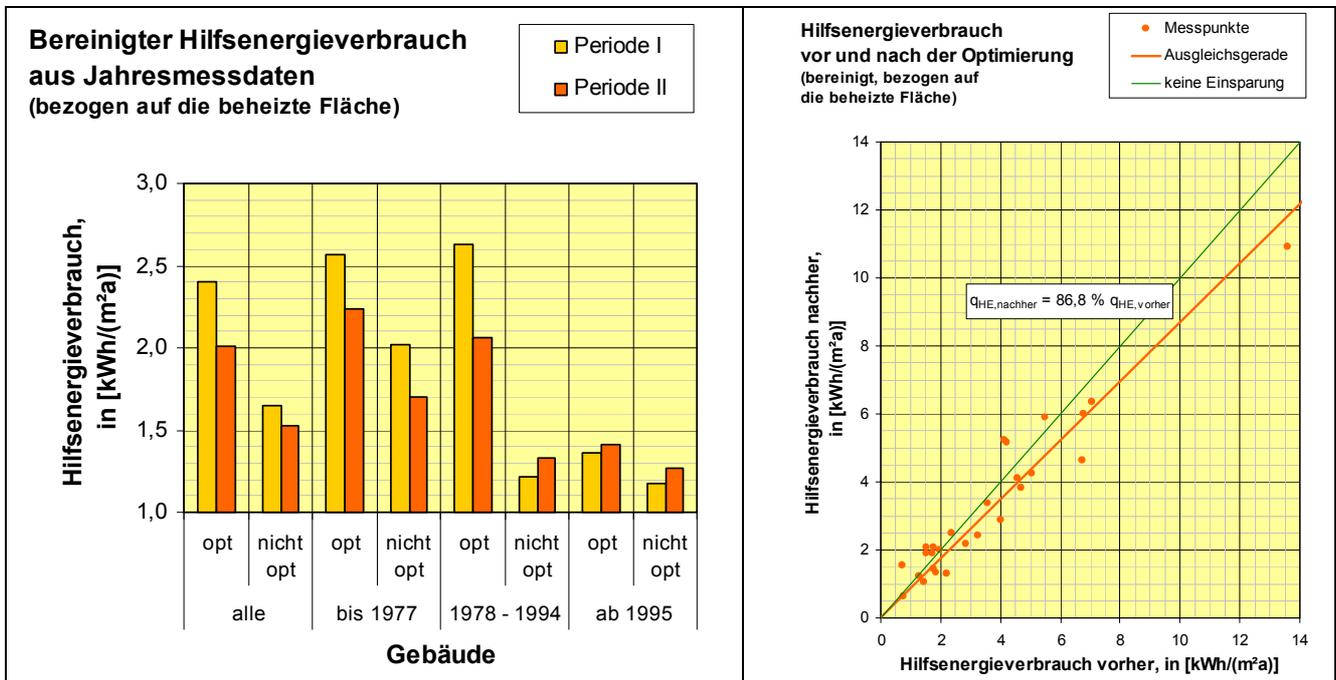


Bild 217 Einsparung Hilfsenergieverbrauch

In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 4000 kWh/a Hilfsenergie eingespart werden.

Primärenergie und CO₂-Äquivalent

Die optimierten Gebäude weisen verglichen mit den nicht optimierten Gebäuden eine Primärenergieeinsparung von 10 kWh/(m²a) bzw. eine CO₂-Einsparung von 2,1 kg/(m²a) auf. Damit können

durch das OPTIMUS-Projekt insgesamt etwa 124.000 kWh/a Primärenergie oder etwa 28.300 kg/a CO₂-Äquivalent eingespart werden.

Rechnet man die Erfolge des OPTIMUS-Projekts auf den gesamten Gebäudebestand hoch, ergibt sich je nach Rechenszenario ein Primärenergieeinsparpotential von 4 ... 7 ... 9 kWh/(m²a), wenn die Anlagentechnikoptimierung sofort und ohne weitere bauliche Optimierung stattfindet. Bei einer kombinierten Bau- und Anlagentechnikoptimierung erhöhen sich die Werte auf 7 ... 10 ... 12 kWh/(m²a). Dies entspricht einem Einsparpotential im gesamten Gebäudebestand von 20.000 ... 28.000 GWh/a Primärenergie.

Das Verminderungspotential für CO₂-Emissionen aufgrund der Anlagentechnikoptimierung liegt in einem wahrscheinlichen Bereich von 0,9 kg/(m²a) im Minimum bis maximal 2,7 kg/(m²a). Dies entspricht 4 ... 7 Millionen Tonnen CO₂-Einsparung jährlich. Zum Vergleich: in der Bundesrepublik Deutschland liegt die Gesamtemission bei knapp unter 900 Millionen Tonnen CO₂ jährlich, wobei die Hälfte durch Emissionszertifikate erfasst ist. Für die Raumwärmebereitstellung werden jährlich etwa 250 Millionen Tonnen CO₂ emittiert.

Die zu erwartende Primärenergie- und CO₂-Einsparung wird deutlich größer, wenn die Heizungsanlagenoptimierung kombiniert mit einer baulichen Verbesserung bzw. in neuen Gebäuden sofort durchgeführt wird. Wenn so weiterverfahren wird wie bisher – d.h. die Gebäude werden zunehmend besser gedämmt, die Anlagentechnik aber ohne Qualitätssicherung belassen – werden in Zukunft weitaus größere Energiemengen verschwendet, da die Einsparung mit besserem Baustandard zunimmt. Dies wird durch die Erkenntnisse aus Felduntersuchungen mit Passivhäusern und konventioneller Pumpenwarmwasserheizung bestätigt: Leistungsüberdimensionierung führt zu Mehrverbrauch [35].

Sondermaßnahmen

In acht Etagenwohnungen eines MFH wurden – auf Vorschlag des Projektantragstellers Obermeister Stein – im Zuge der Optimierung die im Kessel integrierten, unregelmäßig betriebenen Pumpen durch geregelte ersetzt. Es konnte eine Heizwärmeersparnis von 28 kWh/(m²a) bzw. 21 % sowie eine Hilfsenergieersparnis von 1,4 kWh/(m²a) bzw. 18 % (jeweils bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung) erreicht werden. Für die acht Etagenwohnungen ist die Optimierung mit Pumpentausch als großer Energiesparerfolg zu werten, auch wenn weitere vom Nutzer abhängige Einflüsse auf den Verbrauch zu vermuten sind. Das bedeutet: nur zusammen mit dem Nutzer sind hohe Einsparungen zu erwarten.

In drei Mehrfamilienhäusern wurden für die Optimierung in einem der Gebäude neuartige Thermostatventile mit integrierter Differenzdruckregelung und zum Vergleich in den anderen beiden Gebäuden konventionelle voreinstellbare Thermostatventile für den hydraulischen Abgleich verwendet. In allen drei Gebäuden wurden die vorhandenen Pumpen durch Regelpumpen ersetzt. Die witterungsbereinigte Einsparung von Heizwärme beträgt zwischen 17 und 26 % bezogen auf den Verbrauch vor der Optimierung. Die Einsparung an Heizwärme ist bei den Gebäuden mit konventionellen, voreinstellbaren Thermostatventilen höher als in dem Gebäude mit den selbstregelnden Ventilen. Dieses Ergebnis ist wegen der geringen Anzahl von Gebäuden zunächst nicht verallgemeinerbar.

Nutzerzufriedenheit und Gerätetechnik

Die Auswertung einer Stichprobe von Nutzerbefragungen nach der Optimierung zeigt, dass sich bei Nutzern der Gesamteindruck und die Zufriedenheit verbessern. Etwa ein Drittel der Befragten ist zufriedener als vorher, viele können jedoch nicht genau spezifizieren, warum dies so ist. Für 8 % der befragten Nutzer haben sich die Probleme gehäuft.

Nach der Optimierung nehmen die Probleme mit zu langen Aufheizzeiten, unterschiedlich warmen Räumen/Heizkörpern und Luft in der Anlage ab. Geräuschprobleme und eine nicht ausreichende Beheizung werden dagegen als Problem gesehen.

Ursache für Geräusche sind nach Ansicht der Autoren zu hohe Pumpenförderhöhen, die auch nach der Optimierung in vielen Anlagen vorlagen. In Gaswandgeräten (Thermen) integrierte Pumpen konnten nicht an die Anlage angepasst werden, so wurden Thermostatventile stark voreingestellt, was zu Geräuschproblemen führte. Gesprächsrunden mit Handwerkern in der Region Hannover (proKlima, April 2005) bestätigten diese Aussage.

Alternativ hätten Differenzdruckregler eingebaut werden können, die jedoch (aus Kostengründen) nicht überall nachinstalliert wurden. Zudem stellen Sie nur eine suboptimale Lösung des Problems dar, da vorhandene Druckenergie einfach gedrosselt wird, anstatt sie gleich an der Pumpe zu vermindern. Hier besteht Verbesserungsbedarf bei der zukünftigen Geräteentwicklung der Kesselhersteller. Künftig muss das Augenmerk auf Geräte mit guten „primärenergetischen Nutzungsgraden“ gerichtet werden (incl. Pumpenleistung). Das bedeutet in diesem Fall, es müssen Wandkessel am Markt mit kleinen einstellbaren Pumpen oder ohne integrierte Pumpe verfügbar sein. Dieser Aufruf an die Gerätehersteller wurde bereits im Rahmen des DBU-Projekts „Brennwertkessel“ ausgesprochen und hier noch einmal wiederholt.

Darüber hinaus besteht bei der Optimierung noch Verbesserungsbedarf bei der Wahl der Komponenten durch den Handwerker bzw. auch bei der Sorgfalt der Umsetzung der Optimierung und in der Nutzeraufklärung.

Der Effekt des hydraulischen Abgleichs scheint in zwei verschiedenen Ausprägungen bei den Nutzern anzukommen:

- einzelne Nutzer sind sehr zufrieden mit der sich ergebenden gleichmäßigen Beheizung, so dass sie nach eigenen Angaben sparsamer heizen können.
- andere Nutzer haben das Gefühl, die Räume werden einzeln oder alle nicht mehr ausreichend beheizt.

Es ergibt sich auch im OPTIMUS-Projekt die Erkenntnis, dass Nutzer unbedingt in den Optimierungsprozess einbezogen werden müssen, damit die Auswirkungen der Optimierung verstanden werden.

13.2 Wirtschaftlichkeit und Optimierungsempfehlungen

Ziel der Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit ist es, zum einen den Nachweis zu erbringen, dass die Optimierung wirtschaftlich ist und zum anderen Gebäudegruppen zu identifizieren, in denen ein schneller Kapitalrückfluss zu erwarten ist.

Kostenfunktionen

Anhand der im Projekt durchgeführten Optimierungen wurden für Ein- und Mehrfamilienhäuser verschiedener Größe Kostenansätze für die Optimierung abgeleitet.

Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte von 1,8 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 5,5 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte von 1,3 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 4,2 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR).

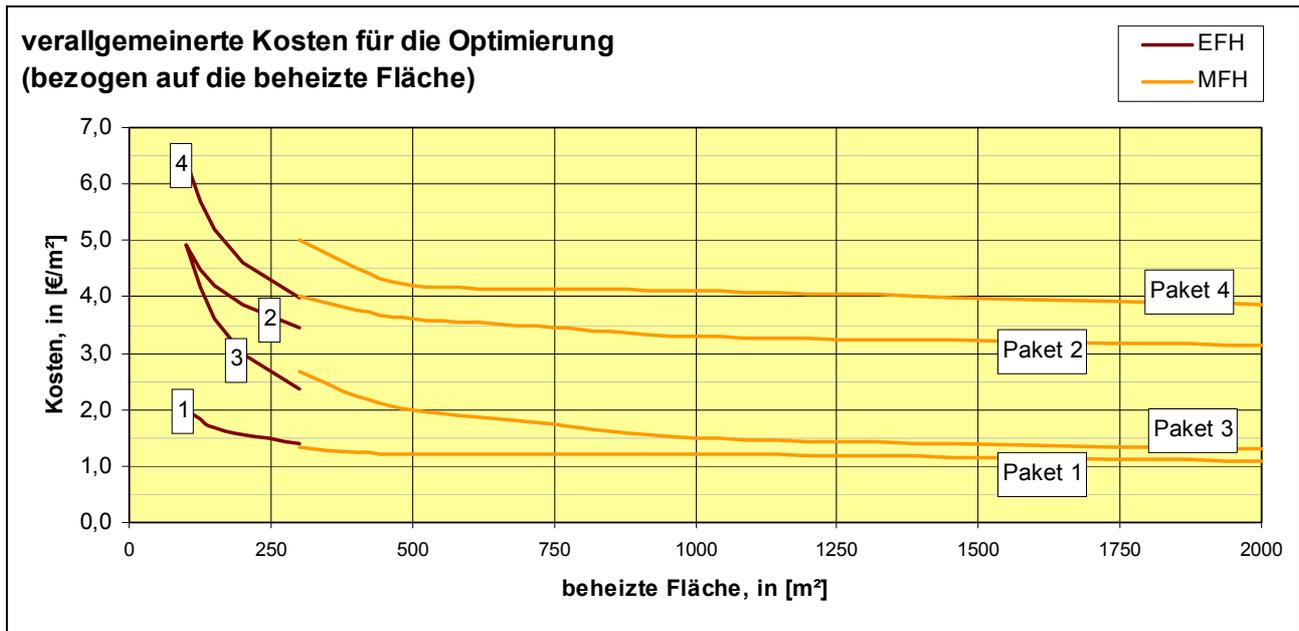


Bild 218 Durchschnittskosten für die Optimierung

Notwendige und erreichte Energieeinsparung

Aus den zu tätigen Investitionskosten lassen sich notwendige Energieeinsparungen ableiten, die mindestens erreicht werden müssen, damit die Optimierung wirtschaftlich ist.

Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte von 4,4 kWh/(m²a) Wärmeenergie für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 9,2 kWh/(m²a) Wärmeenergie für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte von 2,2 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 6,0 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Die notwendige elektrische Energieeinsparung würde etwa 30 % der genannten Mengen betragen. Wird beides eingespart, Wärme und Strom, ergeben sich entsprechend Zwischenwerte.

Es wurden insgesamt knapp 42.000 € investiert. Daraus ergeben sich für alle Gebäude zusammen jährliche Kapitalkosten von insgesamt knapp 4200 €/a. Zusätzlich zu diesen bedingen die in mehreren Gebäuden nachträglich installierten Schmutzfilter zusätzliche jährliche Wartungskosten von knapp 200 €/a (ebenfalls für alle Gebäude zusammen).

Diese jährlichen Zusatzkosten erfordern, dass insgesamt eine Menge von entweder knapp 58.000 kWh/a thermische Energie ODER 19.000 kWh/a elektrische Hilfsenergie gespart werden muss, damit die Investitionen wirtschaftlich sind.

Die erreichte Energieeinsparung an Wärme- und Hilfsenergie (ausgedrückt in einer äquivalenten Energiemenge mit Umrechnungsfaktor 3 für Strom und 1 für Wärmeenergien) beträgt etwa 117.200 kWh/a bei den optimierten Gebäuden.

Das Projektziel konnte somit auf jeden Fall erreicht werden: der Nachweis, dass die Optimierung wirtschaftlich zu erreichen ist.

Die Wirtschaftlichkeit wird bei Gebäuden der ältesten Baualtersklasse – weder bei EFH noch bei MFH – erreicht. Hier sind die Investitionen hoch und die Energieeinsparungen niedrig. Die Gebäude mit Baujahren nach 1978 erreichen im Mittel die Wirtschaftlichkeit. In fernwärmeversorgten Gebäuden kann – unabhängig von der Altersklasse – eine Wirtschaftlichkeit gerade erreicht werden.

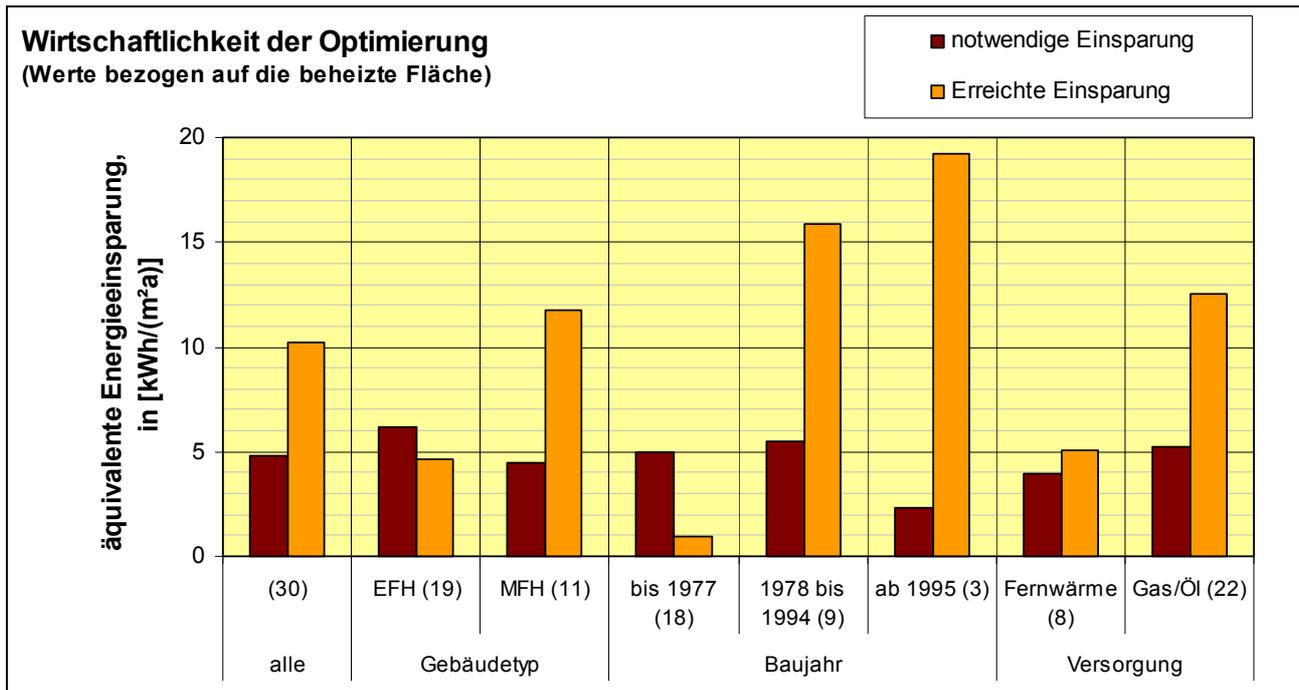


Bild 219 Wirtschaftlichkeit der Optimierung

Hochrechnungen

Auf Basis der hochgerechneten erreichbaren Energieeinsparungen und dem ermittelten Investitionsbedarf für den deutschen Gebäudebestand kann abgeschätzt werden, ab welcher Energiepreissteigerung die Optimierung des gesamten Gebäudebestandes wirtschaftlich ist.

Aus dem mittleren Investitionsbedarf von 3,75 €/m² ergeben sich Kapitalkosten von 0,36 €/m²a. Diese müssen durch Energiekostenverminderungen gedeckt werden. Ausgehend von den verschiedenen Hochrechnungen für den gesamten Gebäudebestand ergibt sich, dass die Optimierung aller Gebäude wirtschaftlich ist. Im schlechtesten Fall rechnen sich die Investitionen erst ab einer jährlichen Energiepreissteigerung von 7 %/a (15 Jahre Betrachtungszeitraum) bzw. von 6 %/a (16 Jahre Betrachtungszeitraum).

In allen anderen Szenarien ist die Wirtschaftlichkeit innerhalb eines Betrachtungszeitraums von 15 a bereits mit heutigen Energiepreisen (ohne Preissteigerung!) gegeben. Oder anders ausgedrückt: bei einer zu erwartenden Preissteigerung von mindestens 6 %/a rechnet sich die Investition innerhalb von 6 ... 10 Jahren.

Empfehlungen für Neubau und Bestand

Die in Tabelle 86 klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung, es gilt "++" als am erfolversprechendsten. Die Bewertung durch die OPTIMUS-Partner erfolgt anhand der erreichten Energieeinsparung sowie der Wirtschaftlichkeit.

Gebäude der Baujahre ab 1978 können uneingeschränkt optimiert werden, auch nachträglich mit Investition in Komponenten. Aus der Gruppe der Gebäude mit Baujahren vor 1977 sollten vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, weil hier die größeren Einsparungen zu erwarten sind. In dieser Gebäudegruppe sollte die Optimierung jedoch erfolgen, wenn ohnehin Investitionen in die Anlage notwendig sind, eine Modernisierung der Gebäudehülle erfolgt ist oder wenn bereits einstellbare Komponenten vorhanden sind.

Für die zusätzliche Planung und Ausführung einer qualitativ hochwertigen Anlagentechnik im Neubau - gegenüber einem heute üblichen „planungslosen“ Standard - werden etwa 5 ... 8 €/m² als realistisch angesehen. Dabei ergeben sich etwa 1,5 €/m² im MFH und 2,0 €/m² im EFH für die Pla-

nung und Umsetzung der reinen Optimierung (Heizlastberechnung, Rohrnetzberechnung, Heizflächen-, THKV- und Wärmeerzeugerauswahl, Einstellung von THKV, Pumpen und ggf. Differenzdruckreglern sowie zentralen Reglern und eine nachvollziehbare Dokumentation), incl. Qualifizierung des Personals. Die restlichen Kosten werden für höherwertige Komponenten und Dämmungen angesetzt.

	EFH		MFH	
	mit Kessel	mit Fernwärme	mit Kessel	mit Fernwärme
Baujahr bis 1977 – nicht baulich modernisiert	O	O	O	O
Baujahr bis 1977 – größtenteils baulich modernisiert	+	+	++	+
Baujahr 1978 bis 1994	+	+	++	+
Baujahr ab 1995	++	++	++	++

Tabelle 86 Empfehlungen für Optimierung

Dies entspricht bei heutigen Baupreisen (1200 €/m²) etwa 0,7 % der Investitionssumme. Die Grenzwirtschaftlichkeit erfordert bei einer 15-jährigen Betrachtung eine mittlere jährliche Energieeinsparung von 10 ... 15 kWh/(m²·a), die aus den Projektergebnissen als realistisch angesehen wird und durch frühere Untersuchungen bestätigt wird.

Die Optimierung der Heizungsanlage im Neubau und im Zuge einer ohnehin anstehenden Modernisierung sollte unbedingt durchgeführt werden, da der Aufwand der Datenerhebung nie wieder so gering ist und die erreichbaren Energieeinsparungen verhältnismäßig hoch sind.

13.3 Erkenntnisse für Verordnung und Normung

Bislang fehlen sowohl verbindliche Normen oder Richtlinien für die technische Umsetzung einer Optimierung von Bestandsheizungsanlagen als auch Bewertungsmaßstäbe für die resultierende Energieeinsparung. Auch die gesetzlichen Verordnungen zur Energieeinsparung (früher Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung, aktuell Energieeinsparverordnung) honorieren eine durchgeführte Anlagenoptimierung nicht. Auf Basis der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ist dies möglich, z.B. wie nachfolgend zusammengefasst.

Empfehlungen für die EnEV bzw. die Umsetzung der EU Gebäuderichtlinie

In der während der gesamten Projektlaufzeit geltenden Energieeinsparverordnung werden unter anderem Anforderungen an Neubauten und Bestandsgebäude hinsichtlich ihres Energiebedarfs gestellt. Diese Anforderungen haben das Ziel, die Gesamtemissionen in Deutschland zu vermindern. Detaillierte Ausführungen sind in der Literatur zu finden, z.B. [26].

Für Neubauten darf (abgesehen von Ausnahmen) sowohl ein definierter Primärenergiebedarf nicht überschritten als auch eine bestimmte Güte der Hüllkonstruktion nicht unterschritten werden. Für Bestandsgebäude sind im Falle einer Sanierung oder Modernisierung definierte Anforderungen an die Qualität der Hüllbauteile (Wände, Fenster usw.) einzuhalten. Für Bestandsgebäude ist kein Nachweis des Primärenergiebedarfs möglich, da bei Verabschiedung der Energieeinsparverordnung in Deutschland keine genormten Rechenverfahren vorlagen.

Die Auswirkungen einer durchgeführten Qualitätssicherung für den baulichen Wärmeschutz werden bei der Bewertung von Neubauten bereits berücksichtigt.

So erhalten nachweislich dichte Gebäude (Gebäudedichtheitsmessung) beim Nachweis des Energiebedarfs einen Bonus in Form eines verminderten theoretischen Energiebedarfs. Der Bonus beträgt etwa 6 kWh/(m²·a) bezogen auf die in der EnEV verwendete Gebäudenutzfläche A_N. Dies entspricht in Wohngebäuden etwa 7 kWh/(m²·a) bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche.

Eine weitere Honorierung qualitätsgesicherten Bauens erfolgt über die Bewertung von Wärmebrücken. Erfolgt die Ausführung der Wärmebrücken im Neubau in Anlehnung an die Ausführungsbeispiele der DIN 4108 Beiblatt 2, ergibt sich je nach Kompaktheit ein geringerer Heizwärmebedarf. Der rechnerische Vorteil beträgt 5 ... 10 kWh/(m²a) bezogen auf die in der EnEV verwendete Gebäudenutzfläche A_N. Entsprechend 6 ... 12 kWh/(m²a) bezogen auf die tatsächliche beheizte Fläche.

Ob sich die Energieeinsparung im Einzelfall in der Praxis tatsächlich einstellt bzw. in welcher genauen Höhe, wird hier nicht kommentiert. Grundsätzlich wird – zu recht – per Verordnung belohnt, wer dicht und wärmebrückenarm baut; weil dies über die Summe aller Gebäude zu einer Energieeinsparung führt.

Nach diesem Schema könnte auch eine Qualitätssicherung für die Anlagentechnik erfolgen. Eine Honorierung ist bislang weder für neue noch für bestehende Gebäude im Rahmen der EnEV vorgesehen. Hier wird vorausgesetzt, dass eine "Ausführung nach den Regeln der Technik" erfolgt. Dass dies in der Praxis nicht der Fall ist, zeigen die Untersuchungen des Zustands der im Projekt teilnehmenden Gebäude.

Im Rahmen der derzeitigen Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden besteht die Chance, die Qualitätssicherung von Anlagentechnik nach dem gleichen "Bonusprinzip" zu honorieren. Da mit der Umsetzung der Richtlinie ab 2006 erstmals auch eine gesamtenergetische Bewertung von Bestandsgebäuden vorgesehen ist, lassen sich die Projekterkenntnisse für neue und bestehende Gebäude berücksichtigen.

Folgende Boni für die Qualitätssicherung (Jahresheizwärmebedarf und Hilfsenergiebedarf, beide bezogen auf die beheizte Fläche) werden nach Erkenntnissen aus dem OPTIMUS-Projekt zunächst für Wohngebäude vorgeschlagen:

- Wohngebäude mit Baujahren vor 1978 ohne weitere bauliche Maßnahmen: Bonus für Heizwärmebedarf $\Delta q_h = 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ – es ist davon auszugehen, dass im Mittel keine Heizwärmeeinsparung durch die Optimierung erreicht werden kann.
- Wohngebäude mit Baujahren nach 1978 sowie baulich auf diesen Standard modernisierte Gebäude: Bonus für Heizwärmebedarf $\Delta q_h = -10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.
- Alle Wohngebäude: Bonus für Hilfsenergiebedarf $\Delta q_{EI} = -0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Damit liegt ein Bonus für die Qualitätssicherung der Anlagentechnik in einer vergleichbaren Größenordnung wie der Bonus für einen erfolgreich bestandenen Gebäudedichtheitstest. Die Ergebnisse des Projekts wurden bereits bzw. werden zu Projektende in den entsprechenden Kreisen des Verordnungsgebers (Bau-, Wirtschafts- und Umweltministerium) kommuniziert. Sollten die OPTIMUS-Ergebnisse so oder in anderer geeigneter Weise in die Verordnung einfließen, ergibt sich ein hohes Einsparpotential und ein Arbeitsplätze förderndes Potenzial für das umsetzende Handwerk bzw. die Branche der Planer.

Auswirkungen der Ergebnisse auf Verordnung, Normung und Richtlinienarbeit

Die gewonnenen Erkenntnisse des Projekts können auf mehrere Arten in Verordnung, die Normung (DIN) bzw. in die Richtlinienarbeit (VDI u.a.) eingehen:

1. Der im Projekt gemessene Einspareffekt einer Optimierung kann als Qualitätssicherungsbonus in die theoretische Energiebilanzierung (DIN 4701-10, DIN 4701-12, PAS 1027, DIN 18599) bzw. in eine Novellierung der Energieeinsparverordnung 2006 Eingang finden.
2. Die im Projekt nachgewiesene Abweichung von theoretischen und gemessenen Energiekennwerten kann verwendet werden, um die Randbedingungen der theoretischen Rechenverfahren (Energiebilanzierung, Heizlastberechnung) zu verbessern, damit Bedarf und Verbrauch künftig besser übereinstimmen.

3. Die Verfahren zur technischen Umsetzung der Optimierung in für Planung und Ausführung können als verbindliche Regeln der Technik umgesetzt werden.

Enthält ein theoretisches Energiebilanzverfahren einen Qualitätssicherungsbonus für die Umsetzung der Optimierung, ist damit ein Anreiz zur Umsetzung gegeben. Dies gilt sowohl für den öffentlich-rechtlichen Nachweis (im Rahmen der künftigen Umsetzung der EnEV 2006 und der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie) als auch für die privatrechtliche Energieberatung. Vor allem wenn sich Maßnahmen hinsichtlich Energieeinsparung und Kosten oder Wirtschaftlichkeit bewerten lassen, stellen sie für den Endkunden einen Anreiz dar.

Eine Einspeisung der Erkenntnisse – in Form dieses Endberichts – in die entsprechenden Normungskreise zur Gebäuderichtlinie (DIN V 18599) sowie in die VDI-Richtlinien zu diesem Thema (VDI 2067, VDI 3808) ist vorgesehen.

Normung und Richtlinienarbeit zur Anlagenoptimierung

Die Festschreibung der im Projekt erfolgreich getesteten notwendigen Arbeitsschritte einer Heizungsanlagenoptimierung im Bestand (Eingangsdaten, Berechnungsablauf, Umsetzung) in einer technischen Regel wäre aus Sicht der Projektgruppe sinnvoll. Bislang fehlen verbindliche Handlungsanweisungen. Dies würde dem Anwender eine Rechtssicherheit über die Vorgehensweise bieten, ihn aber im Gegenzug auch verpflichten, die Regel einzuhalten.

Während der Projektlaufzeit wurden die Fachveröffentlichungen [25], die Basis der Rechenprogramme zur Optimierung sind, beispielsweise an den VDMA übersendet. Es sollte geprüft werden, inwieweit die Ergebnisse in das VDMA-Blatt 24199 "Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und Raumluft-technischen Anlagen" übernommen werden können. Bis zum Projektende ist darüber noch keine Entscheidung gefallen; hier werden künftig weitere Aktivitäten notwendig sein.

Abweichungen zwischen Theorie und Praxis

Neben dem Nachweis der Energieeinsparung durch die Optimierung wurden die Verbrauchsauswertungen der untersuchten Gebäude verwendet, um einen Abgleich zwischen theoretischen und gemessenen Energiekennwerten durchzuführen. Untersucht wurden beispielsweise Heizgrenztemperaturen, Auslegungsheizlasten sowie Heiz- und Endenergiekennwerte. Nachfolgend sind wichtige Ergebnisse zusammengefasst.

In theoretischen Energiebilanzen wird – je nach Baualter und Baustandard – mit Heizgrenztemperaturen (Beginn und Ende der Heizzeit) zwischen 10 °C im Neubau und 15 °C im Bestand gerechnet. In der Praxis stellen sich weit höhere Werte zwischen 15 und 18 °C ein – fast unabhängig vom Baualter und Baustandard. Die sich ergebenden Heizzeiten (Tage mit Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur) sind in der Praxis also bedeutend länger als in der Theorie. Dies macht sich bei der Energiebilanz deutlich bemerkbar – die theoretischen Energiebedarfswerte sind tendenziell geringer als die praktischen Verbrauchswerte.

Die theoretisch berechnete Heizlast liegt bei den OPTIMUS-Gebäuden 30 % über den aus Messwerten abgeleiteten Auslegungsheizlasten, wobei die Werte für die ältesten Gebäude am stärksten vom Messwert abweichen und bei den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse fast übereinstimmen. Das bedeutet, dass alle Komponenten (Heizkörper, Wärmeerzeuger), die nach diesen Rechenverfahren bemessen werden, in der Praxis überdimensioniert sind.

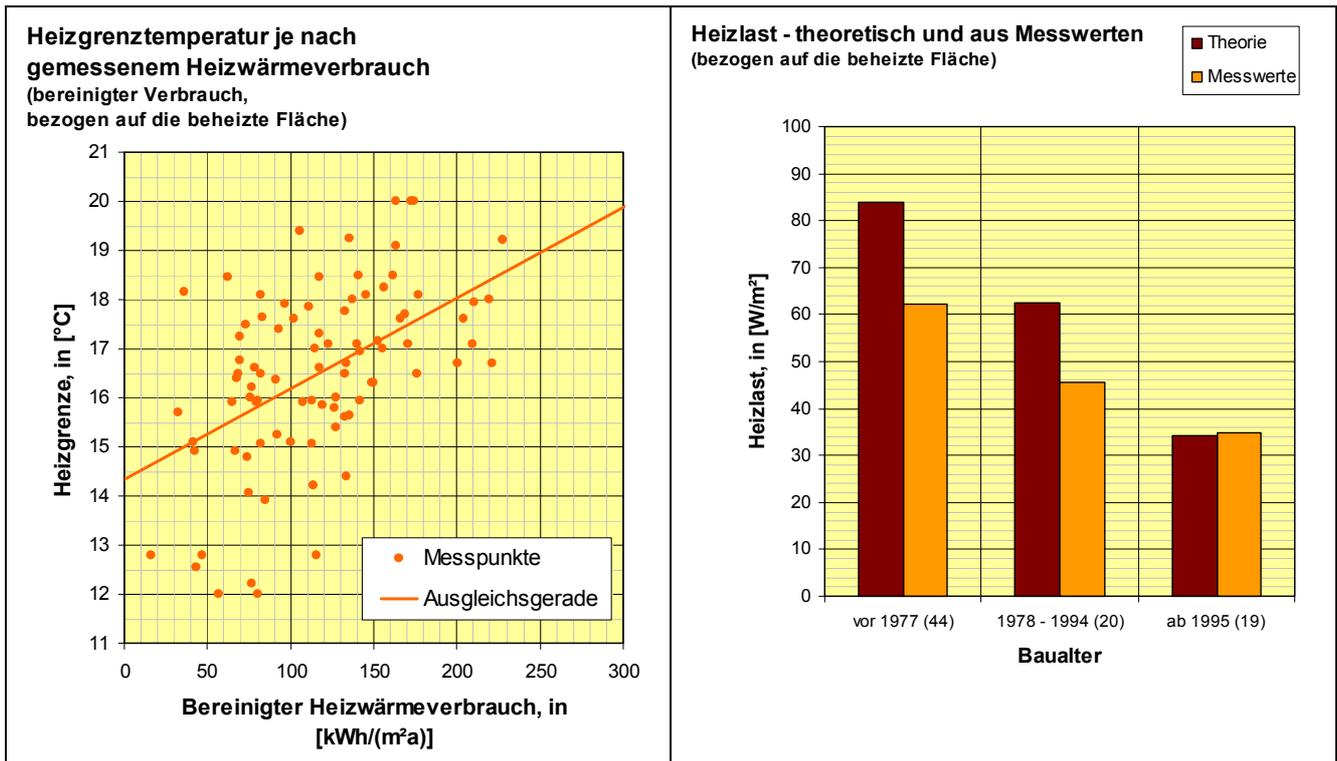


Bild 220 Heizgrenztemperatur und Heizlast

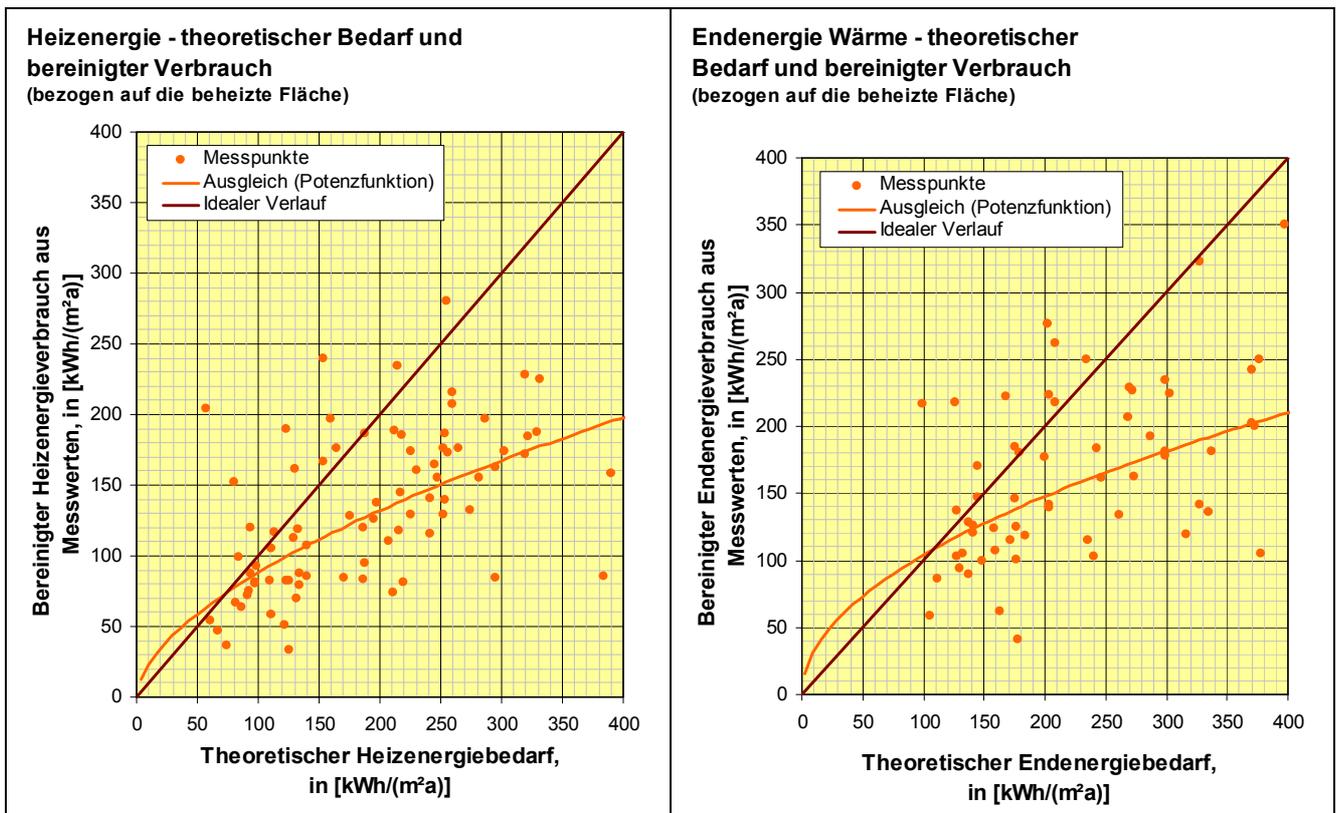


Bild 221 Heizenergie und Endenergie

Der bereinigte gemessene Heizenergieverbrauch liegt bei den OPTIMUS-Gebäuden mit Baujahren bis 1977 im Mittel 35 % unter dem berechneten Bedarfswerten. Bei den neuen Gebäuden (Baujahre ab 1995) liegt umgekehrt der Verbrauch 10 % über dem Bedarf. Dies zeigt, dass der Bestand hinsichtlich des Energieverbrauchs überschätzt wird (es wird weniger verbraucht als berechnet) und der Neubau bzw. der Zustand nach der Modernisierung jedoch unterschätzt (es wird mehr

verbraucht als berechnet). Dies hat Konsequenzen für Einsparprognosen bei einer Modernisierung, die allein auf Basis von Theoriedaten erfolgt: die Einsparung wird zu groß prognostiziert. Hier ist zu wünschen, dass die theoretischen Berechnungsprogramme bzw. die ihnen zugrundeliegenden Bilanzverfahren entsprechend angepasst werden, damit einem Bauherrn z.B. bei einer Energieberatung, nicht zu viel versprochen wird.

13.4 Ausblick

Das OPTIMUS-Projekt und seine technischen Ergebnisse lassen folgenden kurz-, mittel- und langfristigen Ausblick auf die Optimierung der Heizungsanlagentechnik zu: Langfristig ist davon auszugehen, dass aufgrund der weltweiten Energiesituation die Verbreitung von Passivhäusern und ausschließlich regenerativ versorgter Gebäude (auch in der Modernisierung) zwingend notwendig wird.

Diese Gebäude können nach zwei Grundsatzprinzipien gestaltet sein. Es werden Baukörper derart gedämmt, luftdicht ausgeführt und mit mechanischer Lüftung ausgestattet, dass prinzipiell auf die Pumpenwarmwasserheizung verzichtet werden kann (Passivhausprinzip). Alternative: regenerative Energiequellen sind praktisch ohne Ressourcenverbrauch nutzbar, wobei die konventionelle Heiztechnologie in ihrem Grundprinzip bestehen bleibt (Sonnenenergienutzung, nachwachsende Energieträger, Geothermie). Auch im zweiten Fall wird jedoch die Güte des Baukörpers bedeutend besser sein müssen als in heutigen Bestandsbauten. Eine Reduzierung des Endenergieverbrauchs um mindestens den Faktor 4 wird von verschiedenen Seiten als notwendig erachtet.

Setzt sich das Passivhausprinzip langfristig durch, wird die im Rahmen des Projekts vorgestellte Möglichkeit der Anlagenoptimierung von Warmwasserheizungen durch die Passivhausidee ersetzt. Für die Lüftung und Luftheizung gelten aber prinzipiell dieselben Qualitätsforderungen hinsichtlich Anpassung der Leistung an den Bedarf, hydraulischer Abgleich usw.

Wird es langfristig neben Passivhäusern auch weiterhin Gebäude mit konventioneller Pumpenwarmwasserheizung, jedoch mit regenerativen Wärmeerzeugern (Solar, Biomasse) geben – wovon aus heutiger Sicht mit großem zukünftigen Anteil auszugehen ist – werden die Erkenntnisse des Projekts in Zukunft noch wichtiger. Mit zunehmendem Dämmstandard der Gebäude reagiert das Gesamtsystem zunehmend sensibler auf die Güte und Qualität der Technik. In diesem Fall ist die Optimierung vor allem aus Gründen der Benutzungsqualität aber auch der Ressourcenschonung unverzichtbar.

Kurz- und mittelfristig wird es jedoch in jedem Fall Gebäude geben, die mit einer konventionellen Heizungsanlage (Pumpenwarmwasserheizung mit Heizkörpern, Pumpe und Erzeuger) und konventionellen Energieträgern betrieben werden. Bis also eine der langfristigen Entwicklungen abgeschlossen ist, bietet die OPTIMUS-Heizungsanlagenoptimierung auf jeden Fall die Chance, Energieressourcen zu schonen und Impulse für das Handwerk zu setzen.

Sie wird von der OPTIMUS-Projektgruppe daher unbedingt empfohlen.

14 Hinweise zum Anhang auf CD

Auf der CD, welche dem Gesamtbericht beiliegt, finden Sie den Anhang zum Projekt. Die technische Untersuchung und Auswertung der Energiedaten und Wirtschaftlichkeit betreffend sind folgende Daten hinterlegt:

1

- Erfassungsblätter für die Zählerauslesung
- Inhaltsverzeichnis und Beschreibung des Hausordners mit Beispielhausordner

2

- Inhaltsbeschreibung der OPTIMUS-Datenbank

3

- Aufnahmeformulare für OPTIMUS-Bestandsaufnahme mit Handbuch
- Handbuch zur Bauteilbestimmung
- Checklisten zur Qualität und zum Nutzerverhalten

4

- Handbuch mit Grundlageninformationen zur Optimierung
- Handbuch mit Vertiefungsinformationen zur Optimierung

5

- Excelprogramm zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Handbuch
- Excelprogramm und Handbuch zum Ausführlichen Verfahren der Optimierung

6

- Endberichte für die Gebäudebesitzer
- Messdaten der OPTIMUS-Gebäude
- EID-Berechnungen für die OPTIMUS-Gebäude
- Berechnungen Optimierungsprogramm für die OPTIMUS-Gebäude

7

- Diplom- und Studienarbeiten

8

- Herstellerunterlagen Wärmemengenzähler und Entfernungsmessgerät

15 Quellen

- [1] Brennwertkessel im Feld; von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördertes Projekt zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von Brennwertkesseln im Feld; durchgeführt von der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2004.
- [2] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.); Leitfaden nachhaltiges Bauen; Bonn; 2001.
- [3] Buscher, E. et al; Qualitätsoffensive für Heizungsanlagen; Teile 1 bis 4; Sanitär- und Heizungstechnik; 9, 10, 11 und 12/2000; Krammer; Düsseldorf; 2000.
- [4] Christoph, Thomas; Analyse des Verbrauchs und Energieeinsparpotentiale von Heizungsanlagen in Wohngebäuden anhand monatlicher Messwerte; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2004.
- [5] Christoph, Thomas; Untersuchung des Verhältnisses von monatlichen Wetterdaten und Heizenergieverbräuchen Studienarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2004.
- [6] Deutscher Wetterdienst (Hrsg.); Tageweise Wetterdaten für verschiedene Standorte; im Internet unter www.dwd.de; Stand 2003.
- [7] DIN 4701; Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden; Teil 1: Grundlagen der Berechnung; Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen; Teil 3: Auslegung der Raumheizeinrichtungen; Beuth; Berlin; 1983 und 1989.
- [8] DIN EN 832; Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude; Deutsche Fassung EN 832; Beuth Verlag; Berlin; 1998.
- [9] DIN V 4108 Teil 6; Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Vornorm – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfes; Beuth-Verlag; Berlin; 2000 und 2003.
- [10] DIN V 4701 Teil 10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Vornorm – Teil 10: Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung; Beuth-Verlag, Berlin, 2001 und 2003.
- [11] Dödtmann, Frank; Energieverbrauch und Wirtschaftlichkeit von Bestandsgebäuden – Optimierungspotential durch Qualitätssicherung; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003.
- [12] Ebel, W. W. Eicke-Hennig, W. Feist, H.-M. Groscurth; Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte; IWU; Darmstadt; 1996.
- [13] EN 12831; Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Beuth Verlag; Berlin; 2003.
- [14] EnEG; Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden; vom 22. Juli 1976 (BGBl. I S. 1873); Zuletzt geändert am 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 701).
- [15] Energie und Umweltzentrum (Hrsg.); 10. euz Baufachtagung – Energetische Gebäudemodernisierung; Eigendruck euz.; ohne Ort; 2001.
- [16] EnEV; Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV); 2001.
- [17] Geiger, B.; Brennstoffverbrauch in Wohngebäuden: Gebäude- und Anlagenalter; Der Energieberater; 49. Erg.-Lfg.; S. 1 – 20; DWD Verlag; Köln; 2001.
- [18] GEMIS 3.0; nach Fritsche/Leuchtnner/Matthes/Rausch/Simon "Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme"
- [19] GRE (Hrsg.); Energieeinsparung im Gebäudebestand; Ausgabe I/2002; Baucom; Böhl-Ingelheim; 2002.
- [20] Hassler, Uta (Hrsg.); Umbau: über die Zukunft des Baubestandes; Wasmuth; Tübingen; 1999.
- [21] Hauser, Gerd; Energieeinsparpotential im Bestand des Wohnungsbaus; GRE inform; Nr. 14/97; Kassel; 1997.

- [22] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.); Heizenergie im Hochbau – Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Elektra; Niedernhausen; 1996.
- [23] Isensee, Simon und Dödtmann, Frank; Darstellung der Relevanz der im OPTIMUS- Projektes abzufragenden Daten; Studienarbeiten an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003.
- [24] Isensee, Simon; Untersuchung des monatlichen Energieverbrauchs ausgewählter Mehrfamilienhäuser mit Hilfe eines ausführlichen Energiebilanzverfahrens; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003.
- [25] Jagnow, Kati / Halper, Christian / Timm, Tobias und Sobirey, Marco; Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr. 5, 8 und 11/2003, 1 und 3/2004; Gentner; Stuttgart; 2003 und 2004.
- [26] Jagnow, Kati / Wolff, Dieter und Horschler, Stefan; Die neue Energieeinsparverordnung; Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002.
- [27] Jagnow; Kati; Den Energieverbrauch vergleichbar machen; TGA Fachplaner; Nr. 11/2002; Gentner; Stuttgart; 2002.
- [28] Jagnow; Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; pro Business; Berlin; 2004.
- [29] Kolmetz, S. / Ostermeier, U. und Rouvel, L.; Endenergiebedarf der Privaten Haushalte für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung in der Bundesrepublik Deutschland; IKARUS 5-25; TU München; KFA; Jülich; 1994.
- [30] Loga, T. et al; Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2001.
- [31] Loga, Tobias und Imkeller-Benjes, Ulrich; Energiepass Heizung/Warmwasser; Institut Wohnen und Umwelt und IMPULS Programm Hessen; Darmstadt; 1997.
- [32] PAS 1027; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand, Ergänzung zur DIN 4701-12; Beuth; Berlin 2004.
- [33] Peter Deutscher und Lothar Rouvel; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003
- [34] Recknagel / Sprenger und Schramek; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; Oldenbourg; München; 2001.
- [35] Schulze-Darup, Burkhard; Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10; Berichtsband S. 323 – 331; 9. Int. Passivhaustagung; Ludwigshafen; 2005.
- [36] Sobirey, Marco; Evaluierung und Weiterentwicklung eines Programms zur Optimierung der Hydraulik; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003.
- [37] Statistisches Bundesamt (Hrsg.); Statistisches Jahrbuch 2001; Metzler-Poeschel; Stuttgart; 2001.
- [38] Timm, Tobias; Optimierung der Hydraulik in bestehenden Heizungsanlagen; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2002.
- [39] VDI 3807; Energieverbrauchskennwerte für Gebäude; Blatt 1: Grundlagen; VDI; 1994.
- [40] VDI Berichte Nr. 1010; Regelung und hydraulische Schaltungen in heiz- und raumluftechnischen Anlagen; Tagungsband; VDI Verlag; Düsseldorf; 1992.
- [41] VDI Berichte Nr. 1549, Regelung und Hydraulik in der Heiz- und Raumluftechnik; Tagungsband; VDI Verlag; Düsseldorf; 2000.
- [42] VDI Berichte Nr. 1692; Energetische Bewertung des Bestandes; Tagungsband; VDI Verlag; Düsseldorf; 2002.
- [43] VDI Berichte Nr. 593; Erfolgreiche Strategien in der Haustechnik; Tagungsband; VDI Verlag; Düsseldorf; 1986.
- [44] VDI Berichte Nr. 828; Sanierungsaufgaben in der technischen Gebäudeausrüstung; Tagungsband; VDI Verlag; Düsseldorf; 1990.
- [45] VDMA-Einheitsblatt; Regelungstechnische Anforderungen an die Hydraulik bei Planung und Ausführung von Heizungs-, Kälte-, Trinkwassererwärmungs- und Raumluftechnischen Anlagen (Arbeitstitel); VDMA; 2003.

- [46] Vorländer, J. / Wolff, D. und Hahn, S.; Bauen Am Kronsberg – Heiztechnisches Konzept; Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.); Amt für Umweltschutz; Hannover; 1998.
- [47] Wilo-Brain (Hrsg.); Heizungsanlagen optimieren!; Christiani; Konstanz; 2002.
- [48] Wohlers, Heike; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht), Wolfenbüttel; Dezember 2003.
- [49] Wolff, D. und Teuber, P.; Felduntersuchungen zur Planung und Ausführung heiz- und lüftungstechnischer Anlagen am Kronsberg; KUKA-Dokumentation; Edition 8; Wolfenbüttel; 2001
- [50] Wolff, Dieter / Budde, Jörg / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Brennwertkesseln; Abschlussbericht zum DBU Projekt; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (noch unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003/2004.
- [51] Wolff, Dieter / Jagnow, Kati / Ullrich, Christian und Halper, Christian; Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen; BBR Forschungsvorhaben; Endbericht; Institut für Heizungs- und Klimatechnik an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002.
- [52] Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmeerzeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [53] Wolff, Dieter und Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.

16 Nomenklatur

Formelzeichen	Erläuterung	typische Einheit
$a_{p,n}$	Annuitätsfaktor	a^{-1}
a_V	Ventilautorität	–
A	Begrenzungsfläche, Heizfläche	m^2
c_P	spezifische Wärmekapazität	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
C	hydraulischer Widerstand	$(\text{bar}\cdot\text{h}^2)/\text{m}^6$
f_P	Primärenergiefaktor	–
G	Heizgradtage	kKh/a
Gt	Gradtagszahl	kKh/a
h	Raumhöhe	m
H	Förderhöhe	m
H	bezogene Heizlast	W/K
H_o	Brennwert (oberer Heizwert), auch neu: H_s	$\text{kWh}/\text{m}^3, \text{kWh}/\text{l}$
H_u	Heizwert (unterer Heizwert), auch neu: H_i	$\text{kWh}/\text{m}^3, \text{kWh}/\text{l}$
k_e	bezogener Energiepreis	$\text{€}/\text{kWh}$
k_V	Durchflusskennwert (von Ventilen)	m^3/h
K	Kosten, jährlich	$\text{€}/\text{a}$
I_o	Investitionskosten	€
L	Länge (von Leitungen)	m
m	Nutzungsdauer, wirtschaftlich	a
m	Preissteigerung	–
\dot{m}	Massenstrom	kg/h
n	Luftwechsel	h^{-1}
n	Heizkörperexponent	–
n	Betrachtungszeitraum, wirtschaftlich	a
p	Druck	Pa, bar
p	Kapitalzinssatz	a^{-1}
q	bezogene Energiemenge	$\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$
Q	Energiemenge	kWh/a
\dot{Q}	Leistung	kW
s	Preissteigerung	a^{-1}
t	Zeit	h
U	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
V	Volumen	m^3
\dot{V}	Volumenstrom	m^3/h
X_P	P-Bereich, Proportionalbereich (eines Reglers)	verschieden, hier K
y	Funktionswert	verschieden
Δ	Differenz	verschieden
η	Nutzungsgrad	–
φ	Belastungsgrad	–
ϑ	Temperatur	$^\circ\text{C}, \text{K}$
ρ	Dichte	kg/m^3
σ	Standardabweichung	verschieden
Σ	Summe	verschieden

Tabelle 87 Formelzeichen

Zeichen	Erläuterung
$0, 1, 2 \dots$	Zählindex, Außentemperaturen, Heizwassertemperaturen
100	Maximalzustand, Auslegungszustand (100 %)
ϑ	Temperatur
a	außen (Temperatur)
a	Jahr (-eskosten)
a	Anlagen (-preissteigerung)
ab	abgegeben (-e Wärme)
A	Auslegungszustand, Auslegungswert
A	Abgas (-verlustleistung) (-verlustenergie)

<i>beheizt</i>	innerhalb des beheizten Bereichs (freiwerdende Wärme)
<i>B</i>	Bereitschaft (-sverlustleistung) (-sverlustenergie)
<i>ce</i>	control and emission, Übergabe (Wärmeverluste)
<i>d</i>	distribution, Verteilung (Wärmeverluste)
<i>e</i>	external, äußeres (Volumen)
<i>e</i>	Energie (-kosten) (-preisstesigerung) (-preisteuerungsrate)
<i>el</i>	elektrisch (-e Energie) (-e Leistung)
<i>extern</i>	außerhalb des beheizten Bereiches (auftretende Wärmeverluste)
<i>E</i>	Endenergie
<i>EB</i>	Energiebezug (-sfläche)
<i>F</i>	Fremdwärme (-nutzungsgrad)
<i>Fe</i>	Fenster
<i>g</i>	generation, Erzeugung (Wärmeverluste)
<i>h</i>	Heizwärme (Nutzwärme)
<i>H</i>	Heizenergie (Verlust-, Endenergiemengen)
<i>HG</i>	Heizgrenze
<i>HP</i>	Heizzeit, Heizperiode
<i>Hyd</i>	hydraulisch (-e Leistung)
<i>i</i>	innen (Temperatur)
<i>i</i>	Investition (-skosten)
<i>i</i>	Zählindex
<i>intern</i>	innerhalb des beheizten Bereichs (geregelt und ungeregelt anfallende Wärme)
<i>l</i>	innere (Fremdwärme)
<i>j</i>	Zählindex
<i>Kern</i>	Kernheizzeit
<i>ln</i>	logarithmisch (-e Übertemperatur)
<i>m</i>	Mittelwert
<i>m</i>	Nutzungsdauer
<i>max</i>	Maximalwert
<i>mess</i>	Messwert
<i>min</i>	Minimalwert
<i>Mittel</i>	Mittelwert
<i>n</i>	Zählvariable
<i>n</i>	Betrachtungszeitraum
<i>N</i>	Norm
<i>N</i>	Nutz (-fläche)
<i>Nutz</i>	Nutz (-leistung) (-energie)
<i>Opt</i>	optimal
<i>p</i>	Kapitalzins
<i>Pumpe</i>	Pumpe (-ndruckerhöhung) (-nvolumenstrom)
<i>R</i>	Rücklauf (-temperatur)
<i>s</i>	storage, Speicherung (Wärmeverluste)
<i>s</i>	Preissteigerung
<i>soll</i>	Sollwert
<i>S</i>	solar (Fremdwärme)
<i>S</i>	Strahlung (-sverlustleistung) (-sverlustenergie)
<i>S</i>	Serienkennwert (bei Thermostatventilen)
<i>t</i>	technisch (-e Wärmeverluste)
<i>thermisch</i>	thermisch (-e Energie) (-e Leistung)
<i>tw</i>	Trinkwasser (-nutzwärme)
<i>T</i>	transmission, Transmission (Wärmeverluste)
<i>TW</i>	Trinkwasser (Verlust-, Endenergiemengen)
<i>u</i>	Wartung und Unterhalt (-skosten) (-spreisteuerungsrate) (-spreisstesigerung)
<i>unbeheizt</i>	im unbeheizten Bereich (freiwerdende Wärme)
<i>V</i>	ventilation, Lüftung (Wärmeverluste)
<i>V</i>	Vorlauf (-temperatur)
<i>V</i>	Ventil
<i>Verbrauch</i>	Verbrauch
<i>Verlust</i>	Verlust
<i>WB</i>	Wärmebrücke
<i>x</i>	Zählvariable

Tabelle 88 Indizes