

Heizungsanlagen optimieren!

OPTIMUS – Optimierung von Heizungsanlagen

Teil 1: Überblick

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 der immer knapper werdenden fossilen 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 dies 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 bestehender Heizungsanlagen befasst und einen kostengünstigen Weg der Energieeinsparung aufzeigt. Es wurde begleitet von zahlreichen Studien- und Diplomarbeiten sowie einer Promotionsarbeit zur Qualitätssicherung von Heizungsanlagen.

Die Optimierung vorhandener Anlagen bedeutet, Überangebote von Wärmeenergie zu vermeiden und einzelnen Heizflächen die richtige Wärmemenge zuzuführen. Dazu ist es notwendig, die Heizwassertemperatur den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen sowie einen hydraulischen Abgleich (Einstellung planmäßiger Volumenströme) fachgerecht durchzuführen. Diese Einstellungen verursachen relativ geringe Kosten und können die Lebensdauer der Anlagenkomponenten verlängern. Um Akzeptanz für solche Vorgehensweisen zu erhalten, dürfen für die Nutzer keine Komforteinbußen und finanziellen Mehraufwendungen entstehen.

Um die Einsparmöglichkeiten einer Heizungsanlage zu erkennen und auszuschöpfen zu können, ist es erforderlich, das ganze „System Heizungsanlage“ mit seinen vielfachen Wechselwirkungen zu verstehen und die einzelnen Komponenten optimal aufeinander abzustimmen. Das Projekt OPTIMUS zielt nicht nur darauf ab, bisher ungenutzte Energieeinsparpotentiale durch eine technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und offenzulegen, sondern will sie mit einer Informations- und Qualifizierungsstrategie nachhaltig sichern.

Die Artikelserie stellt Ansätze der Promotionsarbeit sowie die Ziele und Ergebnisse des Projektes und dessen praktischer Umsetzung vor. Dabei wird der technische Aspekt in nachfolgenden Teilen schwerpunktmäßig beleuchtet. Der vorliegende erste Teil gibt einen Projektüberblick.

Projektförderung und Projektpartner des Projekts OPTIMUS

OPTIMUS (ausführlicher Projekttitel: Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der OPTimierung von Heizungssystemen durch InforMation und Qualifikation zur nachhaltigen NutzUng von EnergieeinSparpotenzialen) ist ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU in den letzten drei Jahren gefördertes Projekt, dessen Ergebnisse nun der Öffentlichkeit präsentiert werden.



Bild 1 Partner der von der DBU geförderten Projektgruppe OPTIMUS

Begonnen wurde die Initiative vor etwa 5 Jahren durch die Innung für Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven (Antragsteller des Projekts). Sie brachte die verschiedenen Interessensgruppen zusammen. Die Projektgruppe (Bild 1), bestehend aus:

- Innung für Sanitär- und Heizungstechnik, Wilhelmshaven,
- Berufsbildende Schulen II, Aurich,
- Trainings- und Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel,
- Forschungsgruppe Praxisnahe Berufsbildung, Universität Bremen,
- Fa. Wilo AG, Dortmund,

arbeitet seit August 2002 zusammen.

Projektziele und Projektmodule

Das Projekt OPTIMUS hat folgende wichtige Ziele:

1. Energieeinspar- und Wirtschaftlichkeitsnachweis der Optimierung von Heizungsanlagen. Durch die Optimierung von konkreten Anlagen soll gezeigt werden, wie viel Energie sich im Gebäude bzw. Anlagenbestand sparen lässt. Für verschiedene Gebäudebauklassen und Anlagenkonfigurationen wird durch Verbrauchsmessungen untersucht, in welchen Fällen die Heizungsanlagenoptimierung wirtschaftlich ist.
2. Qualifizierung und Geschäftsfeldentwicklung. Das Projekt soll im Beruf stehende Handwerker auf das mögliche neue Geschäftsfeld aufmerksam machen, aber auch für die Optimierung qualifizieren. Darüber hinaus werden auch Ausbildungsinhalte für Berufsschulen entwickelt und erprobt.
3. Öffentlichkeitsarbeit. Um ein Bewusstsein für die erwarteten Energieeinsparpotentiale der Anlagenoptimierung zu schaffen, werden Verbraucher-, Umwelt- und Fachverbände informiert.
4. Ideenverbreitung. Langfristig ist wesentliches Projektziel, die Optimierung von Heizungsanlagen zu einer Standardmaßnahme der energetischen Gebäudesanierung zu entwickeln. Hierfür werden die Grundsteine gelegt.

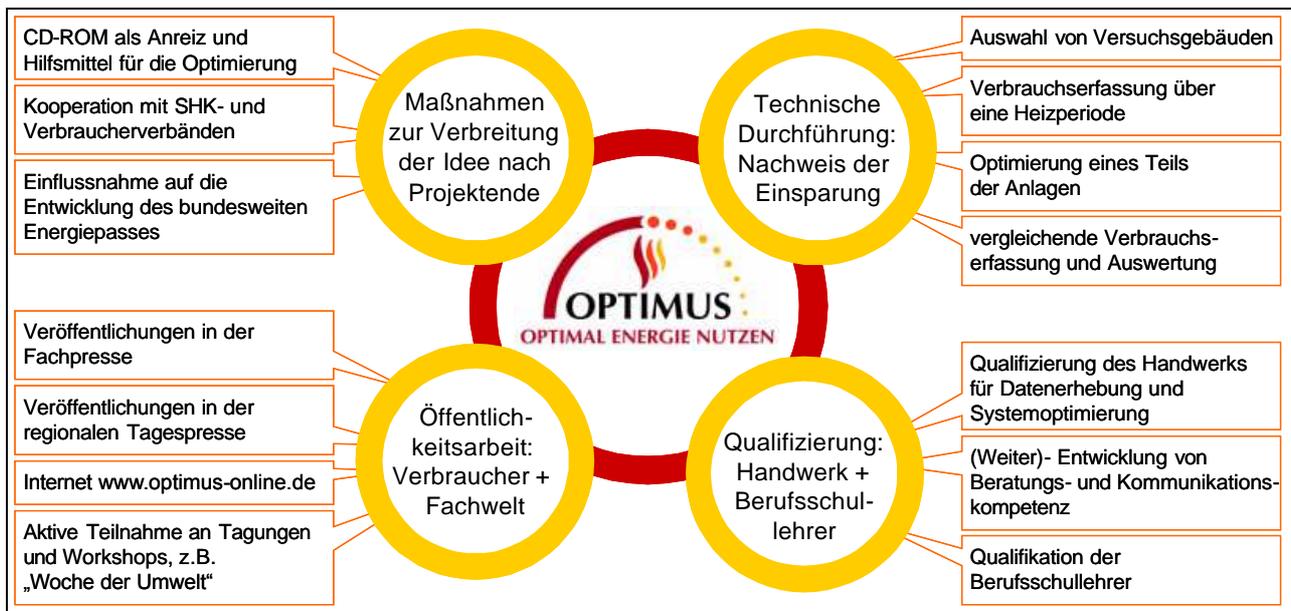


Bild 2 Ziele und Arbeitspunkte

Einige Details der damit verbundenen Arbeitsschwerpunkte zeigt Bild 2. Die zeitliche Einordnung wichtiger Etappen des Projekts wird in Bild 3 dargestellt.

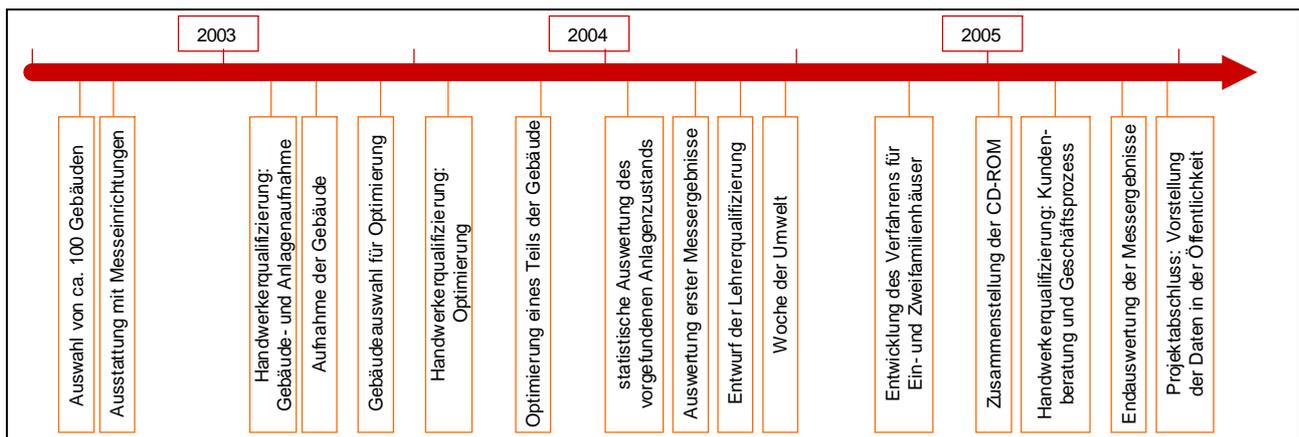


Bild 3 Zeitplan mit wichtigen Etappen des Projekts

Hemmnisse für die Qualitätssicherung von Heizungsanlagen

Die fehlende Umsetzung von Optimierung und Qualität von Heizungsanlagen in der Praxis hat vielfältige Ursachen. Auf Basis verschiedener Quellen und u.a. im OPTIMUS-Projekt gemachter Erfahrungen sind Erläuterungen zum Thema nachfolgend zusammengestellt, Bild 4.

Kernprobleme, die bis heute ein rasches Durchsetzen einer Qualitätssicherung für die Anlagentechnik in der Praxis behindern, sind die Unklarheit über mögliche Energieeinsparungen, Kosten und über die Gesamtwirtschaftlichkeit bei allen Beteiligten.

Darüber hinaus sind in der Praxis große Hemmnisse durch die ungeklärten Modalitäten der Honorierung, durch den fehlenden Rechtszwang einer optimierten Planung und Ausführung bzw. überhaupt durch die Mängel in technischen Regeln begründet. Die vorhandenen Regeln der Technik, die für eine Qualitätssicherung der Heizungsanlagentechnik herangezogen werden können, befassen sich vorwiegend mit Anlagen im Neubau. Für die hydraulische Berechnung von Netzen fehlen verbindliche Vorschriften, obwohl die VOB/C /DIN 18380 detaillierte Vorgaben zur Berechnung und Umsetzung eines hydraulischen Abgleichs bietet. Für bestehende Anlagen sind praktisch keine Planungs- und Ausführungsregeln vorhanden, so dass der heutige Zustand von Anlagen in der Praxis erklärbar wird.

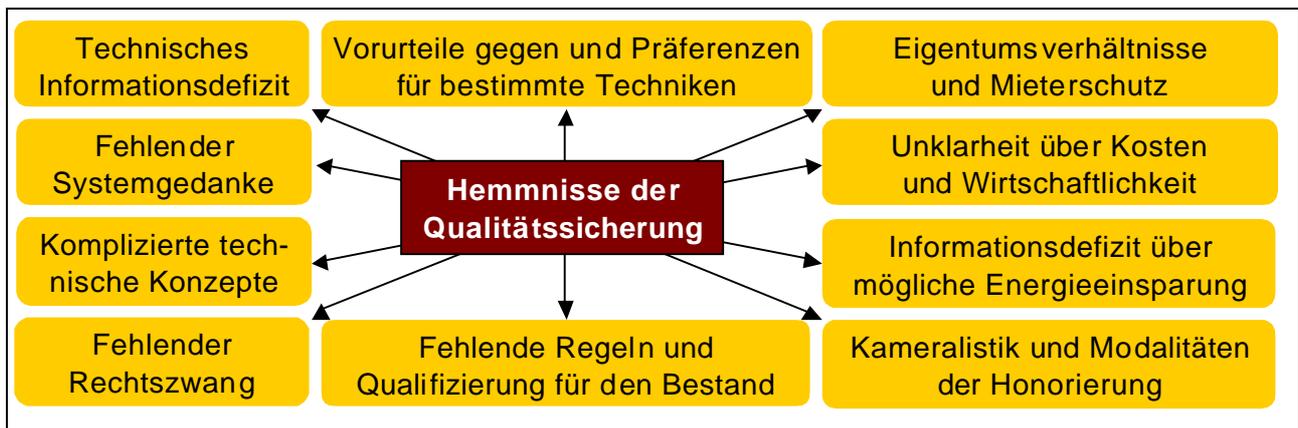


Bild 4 Hemmnisse der Qualitätssicherung [2]

Darüber hinaus sind auch Entwicklungstendenzen in der Heizungstechnik der letzten 30 Jahre ein Hemmnis. Werbeaussagen der Hersteller von Anlagenkomponenten gingen eindeutig in die Richtung: eine Planung wird fast überflüssig, die Komponenten richten es (Regelpumpen, Thermostatventile usw.). Heute offen für eine Qualitätssicherung in Planung und Ausführung zu plädieren – vor allem die nachträgliche – bedeutet nicht Versäumnisse der letzten 40 Jahre anzuprangern, sondern neue Erkenntnisse zur Systemoptimierung zukünftig im Neubau und bei der Modernisierung einzubringen!

Energieeinsparnachweis und Wirtschaftlichkeit

Einsparpotentiale bei Heizungsanlagen konnten bisher nicht exakt beziffert werden, da sich bisherige Untersuchungen oft nur auf technische Teilaspekte oder einzelne Produkte von Herstellern beschränken. Besonders schwierig ist die Abschätzung des Energieeinsparungspotentials, das durch einen hydraulischen Abgleich erreicht werden kann. Die fehlerhaften Einflüsse auf die Wärmeverteilung im Rohrnetz, die durch einzelne Komponenten der Anlagen und bautechnische Gegebenheiten bedingt sind, können sehr unterschiedlich sein. Zudem ist der Einfluss des Nutzerverhaltens nur schwer zu bewerten.

Der technische Arbeitsbereich des Projekts beschäftigt sich daher mit einer durch Verbrauchsmessungen belegten Beantwortung der Frage, wie viel Energie sich durch die Optimierung sparen lässt?

Es wird gezeigt, dass es in der Praxis möglich ist, durch Maßnahmen wie den hydraulischen Abgleich, die korrekte Einstellung von Heizkurven am zentralen Regler und den Einbau elektronisch geregelter Umwälzpumpen oder zumindest einer korrekten Einstellung der vorhandenen Pumpe den Energieverbrauch deutlich zu senken – ohne den Wohnkomfort zu verschlechtern.

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. Auf die Untersuchung von Gebäuden mit Solartechnik sowie von Niedrigstenergiehäusern wurde verzichtet. Eine genauere Aufstellung der Gebäude folgt im zweiten Teil des Aufsatzes.

Der Energieverbrauch der Gebäude wurde über insgesamt fast 3 Heizperioden monatlich gemessen (Bild 5). Dazu wurden die Objekte mit Wärmemengenzählern für die Trinkwarmwasserversorgung und für die Heizung ausgerüstet. Zusätzlich wurden Zähler installiert, welche die aufgenommene elektrische Energie der Anlagentechnik messen.

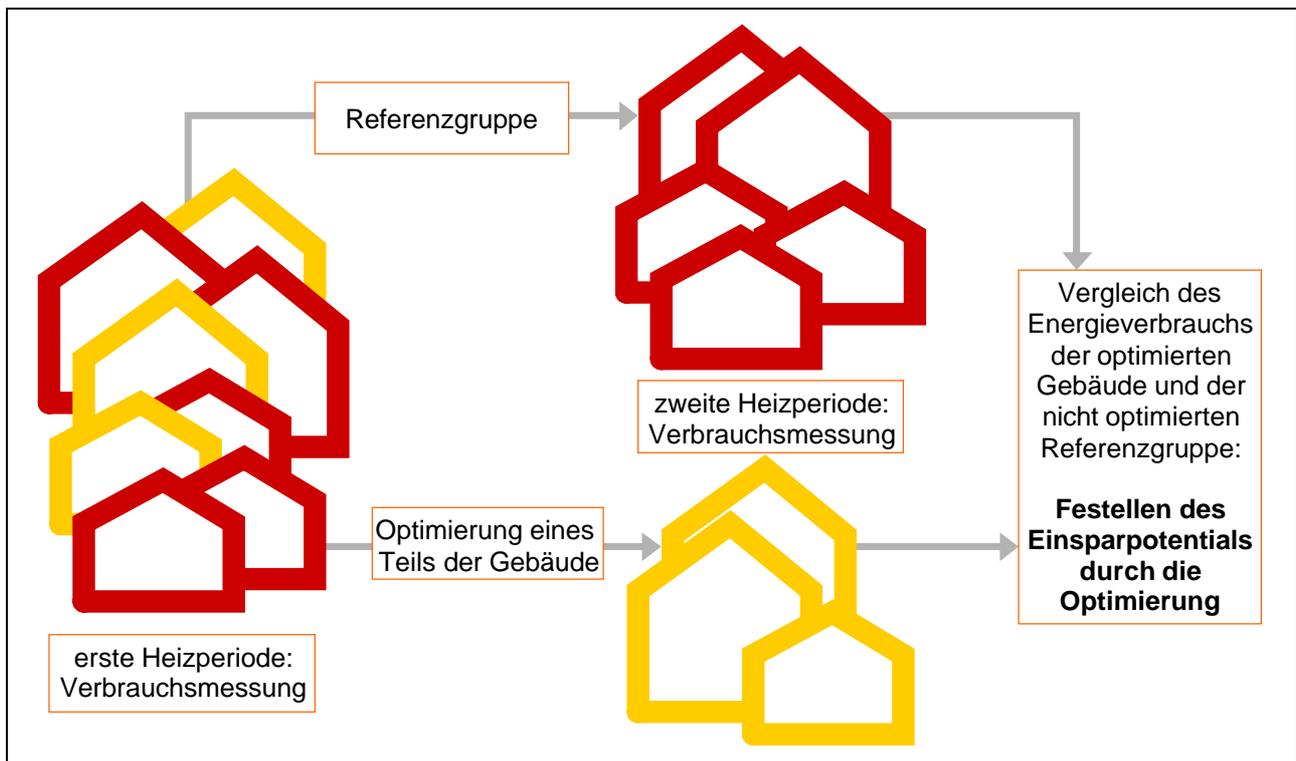


Bild 5 Nachweis der Energieeinsparung durch Vergleich von Messdaten

In der ersten Heizperiode 2002/03 ging es zunächst um die Feststellung des Ist-Zustandes, noch ohne technische Verbesserungen. Zur Aufnahme und Übermittlung der Messdaten wurde ein Protokollblatt erstellt, das per Fax oder Email versendet werden kann. Die monatlichen Verbrauchsdaten wurden an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel in einer Datenbank gesammelt. Durch die zentrale Datenaufnahme wurde gewährleistet, dass fehlende und/oder nicht korrekte Messwerte schnell erkannt und ggf. geeignete Maßnahmen getroffen wurden.

Im Laufe der ersten Heizperiode erhoben die beteiligten SHK-Fachbetriebe zusätzlich detailliert die Gebäude- und Anlagendaten. Etwa 30 Gebäude mit einem vergleichsweise hohen Energieverbrauch wurden anschließend im Sinne der OPTIMUS-Strategie verbessert. Die konkreten Verbesserungsmaßnahmen für die ausgewählten Versuchsobjekte wurden zusammen mit der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) geplant und von Handwerksunternehmen durchgeführt.

Nach der zweiten und zur Vervollständigung der Messdaten einer dritten Heizperiode (2003/04 und 2004/05) zeigt ein Vergleich des Energieverbrauchs der optimierten und nicht optimierten Gebäude, wie viel Energie sich tatsächlich einsparen lässt und ob und wie sich Einsparpotenziale in den einzelnen Gebäudeklassen unterscheiden. Für alle Messdaten wurde eine Korrektur des Witterungseinflusses durchgeführt, um die Werte vergleichbar zu machen.

Schon vorab die wichtigsten Ergebnisse: die Optimierung von Heizungsanlagen ist sowohl energetisch als auch betriebswirtschaftlich sinnvoll. Details folgen in den nachfolgenden technischen Ausführungen der Teile 2 und 3 des Aufsatzes.

Maßnahmen und Arbeitshilfen der Optimierung

Die wichtigsten Maßnahmen der bereits mehrfach angesprochenen Optimierung einer (bestehenden) Heizungsanlage sind in Bild 6 dargestellt. 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.



Bild 6 Maßnahmen der Optimierung

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 ein Optimierungskonzept erarbeitet, das 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 mit Brennwertkesseln, Grundlage ist der Hydraulischen Abgleich) und der FH 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 als Grundlage für eine Fachunternehmererklärung erstellt wird (das Programm bzw. seine Entwickler erhielten den Heimeier-Innovationspreis 2005 auf der diesjährigen ISH in Frankfurt).

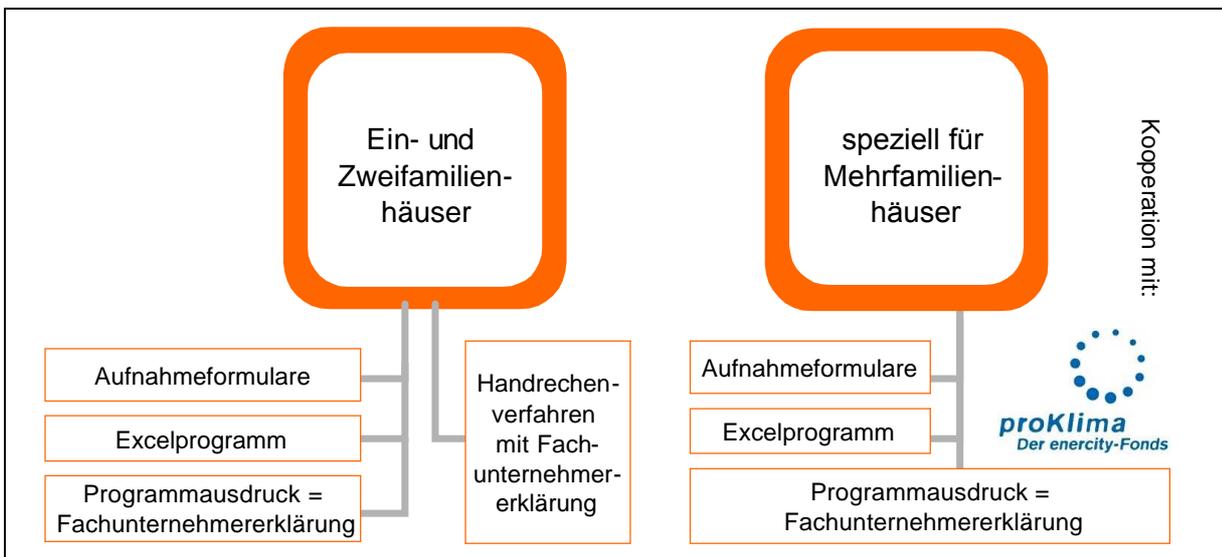


Bild 7 Arbeitshilfen für die Optimierung

Die in Zusammenarbeit mit proKlima erstellte Software "Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand" wurde von geschulten Fachhandwerkern zur Optimierung der OPTIMUS-Gebäude eingesetzt. Das Programm wurde im Rahmen des OPTIMUS Projekts weiter entwickelt. Das Ergebnis ist ein weniger umfangreiches Verfahren speziell zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern. Es liegt als Excelprogramm und als Handrechenverfahren vor. Das ursprüngliche, ausführliche

chere Verfahren wird zur Optimierung von Mehrfamilienhäusern empfohlen. Beide Programme folgen bewusst dem gleichen Ablauf, so dass sie dem Fachhandwerker in einer Schulung vermittelt werden können.

Eine ausführliche Beschreibung der Zusammenhänge, die bei der Optimierung von Heizungsanlagen zu berücksichtigen sind sowie die Umsetzung in der Software „Optimierung von Heizungsanlagen – Hydraulischer Abgleich“ wurde 2003/2004 in der Fachzeitschrift TGA Fachplaner in einer 5-teiligen Artikelserie mit dem Titel „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“ veröffentlicht.

Handwerkerqualifizierung

Die Qualifizierung der Handwerker bildet einen weiteren Arbeitsschwerpunkt des OPTIMUS Projekts. Dabei werden drei Stufen durchlaufen:

1. Schulung der Handwerker für die Gebäudeaufnahme: Anlagentechnik und Baukörper im Bestand sollten so genau wie möglich, aber nicht detaillierter als nötig erfasst werden.
2. Schulung der Handwerker für die Optimierung: sowohl Hintergrundwissen als auch der Umgang mit der Optimierungssoftware wurden vermittelt. Das Wissen wurde an der Wilo Brain-Box, dem Schulungsmodell einer Heizungsanlage, vertieft.
3. Schulung für Beratung und Kommunikation: Training mit den Handwerkern, ihre neu erworbenen Fähigkeiten als das Produkt "Heizungsoptimierung" zu verkaufen.

Was ist das Besondere an den OPTIMUS Qualifizierungen? Sie vermitteln dem Fachhandwerker Systemkenntnisse über bestehende Heizungsanlagen, die Wärmeerzeuger, Regelung, Pumpen, Hydraulik und Heizflächen aber auch Nutzer und Bewohner umfassen. Die vermittelte Systemkompetenz soll für das Fachhandwerk über den Rahmen des Projektes hinaus nützlich sein.



Bild 8 Qualifizierung des Fachhandwerks durch Ausbildung am Schreibtisch, am Rechner und am Praxismodell

Im Forschungsprojekt OPTIMUS wurde daher ein neues Seminarkonzept speziell für Fachhandwerker entwickelt. Es umfasst die Schulung am Schreibtisch (Vermittlung technischer Grundlagen, Arbeit mit Herstellerunterlagen usw.), am Computer (Bedienung des Optimierungs-Programms) sowie an einem Schulungsmodell. Hier kam die Wilo Brain-Box, die eine komplette Heizungsanlage modellhaft simuliert, zum Einsatz.

Die Seminare im Einzelnen: die vorbereitenden Schulungen der Fachhandwerker zur Datenaufnahme der Gebäude umfasste einen halben Tag und wurde in zwei Gruppen (Region Braunschweig/Hannover und Region Bremen/Wilhelmshaven) durchgeführt.

Die Qualifizierung der Handwerker im Bereich "Systemkompetenz Heizung" umfassten jeweils zwei Tage für ebenfalls zwei Gruppen. 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 Systemzu-

sammenhänge und die Einführung in die Software "Optimierung von Heizungsanlagen" im Mittelpunkt. OPTIMUS konnte hier zeigen, dass die häufig so gefürchteten Berechnungen mit entsprechend systematisch aufgebauten Materialien problemlos durchgeführt werden können.

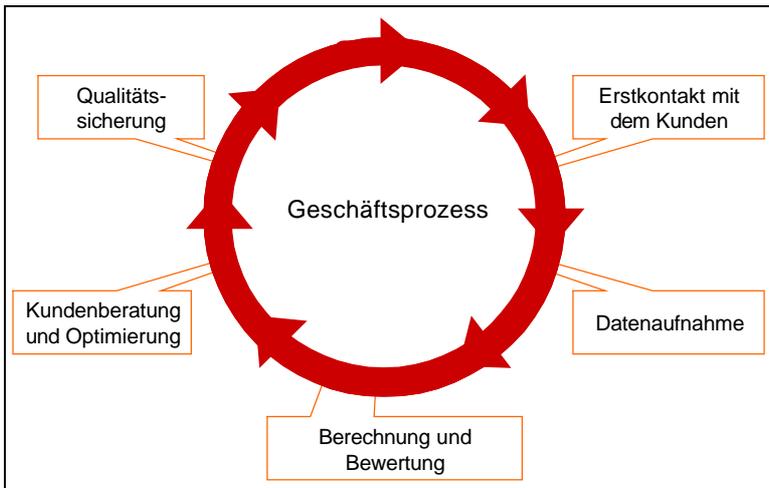


Bild 9 Stufen des Geschäftsprozesses

Der letzte technische Seminartermin beschäftigte 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.

Die Schulung des Fachhandwerks in Hinblick auf Kommunikation und Beratung wurde Anfang 2005 in der Region Bremen/Wilhelmshaven durchgeführt. Hier wurde vor allem vermittelt, wie wichtig Beratungskompetenz ist, um auch den Hausbesitzer von der Optimierung zu überzeugen. Die Schulung wird unterstützt durch eine Reihe von Materialien zur Geschäftsprozessorientierung und Kundenberatung (Bild 9), die im Rahmen von OPTIMUS entwickelt wurden.

Lehrerqualifizierung

Um die Qualifizierung des Fachhandwerks von Beginn an abzusichern, ist die Qualifizierung der Berufsschullehrer ein wesentlicher Baustein des OPTIMUS Gedankens. An der Berufsschule in Aurich fanden sich eine Arbeitsgruppe aus acht Theorie- und Praxislehrkräften zusammen, die gemeinsam verschiedene Aufgaben lösten (Bild 10).

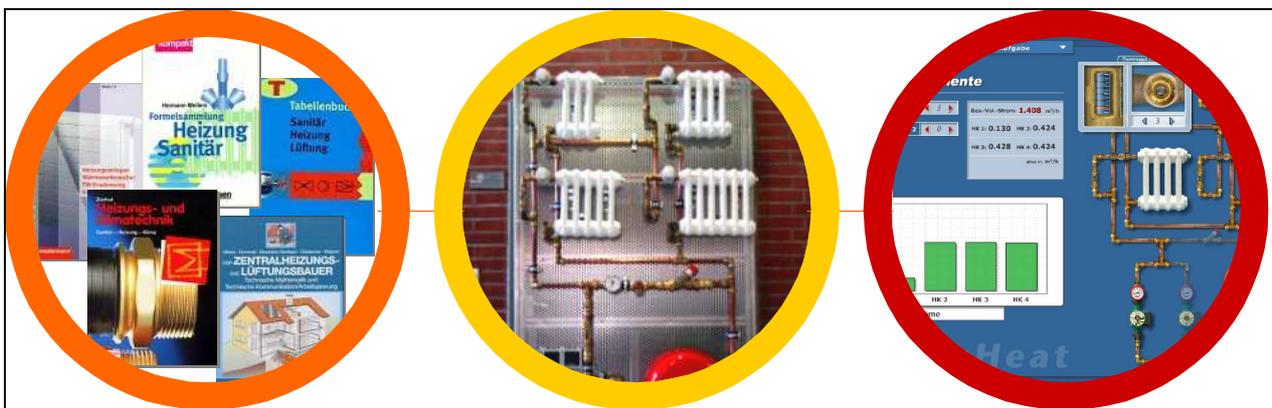


Bild 10 Qualifizierung in der Berufsschule: Durchsicht von Lehrbüchern, Entwicklung einer Experimentalwand und zugehöriger Simulationssoftware

Zunächst wurde der Stand der Lehrpläne und Lehrbücher hinsichtlich der Optimierung von Heizungsanlagen bzw. hinsichtlich des hydraulischen Abgleichs untersucht. Übereinstimmend wurde der Stand der Ausbildung zum hydraulischen Abgleich bemängelt. Hier sind Anpassungen der Ausbildungsrichtlinien nötig. Die Arbeitsgruppe stellte weiterhin fest, dass in den aktuellen Fachbü-

chern das Thema zwar benannt wird, mit einer Ausnahme aber methodisch nicht ausreichend dargestellt wird.

Um diesem Problem zu begegnen, sollten die vorhandenen sehr abstrakt-mathematischen Lerninhalte durch besondere mediale Angebote für die Schüler interessanter und begreifbarer gestaltet werden. Eine mobile Experimentalwand wurde entwickelt sowie eine zugehörige "Eins-zu-Eins" Simulationssoftware. Software und Experimentalwand ergänzen sich und bieten die Chance, dass die Berufsschüler in kleinen Gruppen mit beiden Medien die hydraulischen Zusammenhänge in einfacher Weise erlernen können.

Im Rahmen des OPTIMUS Projekts wurden die Experimentalwand und die Bedienung der Software im Unterricht getestet und entsprechende Stundenpläne für Berufsschullehrer konzipiert.

Sowohl der Bausatz für die Experimentalwand als auch die Software und die Unterrichtsbeschreibung sind für andere Berufsschulen verfügbar. Die Lehrerfortbildung (Multiplikatoren Ausbildung) erfolgt nach der abgeschlossenen Erprobung und ggf. Verbesserung der Medien im Unterricht.

Öffentlichkeitsarbeit und OPTIMUS Medien

Der letzte Arbeitspunkt der OPTIMUS Idee, der nachfolgend kurz umrissen wird, ist die Öffentlichkeitsarbeit. Sie hat das Ziel, die Optimierung von Heizungsanlagen durch Information aller betreffenden Kreise weiterzuverbreiten, um einerseits eine Nachfrage von Seiten der Kunden zu schaffen und andererseits das Fachhandwerk für das Thema zu sensibilisieren. So soll der Serviceleistung "Optimierung von Heizungsanlagen" künftig zum Durchbruch verholfen werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden nach Fertigstellung des Abschlussberichts ab Herbst 2005 den verschiedenen Institutionen, z. B.

- Energieberaterverbänden,
- Handwerksverbänden (ZVSHK, SHK-Landesinnungsverbände),
- Industrieverbänden (BHKS),
- Ministerien (BmWA, BmVBW, BmU)
- Verbraucherverbänden,
- Energieagenturen,
- Umweltschutzverbänden und -einrichtungen
- und der Wohnungswirtschaft

zugänglich gemacht. Somit sind die wichtigsten Multiplikatoren spätestens dann für das Thema sensibilisiert, wobei viele der genannten Multiplikatoren sich bereits während der Bearbeitungsphase über die OPTIMUS-Aktivitäten und Ergebnisse informierte. Nicht zuletzt der Projektbeirat forcierte dies.

Ein Teil der Öffentlichkeitsarbeit sind natürlich Artikel in der Tages- und Fachpresse wie dieser. Weiterhin wurden die Besitzer der OPTIMUS-Gebäude mit dem OPTIMUS-Rundbrief über den Stand der Dinge informiert. Wichtige andere Bezugsquellen für Materialien sollen nachfolgend benannt werden.

- Für Verbraucher und Endkunden bietet OPTIMUS auf seiner Internetseite (www.optimus-online.de) Informationen rund um die Anlagenoptimierung. Die Daten werden zum Projektende vervollständigt.
- Für das Fachhandwerk sind alle Materialien und Informationen auf einer im OPTIMUS-Projekt erstellten CD verfügbar. Sie bietet neben grundlegenden Informationen zur Gebäudeaufnahme, zur Optimierung und zur Qualitätssicherung diverse Arbeitshilfen. Die CD wird Ende 2005 erscheinen und kostenlos mehrere Tausend Mal in Deutschland verteilt. Es ist geplant, die Inhalte auch nach Projektende verfügbar zu halten (z. B. über das Internet).

- Alle Schulungsfolien, Programme, Arbeitsmittel und Materialien werden für Multiplikatoren auf einer gesonderten CD bzw. ebenfalls über das Internet bereitgestellt.
- Die Arbeitsmaterialien für Berufsschulen und Lehrer werden über ebenfalls über die Internet-Plattform verbreitet.

Ein weiteres Ziel soll in der Zukunft noch erreicht werden: dass die Optimierung einer Heizungsanlage bei der Ausstellung eines Energiepasses unter der Rubrik "Empfehlungen für die Modernisierung" erscheint. Die Optimierung von Heizungsanlagen sollte ein obligatorisches Element jeder energetischen Sanierung werden.

Ausblick und Vertiefung

Eine Vertiefung in die Einzelthemen – Technische Aspekte, Handwerkerqualifizierung, Berufsschulkonzepte – findet sich in fachspezifischen Ergänzungen zu diesem Einführungsartikel. Hinsichtlich der technischen Ergebnisse des Projekts folgen im TGA-Fachplaner weitere Aufsätze mit den Themenschwerpunkten:

- Zustand der vorgefundenen Anlagen, Optimierung und Optimierungskosten
- Erreichte Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und Empfehlungen
- Energiekennwerte im Detail mit Abgleich zwischen Theorie und Praxis

Weitere Informationen finden Sie auf einer der folgenden Internetseiten:

- Allgemeine Informationen: <http://www.optimus-online.de>
- Technische Fachinformationen: <http://enev.tww.de> (DBU Optimus)

Autor

- Dr.-Ing. Kati Jagnow für die Optimus-Gruppe.
- 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.

Quellen

- [1] 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.
- [2] Jagnow; Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; pro Business; Berlin; 2004.
- [3] Wohlers, Heike; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; Vorabmanuskript; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Wolfenbüttel; Dezember 2003.
- [4] 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.
- [5] Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmeerzeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [6] Wolff, Dieter und Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.

Heizungsanlagen optimieren!

OPTIMUS – Optimierung von Heizungsanlagen

Teil 2: Anlagenzustand und Optimierung

Die beiden wichtigsten Zielsetzungen des Projektes OPTIMUS liegen darin, bisher nicht genutzte Energieeinsparpotentiale durch die technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und offen zu legen sowie mittels einer Informations- und Qualifizierungskampagne für die Zukunft dauerhaft zu sichern. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ist dieses Ziel erreicht worden:

- Die vorhandenen Einsparpotentiale durch die Optimierung einer Heizungsanlage sowie deren Wirtschaftlichkeit konnten messtechnisch nachgewiesen werden.
- 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.

Dem eigentlichen Energieeinspar- und Wirtschaftlichkeitsnachweis durch Auswertung der Verbrauchswerte ging eine über 2 ½ Jahre dauernde Messzeit voraus. Diese wurde u.a. genutzt, um den Zustand der untersuchten Gebäude zu dokumentieren, einen Teil der Gebäude zu optimieren sowie Kostenkennwerte für die Optimierung zu erheben. Über diesen Teil der Projektergebnisse wird nachfolgend berichtet.



Bild 1 Auswahl von Gebäuden verschiedener Baualtersklassen

Gebäudewahl und Gebäudeaufnahme

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. Darunter sind Ein- und Mehrfamilienhäuser unterschiedlichen Alters, die mit Öl, Gas oder Fernwärme beheizt werden, Bild 2. Die Untersuchung bezieht sich auf Wohngebäude mit maximal

18 Wohneinheiten, die sowohl von der Bausubstanz als auch vom Heizungssystem repräsentativen Charakter aufweisen.

Insgesamt wurden knapp 41.000 m² beheizte Fläche untersucht, davon 7500 m² in EFH und 33.500 m² in MFH. Energetisch auswertbar sind 75 Gebäude mit 35.000 m² Fläche, d.h. in diesen Gebäuden sind Messdaten vollständig über 2 Jahre und länger vorhanden.

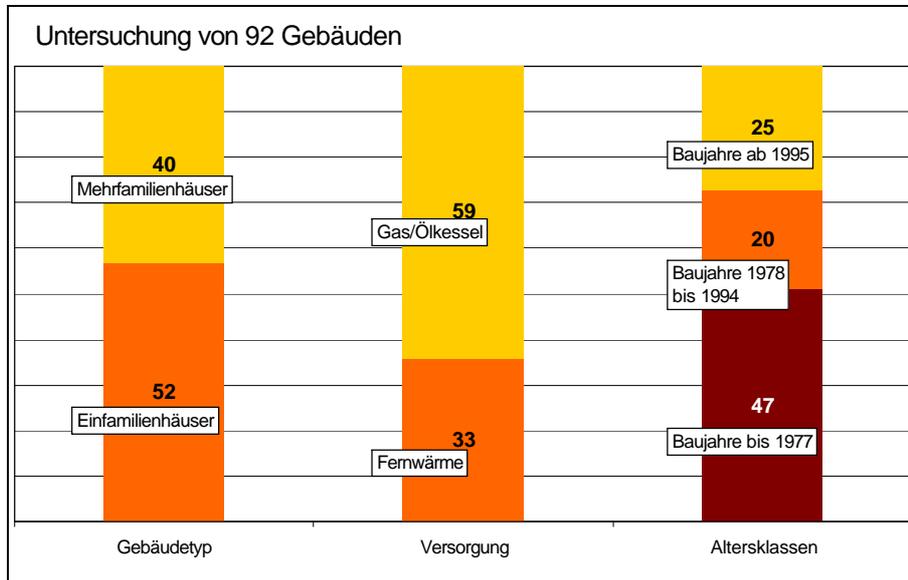


Bild 2 Klassifizierung der Versuchsobjekte

Seit Anfang 2003 wurde ein Katalog von Gebäude- und Anlageeigenschaften zusammengestellt, 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 strukturiert abgelegt werden. Sie ermöglicht das einfache Gegenüberstellen beliebiger Informationen und schafft die Grundlage für die Untersuchung verschiedenster Einflüsse und gegebenenfalls Wechselwirkungen auf den Energieverbrauch der Gebäude.

Die Erfassung der Gebäude- und Anlagendaten erfolgte Anfang bis Mitte 2003 durch die beteiligten Handwerksunternehmen mit Hilfe von der FH Wolfenbüttel (TWW) 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 als Hilfsmittel ein Handbuch zur Gebäudeaufnahme zusammengestellt. Es enthält auf 15 Seiten die Aufnahmeformulare als Kopiervorlage sowie die entsprechenden Erläuterungen. Unter anderem sind in dem Handbuch auch nützliche Hilfsmittel, z.B. Erkennungsmerkmale für Hersteller und Typ voreinstellbarer Thermostatventile 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 Wolfenbüttel (TWW) erstellt. Diese zusätzliche Arbeitshilfe liefert Hinweise zur besseren Bestimmung der U-Werte für Außenwände, Dächer, Decken, Fenster und Bodenplatten.



Bild 3 Hausordner

Ausstattung mit Messtechnik und Messdatenerfassung

Der Energieverbrauch der Gebäude wurde über fast 3 Heizperioden monatlich gemessen. In den Gebäuden wurden dazu teilweise zusätzliche Messeinrichtungen (97 Wärmemengenzähler und 74 Stromzähler) installiert. Die primären Zähleinrichtungen der Versorgungsunternehmen wurden selbstverständlich für die Datenerfassung genutzt. Insgesamt konnten Messdaten von 57 Gaszählern, 154 Wärmemengenzählern und 81 Stromzählern ausgewertet werden.

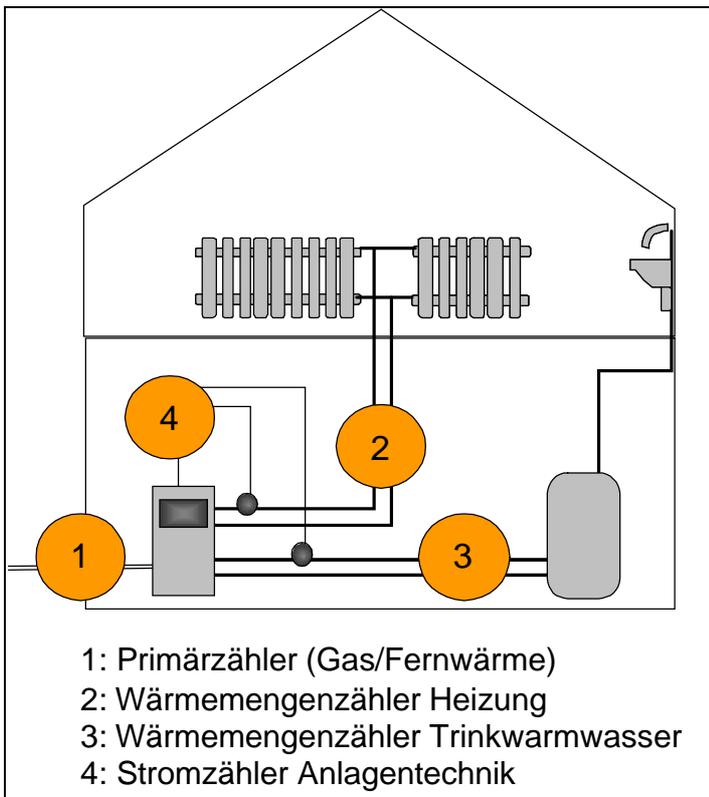


Bild 4 Anordnung der Zähler

In der oben beschriebenen Datenbank sind die über 8000 Monatsmesswerte für Endenergie-, Heizwärme-, Trinkwassernutzwärme- und Hilfsenergieverbrauch hinterlegt. Zur Aufnahme und Übermittlung der Energieverbrauchsdaten wurde ein Protokollblatt erstellt und an Hausbesitzer, Hausmeister oder andere Verantwortliche ausgegeben. Das Messproto-

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 %. Ein durchschnittliches EFH im OPTIMUS-Projekt hat eine tatsächlich beheizte Fläche von 153 m², ein durchschnittliches MFH von 837 m². Die fiktive Nutzfläche A_N (berechnet aus dem umbauten Volumen mit $0,32 \text{ m}^{-1} \cdot V_e$) ist bei den Einfamilienhäusern etwa 16 % und bei den untersuchten Mehrfamilienhäusern etwa 9 % größer als die tatsächliche beheizte (vermietete) Fläche.

Die untersuchten Anlagen im Bestand weisen eine großzügige

- Wärmeerzeugerauslegung (Überdimensionierung etwa 1,8 bezogen auf die Gebäudeheizlast),
- Pumpenauslegung (Leistungsüberdimensionierung etwa 3,0 bezogen auf die ausreichende elektrische Leistung mit konventionellen elektronischen Pumpen bzw. mehr als 8 mit neuen Hocheffizienzpumpen) und
- Heizkörperbemessung (Verhältnis Heizkörpernormleistung zu effektiver Raumheizlast etwa 1,7)

auf.

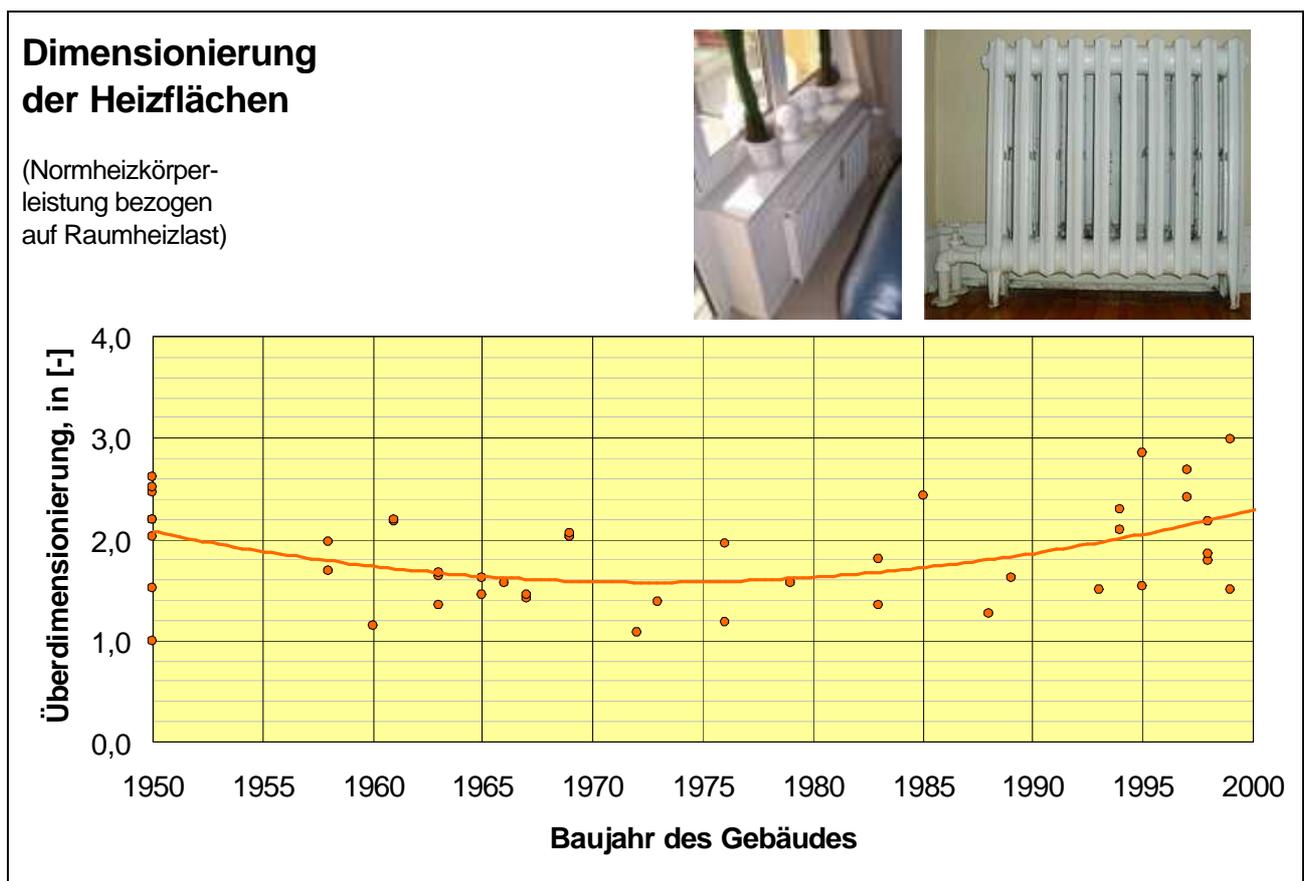


Bild 6 Dimensionierung der Heizkörper in Gebäuden ab 1950

Alle untersuchten Gebäude sind mit Heizkörpern ausgestattet. Die berechneten Raumheizlasten sinken von 91 W/m² (Baujahre von 1977) bis auf 41 W/m² (Baujahre ab 1995). Entsprechende Gebäudeheizlasten liegen bei 84 W/m² bis 34 W/m².

Die zentrale Heizkurveneinstellung ermöglicht nahezu unabhängig vom Baualter Vorlauf-temperaturen von ca. 80 °C bei Auslegungsaußentemperatur (-15 °C). Die untersuchten Gebäude weisen mit geringer 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. Dies entspricht in den meisten Fällen der Werkseinstellung der Regler mit kleinen Korrekturen nach oben.

Die Durchflusswerte ($k_{v,s}$) der eingesetzten Ventile sind mit typisch 0,7 bis 1,4 m³/h für die Betriebsbedingungen in den Anlagen etwa 7 ... 10fach zu groß. Der hydraulische Abgleich ist in deutlich weniger als 10 % der Anlagen vorhanden. Weniger als die Hälfte der Thermostatventile sind 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.



Bild 7 Pumpen, Mischer, Zähleinrichtungen

Zusammenfassend betrachtet wird dem Nutzer heute typischer Wohngebäude und Anlagen damit ein enormes Verschwendungspotential geboten. Eine weiterführende Auswertung zeigt, dass der maximal mögliche Verbrauch etwa 2,2 (altes EFH) bis 3,4 (neues MFH) über dem minimalen Verbrauch mit angepasstem Nutzerverhalten liegen kann [2].

Es ist davon auszugehen, dass die technischen Verluste hoch sind und die Effizienz der Wärmebereitstellung durch Wärmeerzeugung und Rohrnetzhydraulik gering bzw. nicht dem technischen Stand der Einzelkomponenten angemessen ist.

Gebäudeoptimierung

Nach einer Grobauswertung der Energieverbrauchsdaten der ersten Heizperiode wurden 31 Gebäude verschiedener Baualtersklassen (20 EFH und 11 MFH, 28 x mit Kessel und 13 x mit Fernwärme) mit einer gesamten beheizten Fläche von fast 11.500 m² als optimierungswürdig eingestuft.

Die konkreten Verbesserungsmaßnahmen für die ausgewählten Versuchsobjekte wurden zusammen mit der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (TWW) geplant und von qualifizierten Handwerksunternehmen durchgeführt. Für die ausgewählten Gebäude wurden im Sommer bzw. Anfang Herbst 2003 die optimalen Einstellungen der Anlagentechnik ermittelt. Die notwendigen Gebäude- und Anlagenparameter wurden vorher bei der Begehung erfasst.

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 8 Optimierungsablauf im Überblick

Die zusammen mit proKlima, Hannover (www.proklima-hannover.de) entwickelte Software ermöglicht die zeit- und 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" neu waren, wurden vor Beginn der Maßnahmen Vorbereitungstreffen mit der Fachbetreuung der FH Wolfenbüttel (TWW) organisiert.



Bild 9 Optimierungsarbeiten

Die eigentliche Optimierung vor Ort im Herbst und Winter 2003 umfasste:

- die Nachrüstung voreinstellbarer Thermostatventile (854 mal)
- die Voreinstellung der Thermostatventile zur Durchflussbegrenzung (1064 mal),
- den Einbau einer einstellbaren Pumpe (16 mal) oder eines Differenzdruckreglers (7 mal)
- die Einstellung der Pumpe oder des Differenzdruckreglers auf die Anforderungen des nachgeschalteten Netzes (29 mal),
- die Einstellung der Regelung (29 mal).

Dafür fielen in den 31 Gebäuden Kosten in Höhe von knapp 42.000 € an. Dies entspricht mittleren Investitionskosten bezogen auf die beheizte Fläche von 3,65 €/m².

Kostenfunktionen

Während der zweiten Messperiode wurde die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Heizungsanlagenoptimierung vorbereitet. Zwar lagen noch keine nachgewiesenen Einsparungen vor, aber die Investitionskosten für die Optimierung konnten erfasst werden. Anhand der im Projekt durchgeführten Optimierungen wurden für Ein- und Mehrfamilienhäuser verschiedener Größe Kostenansätze für vier Optimierungspakete (Bild 11) abgeleitet:

- Typ 1: vorhandene Komponenten müssen nur eingestellt werden
- Typ 2: voreinstellbare Thermostatventile einbauen, alles einstellen
- Typ 3: neue Pumpe / neuen Differenzdruckregler einbauen, alles einstellen
- Typ 4: Pumpe / Differenzdruckregler und THKV einbauen, alles einstellen

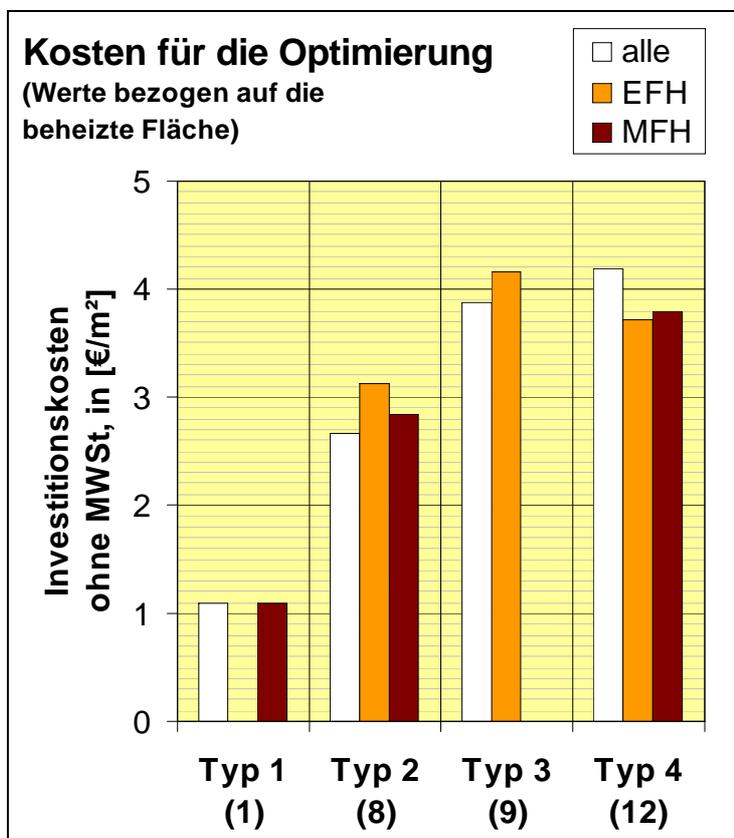


Bild 10 Investitionskosten für die Gebäude im Optimus-Projekt

In der Kalkulation sind neben den Komponentenkosten auch die Kosten für die Gebäudeaufnahme sowie für eine nachträgliche vereinfachte Heizlast- und Rohrnetzberechnung enthalten.

Die Kostenansätze sind verallgemeinert für EFH und MFH in Bild 11 dargestellt. 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).

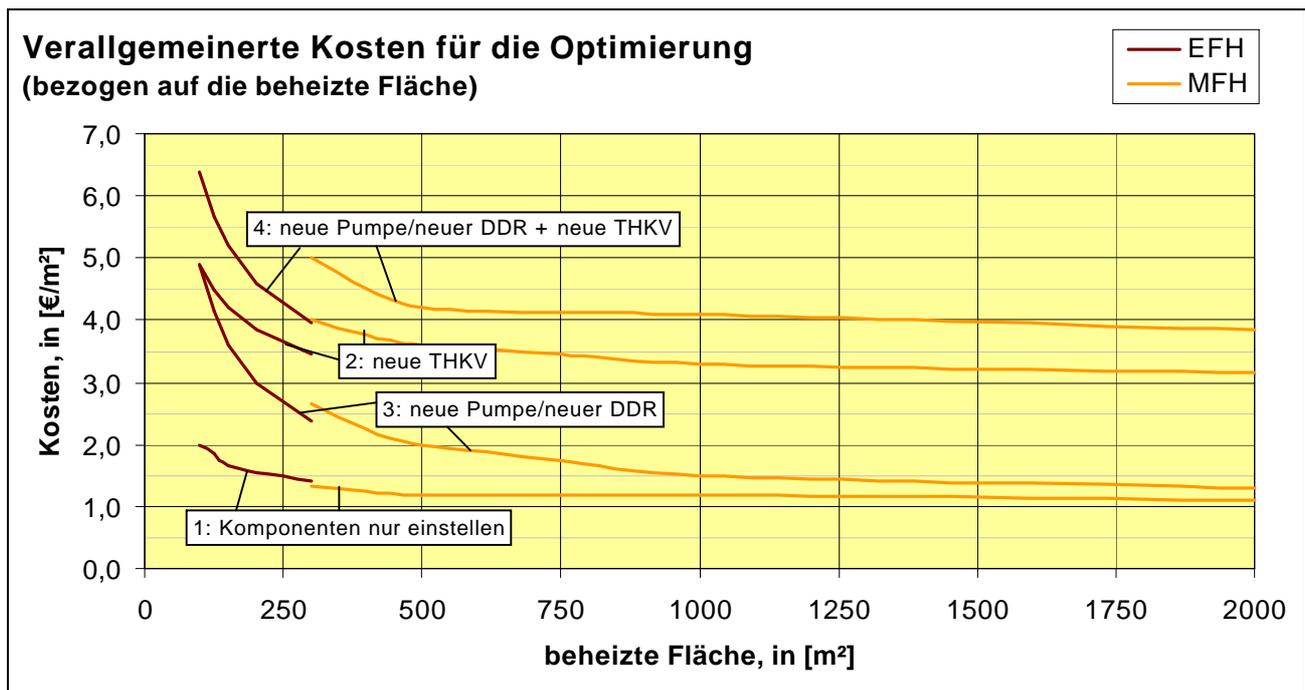


Bild 11 Verallgemeinerte Durchschnittskosten für die Optimierung

In der parallel bearbeiteten Promotionsarbeit [2] finden sich darüber hinaus weitere Kosten/Nutzen-Betrachtungen, z.B. zur Qualifizierung von Handwerkern und zur Nutzerschulung.

Mindestenergieeinsparung

Auf Basis der Investitionskostendaten wurde für jedes Gebäude einzeln [3] und für eine Heizungsanlagenoptimierung verallgemeinert [2] ermittelt, welche Energiemenge mindestens eingespart werden muss, damit die Maßnahme wirtschaftlich ist. Basis ist ein Gesamtkostenansatz unter Berücksichtigung von Preissteigerungen und Zinsen (Kalkulationszins: 5 %/a, Energiepreissteigerung: 6 %/a, Betrachtungszeitraum: 15 a)

Die verallgemeinerten Ergebnisse für EFH und MFH verschiedener Fläche zeigt Bild 12, für den Fall dass ausschließlich Wärmeenergie zu einem Preis von 0,05 €/kWh eingespart wird. Wenn nur elektrische Energie eingespart wird (Pumpenstrom) sind die Werte vereinfacht mit dem Faktor 1/3 zu multiplizieren (Preis: 0,15 €/kWh).

Für ein Einfamilienhaus von 130 m² Fläche schwanken die Werte zwischen 4,4 kWh/(m²a) Wärmeenergie für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 9,2 kWh/(m²a)

Wärmenergie für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² Fläche ergeben sich Werte zwischen 2,2 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 6,0 kWh/(m²a) für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR).

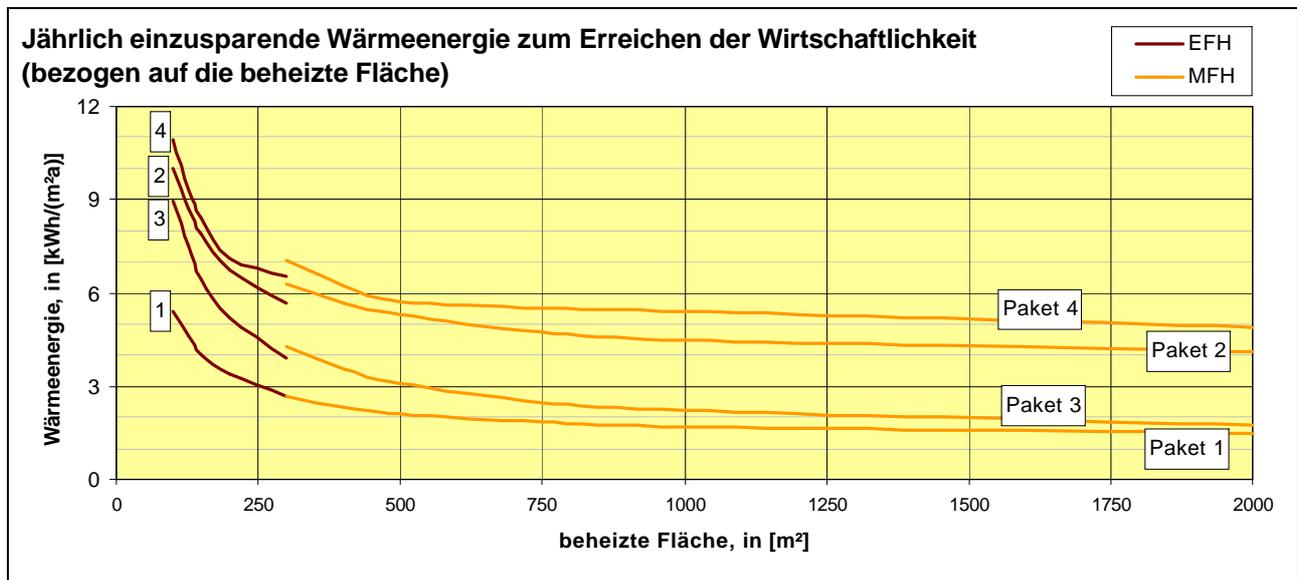


Bild 12 Jährlich einzusparende Wärmeenergie zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit

Die notwendige elektrische Energieeinsparung müsste etwa ein Drittel der genannten Mengen betragen. Wird beides eingespart, Wärme und Strom, ergeben sich entsprechend Zwischenwerte.

Nutzerzufriedenheit und Gerätetechnik

Die Auswertung einer Stichprobe von Nutzerbefragungen nach der Optimierung ergibt, dass sich für die Mehrheit der Nutzer der Gesamteindruck und die Zufriedenheit mit der Heizung verbessert. 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.

Bei 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 häufig als neues Problem gesehen.

Hauptursache für die Geräusche sind nach Ansicht der Autoren die zu hohen Pumpenförderrhöhen, die auch nach der Optimierung in vielen Anlagen vorlagen. In Gaswandgeräten integrierte Pumpen konnten nicht an die Anlage angepasst werden. So mussten Thermostatventile stark voreingestellt werden, was zu Geräuschproblemen führte. Gesprächsrunden mit Handwerkern in der Region Hannover (proKlima, April 2005) bestätigten diese Aussage. Die Autoren empfehlen, den maximalen Differenzdruck auf 200 mbar zu begrenzen und Thermostatventile auszuwählen, deren Voreinstellungswerte größer als 3 – 4 gewählt werden können.

Es hätten zusätzlich 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 noch Verbesserungsbedarf in der zukünftigen Geräteentwicklung der Kesselhersteller.

Künftig muss das Augenmerk auf Geräte mit guten „primärenergetischen Nutzungsgraden“ gerichtet werden (incl. Pumpenleistung); es müssen Wandkessel (Thermen) am Markt verfügbar sein mit kleinen einstellbaren Pumpen oder ohne integrierte Pumpe. Dieser Aufruf an die Gerätehersteller wurde bereits im Rahmen des DBU-Projekts "Brennwertkessel" [4] ausgesprochen und hier noch einmal wiederholt.

Die vergleichende Befragung von Nutzern optimierter und nicht optimierter Gebäude zeigt weiterhin, dass die Nutzer in optimierten Gebäuden ein sparsameres Heizverhalten angeben (Bild 13). Dies ist insofern interessant, weil sich dies offensichtlich aufgrund der verbesserten Beheizung (Behaglichkeit) aller Räume erst ermöglichen lässt.

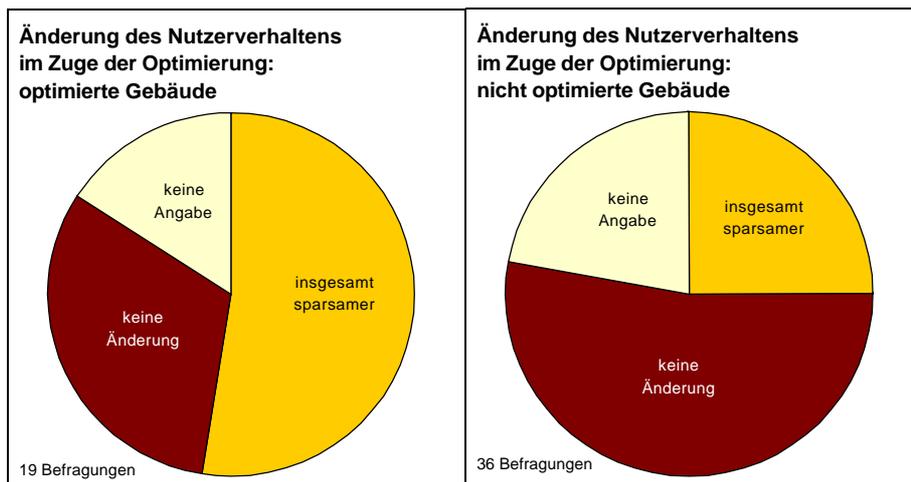


Bild 13 Änderung des Heizverhaltens der Nutzer im zweiten Jahr

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.

Es ergibt sich wie in anderen von der FH Wolfenbüttel betreuten Projekten auch im OPTIMUS-Projekt die Erkenntnis, dass die Nutzer unbedingt in den Optimierungsprozess einbezogen werden müssen, um die Auswirkungen der Optimierung zu verstehen. Darüber hinaus besteht bei der Optimierung noch Verbesserungsbedarf in der Wahl der Komponenten durch den Handwerker sowie in der sorgfältigen Umsetzung der Optimierung und in der Nutzeraufklärung.

Theoretische Betrachtungen

Thema des nächsten Teils des Fachartikels sind die tatsächlich erreichten Energieeinsparungen sowie die daraus ableitbaren Konsequenzen für die Planung und Umsetzung einer Heizungsanlage.

Die Grundlagen für die energetische Auswertung der Gebäude wurden in theoretischen Vorarbeiten gelegt, z.B. in der Dissertation der Autorin zur "Qualitätssicherung von Heizungsanlagen". Ziel der Arbeit war die Erarbeitung von Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen der Heizungsanlagen-technik und von Vorschlägen zu deren Realisierung [2].

Die Bearbeitung des Themenschwerpunktes wurde durch die Untersuchung von Energieverbrauchsdaten baulich optimierter Gebäude motiviert. Die festzustellende Diskrepanz zwischen tatsächlichen Energieverbrauchswerten und theoretischen Bedarfswerten dieser Gebäude ließ den Rückschluss zu, dass in der Praxis ein Energiemehrverbrauch aus der vorhandenen suboptimal geplanten und ausgeführten Anlagentechnik resultiert. Die installierte Technik erlaubt bzw. provoziert eine Energieverschwendung durch den Nutzer; sie bietet ein Verschwendungspotential, in Einzelfällen einen Zwangswärmeconsum.

Die Arbeit behandelt schwerpunktmäßig Wohngebäude mit Pumpenwarmwasserheizungen und konventioneller Energieversorgung, weil der überwiegende Anteil der Wohngebäude in Deutschland mit dieser Technik ausgestattet ist.

Mit den erarbeiteten Vorschlägen zur Auswertung von Verbrauchsdaten anhand von Monatsmesswerten und der Typologisierung in Form von Diagrammen ist eine energetische und wirtschaftliche Bewertung von Qualitätssicherung möglich. Diese wurde mit dem Optimus-Projekt in die Praxis umgesetzt.

Autoren

- Dr.-Ing. Kati Jagnow, Wernigerode
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

Quellen

- [1] 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.
- [2] Jagnow; Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; pro Business; Berlin; 2004.
- [3] Wohlers, Heike; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; Vorabmanuskript; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Wolfenbüttel; Dezember 2003.
- [4] 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.
- [5] Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmeezeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [6] Wolff, Dieter und Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.

Heizungsanlagen optimieren!

OPTIMUS – Optimierung von Heizungsanlagen

Teil 3: Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit

Anfang 2005 wurde die Erfassung der Energieverbrauchsdaten der Optimus-Gebäude abgeschlossen. Die erreichte Energieeinsparung bzw. die Veränderung des Energieverbrauchs der optimierten Gebäude im Vergleich zu den nicht optimierten Gebäuden wurde ausgewertet. Über die nachgewiesenen Einsparungen, die Wirtschaftlichkeit und die daraus ableitbaren Konsequenzen wird nachfolgend berichtet.

Energiebilanzierung und Witterungskorrektur der Verbrauchsdaten

Durch Verbrauchsauswertung der im OPTIMUS-Projekt untersuchten Gebäude soll eine allgemeingültige Aussage getroffen werden, wie viel Energie sich mit einer Heizungsanlagenoptimierung einsparen lässt. Zur Bewertung der Energieeinsparung der optimierten Gebäude mussten die reinen Verbrauchsdaten hinsichtlich der Witterung auf einen Standardstandort und ein Standardjahr korrigiert werden. Zudem mussten die Verbrauchsmengen für Heizung, Trinkwarmwasserbereitung sowie Wärmeerzeugerverluste in den Fällen ohne messtechnische Erfassung teilweise rechnerisch ermittelt werden.

Der Auswertung der Verbrauchsdaten ging eine Untersuchung von vorhandenen, etablierten Bilanzansätzen (DIN 4108-6 und DIN 4701-10, SIA 380-1 und LEG, Hessischer Energiepass, VDI 2067, VDI 3807 und VDI 3808) in Hinblick auf die durchgehende Bewertungsmöglichkeit von Baukörper und Nutzung, der Anlagentechnik und ihrer Qualität voraus. Da die Ansätze für den Einsatz im Projekt nicht flexibel genug waren, folgte eine notwendige Weiterentwicklung der Bilanzansätze [2]. Die heute übliche Bereinigung von Verbrauchswerten anhand der Heizgradtage mit fester Heizgrenztemperatur wurde für die Auswertung von Praxiswerten ebenfalls durch Auswertung variabler gebäudespezifischer Heizgrenztemperaturen überarbeitet.

Im Projekt OPTIMUS wurden nachfolgend beschriebene Vereinbarungen hinsichtlich der Begrifflichkeiten und Bereinigungsansätze getroffen.

Der Endenergieverbrauch (für Wärme) eines Gebäudes berechnet sich aus dem Nutzwärmeverbrauch geteilt durch einen Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers. Der Nutzungsgrad wird in einem Großteil der Gebäude mit Hilfe von Messwerten für die zugeführte Energie und die vom Erzeuger abgegebene Wärme messtechnisch bestimmt. Lagen keine Messwerte vor, werden Standardwerte des Instituts Wohnen und Umwelt verwendet (z.B. bei Fernwärmanlagen). Der Nutzungsgrad wird nicht witterungskorrigiert.

Der Nutzwärmeverbrauch setzt sich zusammen aus einem Heizwärmeverbrauch und einem Trinkwasserwärmeverbrauch (falls zentrale Trinkwasserbereitung vorliegt). Beide Werte werden i.d.R. separat messtechnisch erfasst. Die im OPTIMUS-Projekt so definierten Nutzwärmemengen verstehen sich als Wärmeabgabe des Erzeugers und enthalten auch alle Verteil- und ggf. Speicherverluste in den beheizten und unbeheizten Bereichen des Gebäudes.

Die Korrektur des Trinkwasserwärmeverbrauchs erfolgt anhand der Messzeit mit einfacher Hochrechnung auf genau ein Jahr.

Die Witterungskorrektur des Heizwärmeverbrauchs erfolgt für die OPTIMUS-Gebäude mit Hilfe der Heizgradtage G in Anlehnung an die VDI 3807, jedoch mit einer individuell für jedes Gebäude ermittelten Heizgrenztemperatur zwischen 12 und 20 °C, vgl. Bild 1. Basis für die Bestimmung der Heizgrenztemperatur sind monatliche Messwerte (Heizwärmeverbrauch), die zugehörige Messzeit zur Bildung einer mittleren Leistung sowie die mittlere Außentemperatur jedes Messintervalls. Das Verfahren der Messwertaufbereitung ist ausführlich in früheren Veröffentlichungen der Autoren beschrieben [2], [5], [6].

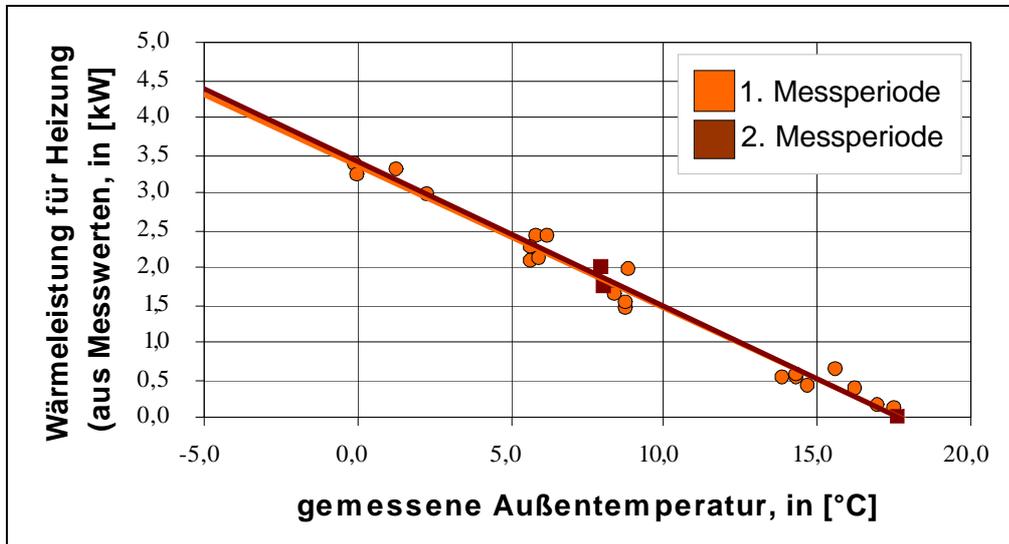


Bild 1 Diagramm zur Bestimmung der Heizgrenztemperatur aus Messwerten

Die Wahl dieses speziellen Witterungsbereinigungsverfahrens erfolgte nach ausführlichen Tests an Beispielgebäuden. Ziel der Untersuchung war, das Bereinigungsverfahren zu finden, bei dem die durchschnittliche Verbrauchsänderung zwischen Heizperiode 2002/03 und 2003/04 der nicht optimierten Gebäude so gering wie möglich ist.

Für eine Auswahl von nicht optimierten Gebäuden, in denen keine Änderung des bereinigten Heizwärmeverbrauchs erwartet wurde, ergab die Bereinigung mit individuellen Heizgradtagen (im Bereich $G_{12} \dots G_{20}$) die geringste Abweichung des Verbrauchs in zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Folglich wurde diese Art der Korrektur für das Gesamtprojekt gewählt.

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 %.

Primärenergie und CO₂-Äquivalent werden mit den üblichen Faktoren nach GEMIS aus der bereinigten Endenergie bestimmt.

Einsparung von Heizwärme

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

Der mittlere Heizwärmeverbrauch von 88 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Heizungsanlagenoptimierung) 125 kWh/(m²a). Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizwärmeverbrauchs von 151 ... 114 ... 88 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards (Werte für Gebäude mit Baujahren vor 1977, 1978 bis 1994 und ab 1995).

Der bereinigte Heizwärmeverbrauch der 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude ist in beiden Messperioden nahezu gleich (siehe Bild 2). Es ergibt sich eine geringe Differenz von unter 1 kWh/(m²a) bezogen auf einen mittleren Jahresnutzwärmeverbrauch von 122 kWh/(m²a). Die 30 auswertbaren optimierten Gebäude weisen mit der gleichen Bereinigungsverfahren einen um 8 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. In den optimierten Gebäuden konnten insgesamt knapp 90.000 kWh/a Heizwärme eingespart werden.

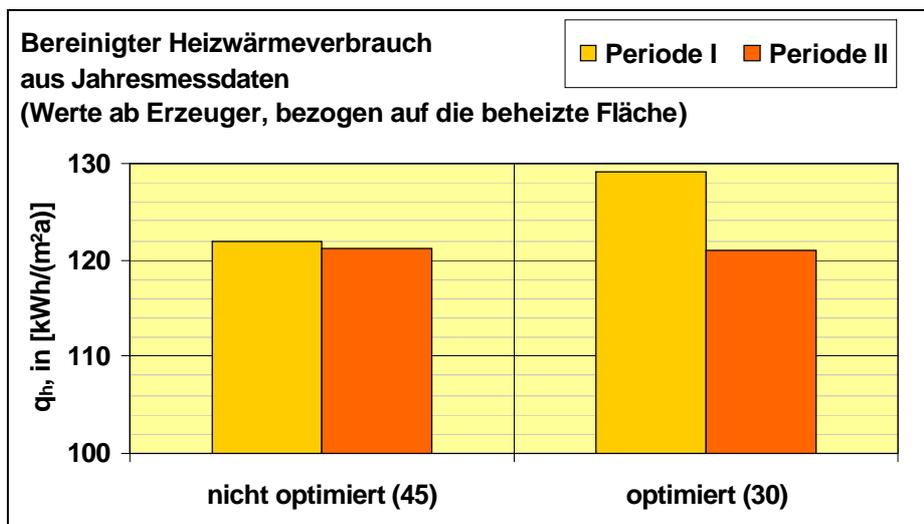


Bild 2 Durch Optimierung erreichte Einsparung von Heizwärme

Die Heizwärmeeinsparung ist in den untersuchten EFH etwas 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 höher 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 höher als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch.

Die Detailbetrachtung der Gebäude zeigt, dass in jeder Vergleichsgruppe (optimierte und nicht optimierte, Baujahre vor und nach 1978 usw.) Mehr- und Minderverbräucher 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 wenigen Mehrverbraucher kompensiert.

Einsparung von Heizenergie

Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen. Die Werte sind – wie heute noch allgemein üblich – auf den Heizwert H_i bezogen.

Der mittlere Heizenergieverbrauch von 88 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Heizungsanlagenoptimierung) 140 kWh/(m²a). Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert auch hier eine deutliche Staffelung des Heizenergieverbrauchs von 168 ... 130 ... 98 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards (Werte für Gebäude mit Baujahren vor 1977, 1978 bis 1994 und ab 1995).

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, siehe Bild 3. Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von mindestens 8 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche. In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 106.000 kWh/a Heizenergie eingespart werden.

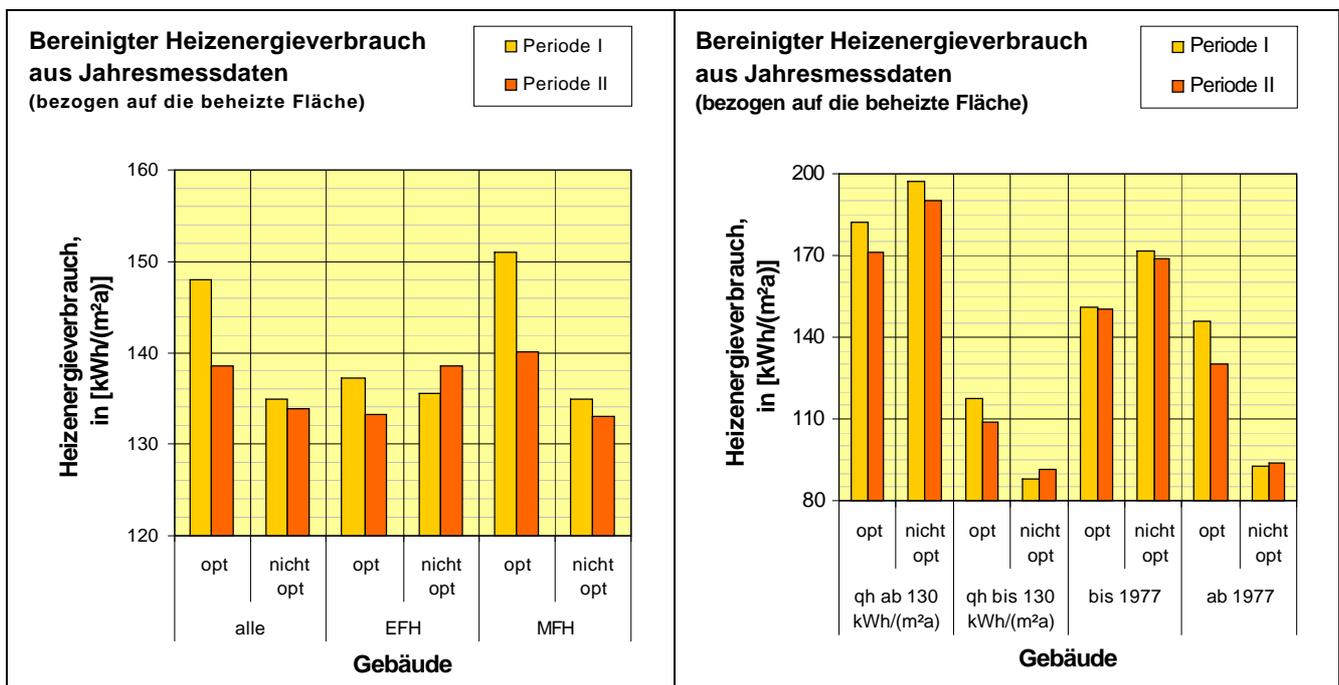


Bild 3 Durch Optimierung erreichte Einsparung von Heizenergie

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).

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 Einsparungen.

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).

Einsparung von Hilfsenergie

Die gemessene Hilfsenergie umfasst in verschiedenen Gebäuden unterschiedliche Stromverbraucher – je nach Möglichkeiten der Installation der Messtechnik und Ausstattung der Anlage. In der Regel ist die Stromaufnahme der Heizungsumwälzpumpe enthalten. Weiterhin sind teilweise Energieaufwendungen für Zirkulationspumpen, die Regelung und Speicherladepumpen enthalten.

Der mittlere gemessene Hilfsenergieverbrauch von 80 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Heizungsanlagenoptimierung) 1,8 kWh/(m²a). Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters ergibt, dass der Hilfsenergieverbrauch in neuen Gebäuden insgesamt deutlich geringer ist als in Gebäuden mit Baujahren vor 1995. Diese Gesamtten-
denz wird allerdings durch die MFH begründet. In den EFH steigt der bezogene Hilfsenergiebedarf in neueren Gebäuden an.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Hilfsenergieeinsparung von 0,3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche, siehe Bild 4. Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotential von durchschnittlich 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (v. a. für Pumpen) eines Gebäudes durch die Optimierung.

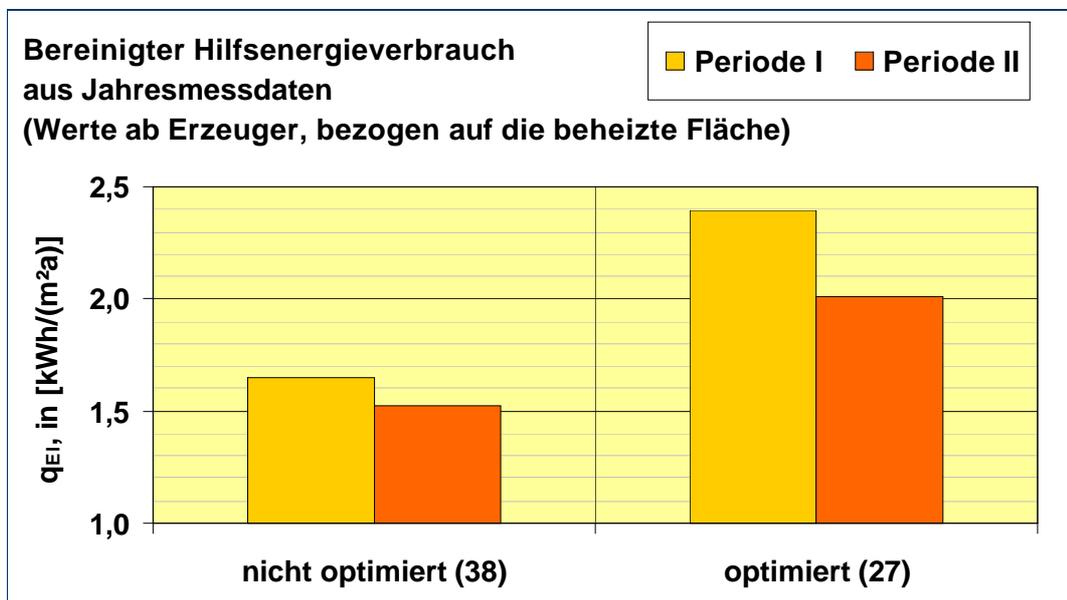


Bild 4 Durch Optimierung erreichte Einsparung an Hilfsenergie

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 ($\Delta q_h = -0,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$). In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 4000 kWh/a Hilfsenergie eingespart werden. Die Einsparung an Primärenergie ist etwa dreimal so hoch!

Einsparung von Primärenergie und CO₂-Äquivalent

Die optimierten Gebäude weisen 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.

Heizwärmeersparnis:	7 kWh/(m²a)	90.000 kWh/a
Endenergieersparnis:	8 kWh/(m²a)	106.000 kWh/a
Primärenergieersparnis:	10 kWh/(m²a)	124.000 kWh/a
CO₂-Ersparnis:	2,1 kg/(m²a)	28.300 kg/a

Bild 5 Erreichte Einsparungen

Sondermaßnahmen bei der Optimierung

In mehreren Objekten wurden Sondermaßnahmen, d.h. vertiefte Untersuchungen mit speziellen Fragestellungen, durchgeführt. In acht Etagenwohnungen eines MFH wurden – auf Vorschlag des Projektantragstellers Obermeister Stein – im Zuge der Optimierung die im Kessel integrierten, unregelten Pumpen durch geregelte ersetzt.

Es konnte eine Heizwärmeersparnis von 28 kWh/(m²a) bzw. 21 % (von 132 auf 105 kWh/m²a) erreicht werden. Die Hilfsenergieersparnis beträgt 1,4 kWh/(m²a) bzw. 18 % (von 7,6 auf 6,2 kWh/m²a). Die Heizgrenztemperatur liegt vor der Optimierung bei durchschnittlich 16,8 °C und nach der Optimierung etwa 1 K tiefer.

Für die acht Etagenwohnungen ist die Optimierung mit Pumpentausch als großer Energie-sparerefolg 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 anderen Mehrfamilienhäusern wurden für die Optimierung einmal neuartige Thermostatventile mit integrierter Differenzdruckregelung und zum Vergleich zweimal 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.

Wirtschaftlichkeit: Notwendige und erreichte Energieeinsparung

Nach Auswertung der Energieverbrauchswerte konnte die Wirtschaftlichkeit der Optimierung überprüft werden. Den zur Deckung der Investition notwendigen Mindestenergieeinsparungen (zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit) werden die tatsächlich erreichten Energieeinsparungen gegenüber gestellt, Bild 6 (dargestellt äquivalente Energiemengen: Summe aus Wärme- bzw. Hilfsenergien mit dem Umrechnungsfaktor 1 für thermische bzw. 3 für elektrische Energien).

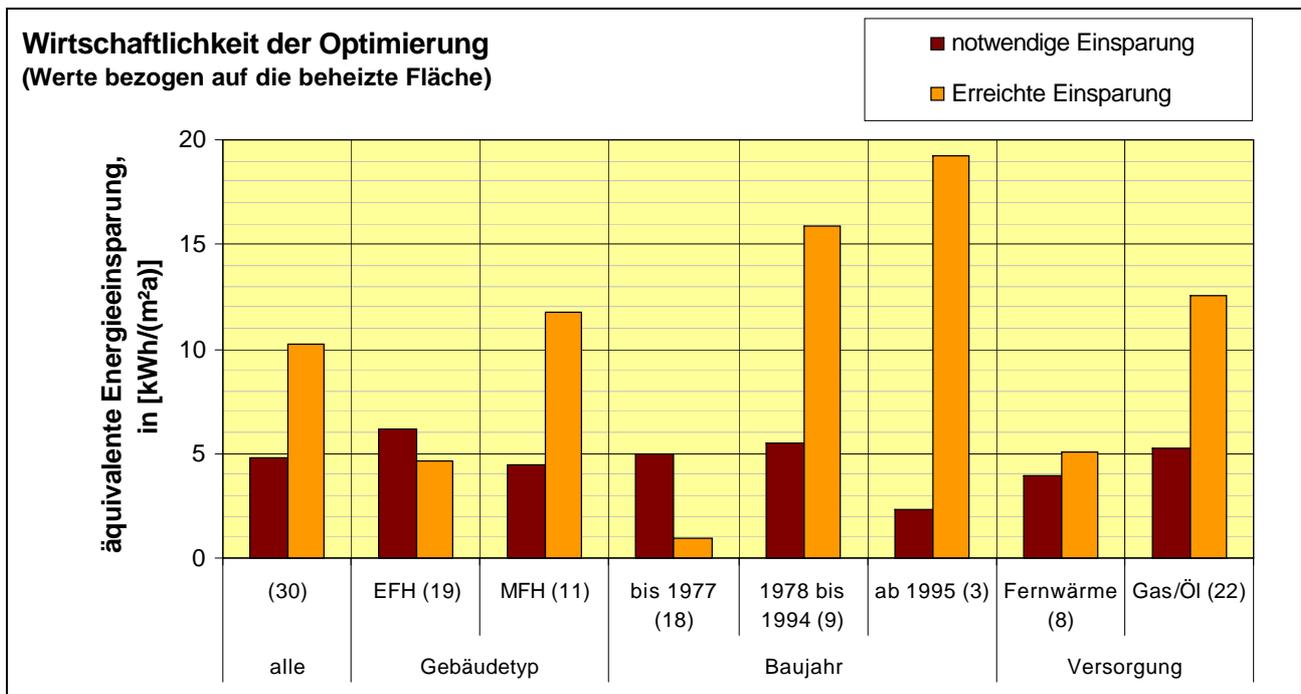


Bild 6 Wirtschaftlichkeit der Optimierung

Im Optimus-Projekt wurden insgesamt knapp 42.000 € in die Optimierung investiert. Daraus ergeben sich für alle Gebäude zusammen jährliche Kapitalkosten von knapp 4200 €/a. Zusätzlich zu diesen bedingen die in mehreren Gebäuden nachträglich installierten Schmutzfilter zusätzliche jährliche Kosten im Rahmen der Wartung von knapp 200 €/a (ebenfalls für alle Gebäude zusammen).

Diese jährlichen Zusatzkosten erfordern, dass insgesamt eine Energiemenge von entweder knapp 58 MWh/a thermische Energie ODER 19 MWh/a elektrische Hilfsenergie gespart werden muss, damit das Projekt bzw. die Investitionen wirtschaftlich sind. Die erreichte Energieeinsparung beträgt etwa 117 MWh/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 – nicht 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. In den neuen Gebäuden bzw. auf einen guten Standard modernisierten Gebäuden ist im Mittel immer von einer Wirtschaftlichkeit auszugehen.

Die Optimierung ist in 15 von 31 optimierten Gebäuden nicht wirtschaftlich – 9 dieser Gebäude sparen keine Energie, 6 Gebäude sparen nicht genug Energie.

Optimierungsempfehlungen für Neubau und Bestand

Die in Tabelle 1 klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung, es gilt "++" als am erfolgversprechendsten. Gebäude der Baujahre ab 1978 – also nach Erlass der ersten bundeseinheitlichen Verordnungen zum Wärmeschutz und zur Heizungsanlagentechnik – können sofort optimiert werden, auch nachträglich mit Investitionen in einzelne Komponenten.

	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 1 Empfehlungen für Optimierung

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 Baualtersklasse sollte die Optimierung 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.

Für die Planung und Ausführung einer qualitativ hochwertigen Anlagentechnik im Neubau 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 (Berechnung, Komponentenwahl, Einstellung vor Ort, 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/(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 hoch sind.

Checklisten für die Optimierung

Aus der Arbeit im OPTIMUS-Projekt sowie den Untersuchungen zum Energieverbrauch wurden Regeln für die Qualitätssicherung von Heizungsanlagen abgeleitet, siehe auch [2]. 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 2 fasst die Empfehlungen zusammen. Es kann aus den Erfahrungen des OPTIMUS-Projekts zusammengefasst festgestellt werden, dass die Umsetzung der Planung in der realen Ausführung vor Ort durch das Handwerk mit Einstellung der Thermostatventile, Pumpen, Regelung und ggf. eine Leistungseinstellung des Wärmereizgeräts 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 Verteilungen 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 die Pumpenwahl erfordert eine Rohrnetzberechnung Verzicht auf den Einsatz geregelter Pumpen, wenn deren Leistungsaufnahme im Jahresmittel höher ist als die einer ungeregelten Pumpe ist 	<ul style="list-style-type: none"> Pumpenwahl nach (überschlägiger) Rohrnetzberechnung Ersetzen vorhandener (ungeregelter) Pumpen durch neue (geregelter), wenn deren Leistungsaufnahme im Jahresmittel geringer ist
	immateriell	<ul style="list-style-type: none"> die benötigte Druckförderhöhe der Pumpe sowie die vorgesehene Regelungsart muss eingestellt werden 	
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. Für 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 Wert nach der Außentemperatur erforderlich sein 	

		<ul style="list-style-type: none"> Regler mit exponentieller Berechnung der Heizkurve sollten bevorzugt werden 	<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 Nachtabschaltung, 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) ggf. 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 Rohrnetzberechnung Differenzdrücke am THKV größer 200 mbar vermeiden 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 (> 3 – 4) 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 Heizungsverteilstellen 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 dokumentierte Dimensionierung aller Komponenten, v.a. der Ventilatoren 	<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 2 Regeln für die QS der Anlagentechnik

Hochrechnungen der Projektergebnisse auf den Gebäudebestand

Rechnet man die Energieeinsparerfolge des OPTIMUS-Projekts auf den gesamten Gebäudebestand hoch, ergeben sich je nach Rechenszenario Primärenergieeinsparpotentiale von 4 ... 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 ... 12 kWh/(m²a). Dies entspricht einem Einsparpotential im gesamten Gebäudebestand von 20.000 ... 28.000 GWh/a Primärenergie.

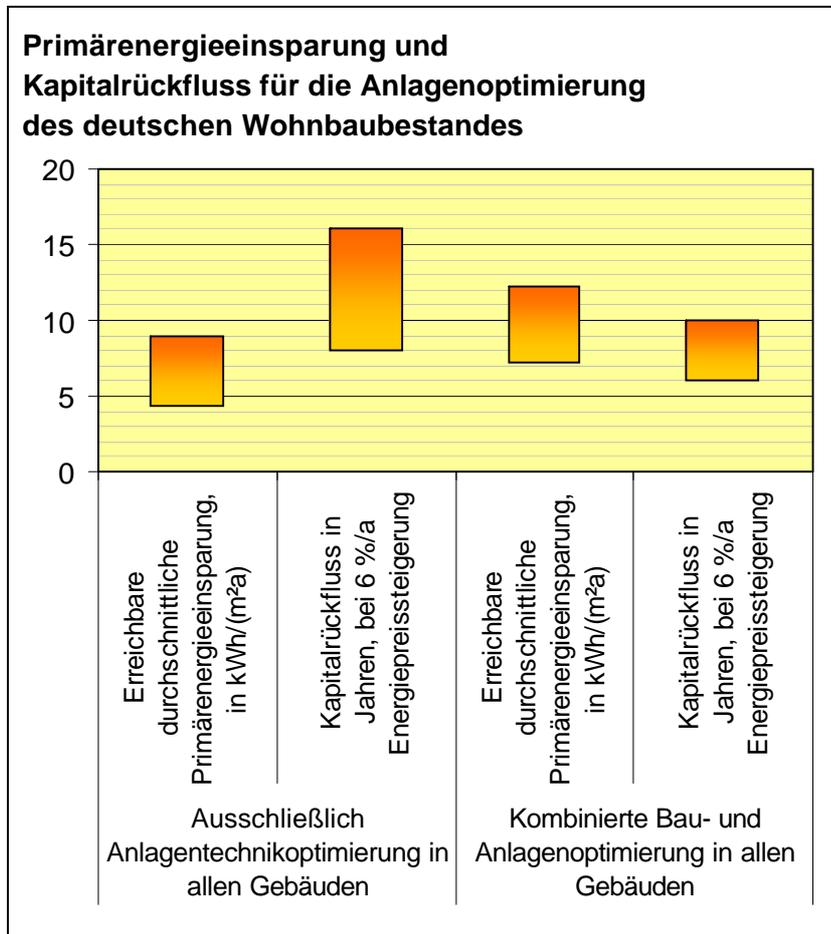


Bild 7 Hochrechnung auf den Gebäudebestand

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 ... 12 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 für die Industrie erfasst ist und ca. 250 Millionen Tonnen für die Raumwärmebereitstellung emittiert werden.

Die zu erwartende Primärenergie- und CO₂-Einsparung ist deutlich größer, wenn die Heizungsanlagenoptimierung kombiniert mit einer baulichen Verbesserung bzw. in neu erstellten Gebäuden sofort durchgeführt wird.

Zusätzlich zu den einsparbaren Energiemengen kann der Gesamtinvestitionsbedarf für die 3,2 Milliarden Quadratmeter beheizter Fläche in Wohngebäuden bestimmt werden. Unterschiedliche Voraussetzungen hinsichtlich der Ausstattung mit Technikkomponenten (Regelpumpen, einstellbare Thermostatventile) vorausgesetzt, ergibt sich eine notwendige Investition von 10,9 Mrd. € bzw. 3,8 €/m².

Auf Basis der erreichbaren Energieeinsparungen und dafür notwendigen Investitionen ergibt sich eine Wirtschaftlichkeit der Optimierung innerhalb von 8 ... 16 Jahren (alleinige Anlagentechnikoptimierung) bzw. 6 ... 10 Jahren (kombinierte Bau- und Anlagentechnikoptimierung). Vorausgesetzt ist hierbei eine Energiepreissteigerung von 6 %/a, welche in den letzten 6 Jahren bereits weit übertroffen wird.

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. Es wird derzeit vorausgesetzt, dass eine "Ausführung nach den Regeln der Technik" erfolgt.

Im Rahmen der derzeitigen Umsetzung der EU Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden besteht die Chance, die Qualitätssicherung von Anlagentechnik ähnlich der Gebäudedichtheit nach einem "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 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 die Qualitätssicherung der Anlagentechnik in einer vergleichbaren Größenordnung wie der Gebäudedichtheitstest. Die Ergebnisse des Projekts wurden bereits bzw. werden mit Projektende in den entsprechenden Kreisen des Ordnungsgebers (Bau-, Wirtschafts- und Umweltministerium) kommuniziert.

Enthalten theoretische Energiebilanzverfahren und/oder eine Verordnung wie die künftige EnEV 2006 einen Qualitätssicherungsbonus für die Umsetzung der Optimierung, ist dies ein wirkungsvoller Anreiz zur Umsetzung. Sollten die OPTIMUS-Ergebnisse so oder in anderer geeigneter Weise in die Verordnung einfließen, ergibt sich ein hohes Einsparpotential und eine Arbeitsplätze fördernde Chance für das ausführende Handwerk bzw. die Branche der Planer.

Die im OPTIMUS-Projekt entwickelten Verfahren zur technischen Umsetzung der Optimierung für Planung und Ausführung können als verbindliche Regeln der Technik formuliert werden. Bislang fehlen verbindliche Handlungsanweisungen. Die Festschreibung der im Projekt erfolgreich getesteten notwendigen Arbeitsschritte einer Heizungsanlagenoptimierung im Bestand (Eingangsdaten, Berechnungsablauf, Umsetzung) in einer technischen Regel ist aus Sicht der Verfasser sinnvoll und notwendig, um dem Anwender eine Rechtssicherheit über die Vorgehensweise zu bieten, ihn aber im Gegenzug auch zu verpflichten, die Regel einzuhalten. Kontakte zu entsprechenden Richtlinien- und Normungsgremien sind geknüpft.

Ausblick: Abweichungen zwischen Theorie und Praxis

Neben dem Nachweis der Energieeinsparung durch die Optimierung wurden die untersuchten Gebäude verwendet, um einen Abgleich zwischen theoretischen und gemessenen Energiekennwerten durchzuführen. Untersucht wurden beispielsweise Heizgrenztemperaturen, Auslegungsheizlasten sowie Bedarfs- und Verbrauchswerte von Heiz- und Endenergie. Im letzten Teil des Aufsatzes werden wichtige Ergebnisse zusammengefasst.

Autoren

- Dr.-Ing. Kati Jagnow, Wernigerode
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

Quellen

- [1] 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.
- [2] Jagnow; Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; pro Business; Berlin; 2004.
- [3] Wohlers, Heike; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; Vorabmanuskript; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Wolfenbüttel; Dezember 2003.
- [4] 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.
- [5] Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmeerzeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [6] Wolff, Dieter und Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.

Heizungsanlagen optimieren!

OPTIMUS – Optimierung von Heizungsanlagen

Teil 4: Energiekennwerte in Theorie und Praxis

Neben dem Nachweis der Energieeinsparung durch eine Heizungsanlagenoptimierung wurden die im DBU-Forschungsprojekt OPTIMUS erfassten Verbrauchs- und Gebäudedaten auch genutzt, um einen Abgleich zwischen theoretischen und gemessenen Energiekennwerten durchzuführen. Untersucht wurden beispielsweise Heizgrenztemperaturen, Auslegungsheizlasten sowie Bedarfs- und Verbrauchswerte für Heiz- und Endenergie. Im vorliegenden Aufsatz sind die Erkenntnisse zusammengefasst.

Vorab die Definitionen von Bedarf und Verbrauch, um dem Leser einen Einstieg in die Problematik zu schaffen. 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 beurteilt, entschieden und kontrolliert werden. Sie sind ein Analyse-Instrument (Benchmarking). Eine Witterungsberreinigung 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 eine theoretische Endenergiemenge.

Energiebedarfsbilanzen werden vor allem eingesetzt, wenn reale Verbräuche noch nicht vorliegen. Sie ermöglichen die Prognose künftig benötigter Energiemengen, sind damit ein Planungsinstrument. Energiebedarfswerte verschiedener Berechnungsverfahren differieren stark, vor allem weil Einflussgrößen unterschiedlich gewichtet werden. Sie sind nur Größenordnungsabschätzungen des Verbrauchs, da über den größten Unsicherheitsfaktor, den Nutzer und insbesondere dessen Lüftungsverhalten, nur spekuliert werden kann. Bedarfsrechnungen im Bestand weisen große Schwächen in der Abschätzung und Festlegung der Bauteilqualitäten (U-Werte, Dichtheitsgrad,...) auf.

Die wichtigsten Ergebnisse des OPTIMUS-Projekts sind: Die Heizenergie (dem Wärmeerzeuger zugeführte Energie zu Heizzwecken) alter und neuer Gebäude unterscheidet sich in der Theorie um den Faktor 3,0. Praktisch gemessen wurde ein Faktor 1,5 zwischen alten und neuen Gebäuden.

Bei alten Gebäuden liegt der berechnete Energiebedarf um ca. 35 % höher als der gemessene bereinigte Verbrauch. Bei neuen Gebäuden ergeben sich ca. 10 % weniger Bedarf als gemessener Verbrauch. Die Konsequenz ist z.B. im Rahmen einer rein auf Bedarfswerten basierenden Energieberatung eine zu hohe und zu optimistische, theoretische Einsparprognose. Dies hat selbstverständlich auch Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeitsprognose von Einsparmaßnahmen. Hier ist zu wünschen, dass theoretische Berechnungsprogramme bzw. die ihnen zugrundeliegenden Bilanzverfahren entsprechend angepasst werden, damit einem Bauherrn z.B. bei einer Energieberatung, nicht zu viel versprochen wird.

Gebäude mit Einrohrheizung

Als Einstieg in den Theorie- und Praxis-Abgleich wird ein Gebäude mit zugehörigen Messwerten und Kennwerten einer realen Verbrauchsbilanz vorgestellt.

In diesem Gebäude 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 sind ein Primärzähler sowie ein Unterzähler für die Trinkwarmwasserbereitung vorhanden.

Bild 1 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.

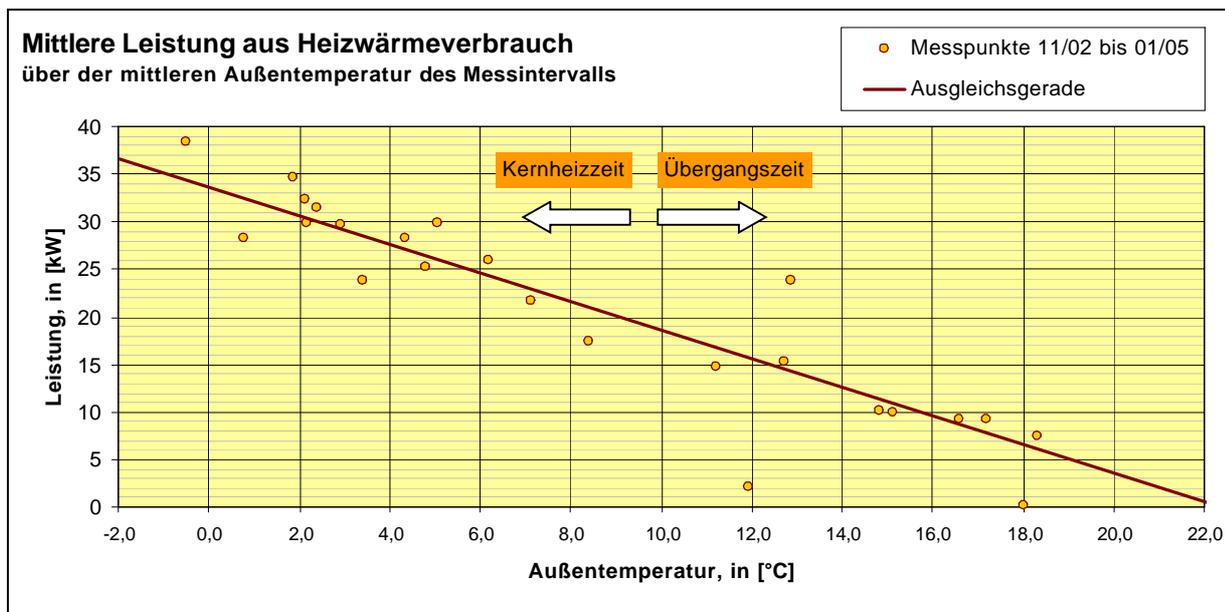


Bild 1 Verbrauchsverlauf (Heizwärme) für ein Gebäude mit Einrohrheizung

Der Heizwärmeverbrauch in der Praxis orientiert sich offenbar nicht am Baustandard. Bis zu sehr hohen Außentemperaturen – also praktisch das ganze Jahr hindurch – wird Wärme verbraucht. Dies wird auf ständig durchflossene Rohrleitungsabschnitte zurückgeführt, welche von den Nutzern nicht in ihrer Wärmeabgabe zu beeinflussen sind.

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

- 2002/2003: 181 kWh/(m²a) bzw. unbereinigt 154 kWh/(m²a)
- 2003/2004: 161 kWh/(m²a) bzw. unbereinigt 148 kWh/(m²a)

Die unbereinigten Verbrauchswerte liegen 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 dieses Baualters und Baustandards typisch ist. Hier kann von Zwangswärmekonsum gesprochen werden.

Vergleichbare Mehrfamilienhäuser der gleichen Baualtersklasse weisen bereinigte Heizwärmeverbrauchswerte von 68 kWh/(m²a) [1128 m², Baujahr 1993] bis 141 kWh/(m²a) [1159 m², Baujahr 1987] – im Mittel 108 kWh/(m²a) auf.

Die aus Messwerten reproduzierbaren Energiekennwerte sind [5], [6]:

- die Heizgrenztemperatur (aus den Messwerten des Heizwärmeverbrauchs, Nullstelle der Geraden im Bild), daraus ableitbar die Standardheizgradtage G_{Standard}
- der Verlustkennwert H (aus den Messwerten des Heizwärmeverbrauchs, Steigung der Geraden im Bild), daraus ableitbar der auf die beheizte Wohnfläche bezogene Verlustkennwert h in $W/(m^2K)$ als Maß für die Güte der Hülle und für das Lüftungsverhalten
- der bereinigte Heizwärmeverbrauch Q_h (als Produkt aus H und G_{Standard})
- der Trinkwasserwärmeverbrauch Q_{tw} (aus Messwerten, ggf. zeitbereinigt)
- der Nutzungsgrad η bzw. die auf die beheizte Wohnfläche bezogenen technischen Verluste Q_g des Wärmeerzeugers (aus Messwerten)
- der Heizenergieverbrauch Q_H (als Quotient aus Heizwärmeverbrauch und Nutzungsgrad bzw. als Summe aus Heizwärmeverbrauch und technischen Wärmeerzeugerverlusten)
- der Endenergieverbrauch Q (als Quotient aus Heizwärmeverbrauch plus Trinkwasserwärmeverbrauch geteilt durch den Gesamtnutzungsgrad für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung).

Heizgrenztemperatur

In der theoretischen Energiebilanz 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.

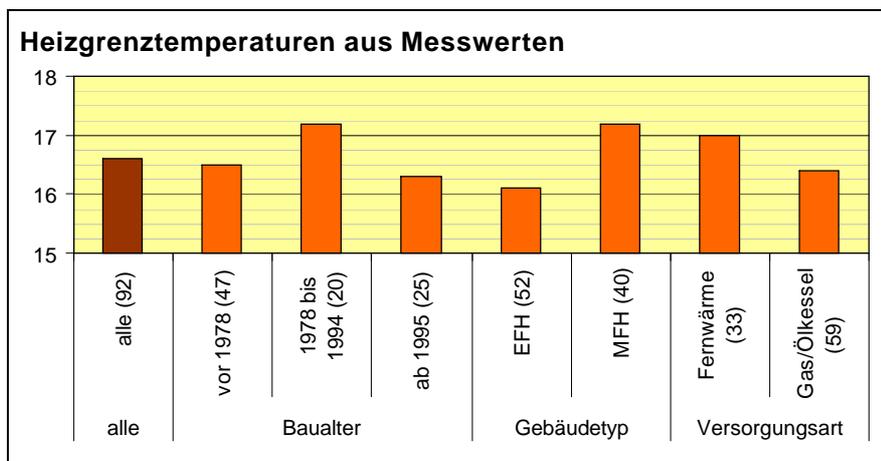


Bild 2 Heizgrenztemperatur nach verschiedenen Merkmalen

Für die energetisch auswertbaren Gebäude wurde die Heizgrenztemperatur in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Zur Nachbildung der Verbrauchsgeraden wurden Monatsmesswerte verwendet, wenn die zugehörige Monatsaußentemperatur 20 °C nicht überschritt und die mittlere gemessene Wärmeleistung für Heizung größer oder gleich 100 W (absolut) war. Bild 2 gibt die mittleren Heizgrenztemperaturkennwerte für Gebäude verschiedener Merkmale wieder. Die Heizgrenze liegt im Mittel aller untersuchten Gebäude bei $16,6\text{ °C}$. Die Heizgrenztemperatur hängt – allerdings mit großer Streubreite – vom Heizwärmeverbrauch des Gebäudes ab. Bild 4 zeigt den Zusammenhang.

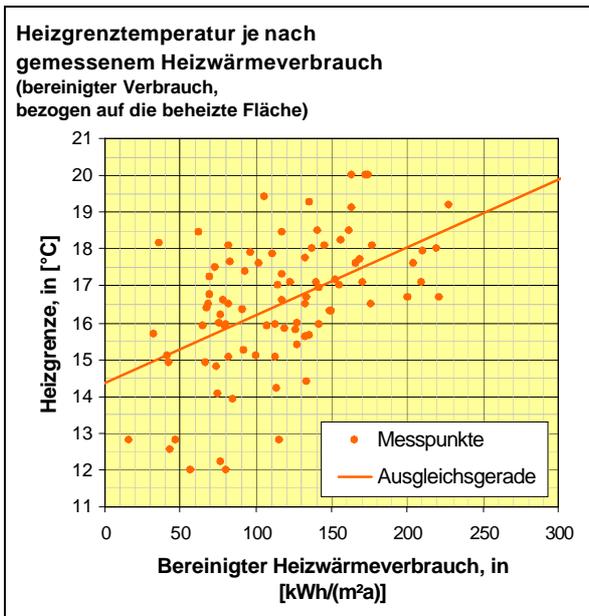


Bild 3 Heizgrenztemperatur je nach Heizwärmeverbrauch

Hüll- und Nutzungskennwerte

Für die Gebäude des OPTIMUS-Projekts wurde der bezogene Verlustkennwert h in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Er entspricht der Steigung des Verbrauchsverlaufs (siehe auch Bild 1) und ist ein Maß für die Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung. Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Bild 4 zusammengestellten Kennwerte. 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 $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

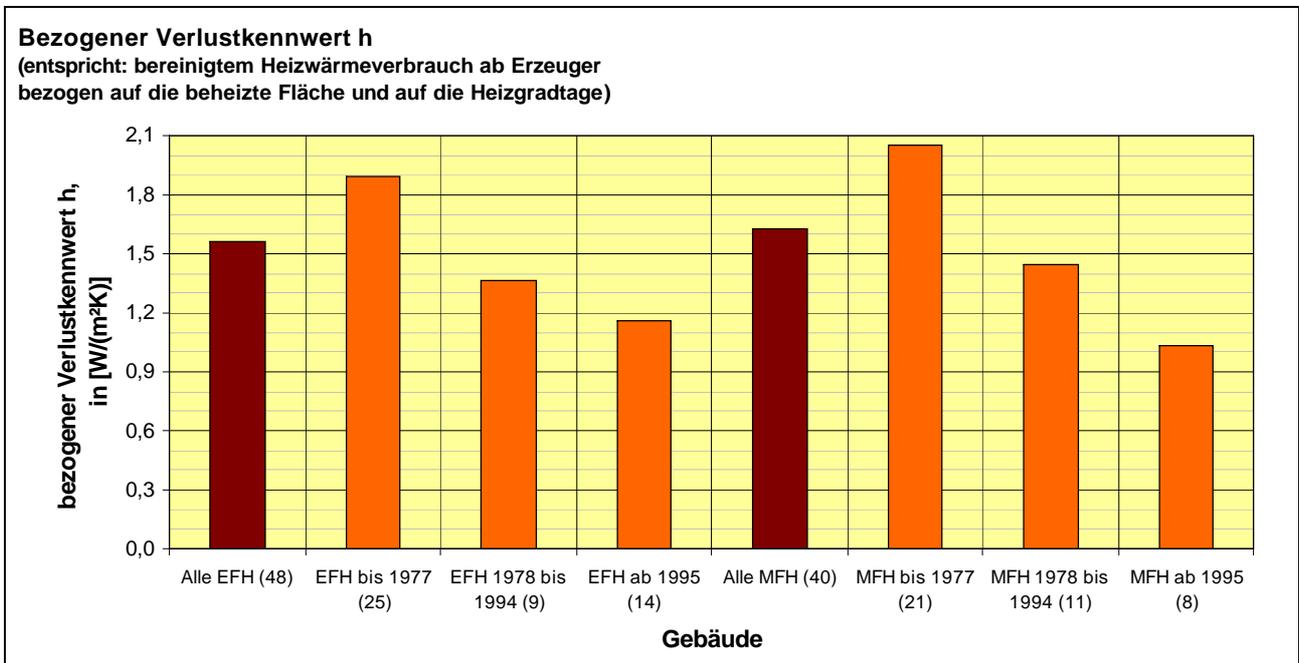


Bild 4 Bezogener Verlustkennwert h nach Gebäudetyp und -alter

Die Gegenüberstellung der gemessenen Verbrauchs- und der theoretischen Bedarfs-Kennwerte, die zur Beschreibung des Baukörpers und der Nutzung herangezogen werden können, zeigt Tabelle 1. Die beiden Kennwerte h und $(H_T + H_V)/A_{EB}$ beschreiben identische Eigenschaften des Gebäudes und der Nutzung und sollten daher vergleichbar sein. Beide sind das Maß für die Geradensteigung des Verbrauchsverlaufs.

Kriterium 1	Kriterium 2	h, in [W/(m²K)]		(H _T +H _V)/A _{EB} , in [W/(m²K)]	
		Wert	Anzahl	Wert	Anzahl
alle		1,6	88	2,4	84
alle	bis 1977	2,0	46	3,0	44
	1978 bis 1994	1,4	20	2,3	20
	ab 1995	1,1	22	1,4	20
EFH	bis 1977	1,9	25	3,1	25
	1978 bis 1994	1,4	9	2,2	9
	ab 1995	1,2	14	1,5	12
	alle	1,6	48	2,5	46
MFH	bis 1977	2,1	21	3,0	19
	1978 bis 1994	1,4	11	2,3	11
	ab 1995	1,0	8	1,3	8
	alle	1,6	40	2,3	38
Fernwärme	bis 1977	1,9	14	2,8	12
	1978 bis 1994	1,2	9	2,0	9
	ab 1995	1,1	9	1,4	8
	alle	1,4	32	2,0	29
Gas/Ölkessel	bis 1977	2,1	32	3,1	32
	1978 bis 1994	1,7	11	2,6	11
	ab 1995	1,0	13	1,3	12
	alle	1,8	56	2,6	55

Tabelle 1 Hüllkennwerte im Vergleich

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 nehmen der absolute und der relative Fehler zu den neueren Gebäuden hin ab. 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})

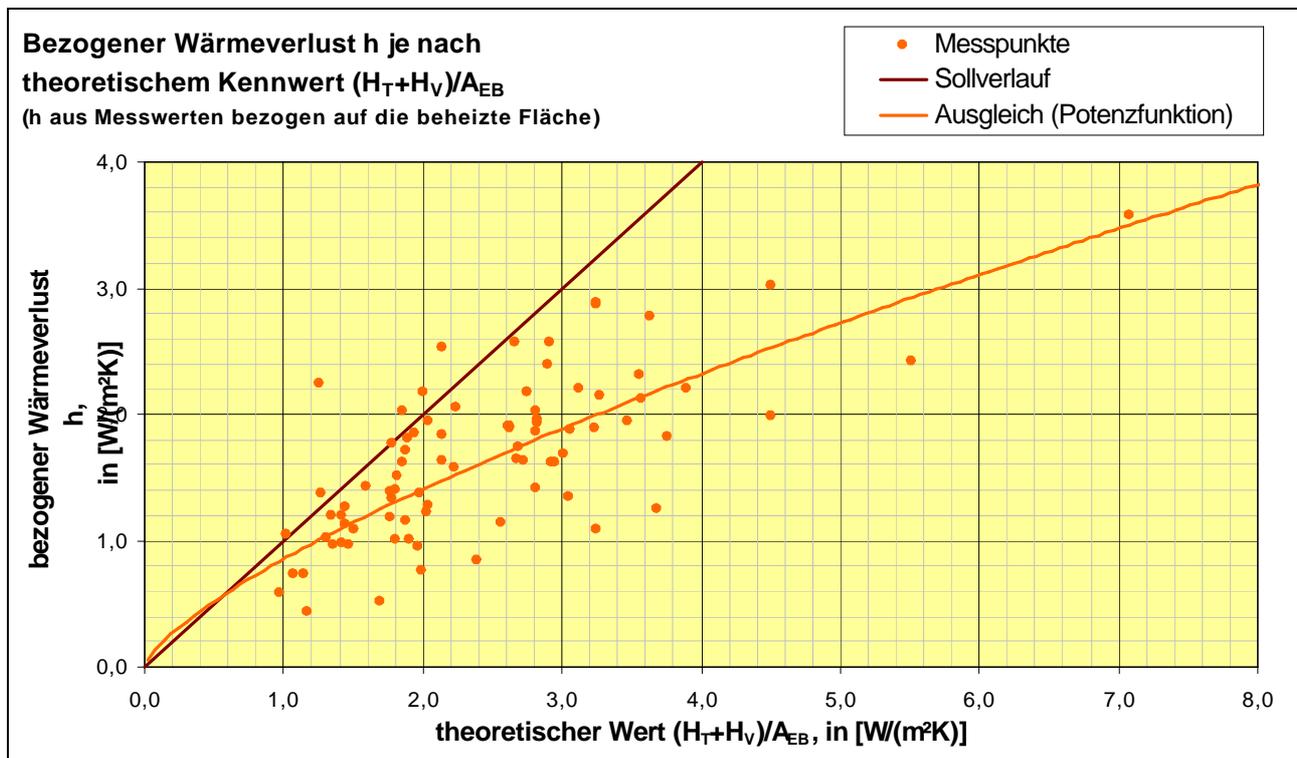


Bild 5 Bezogener Wärmeverlust h (Messwert) über $(H_T + H_V)/A_{EB}$ (Theoriewert)

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.

Damit Theoriedaten größer als Praxiswerte werden, müssen der mittlere Luftwechsel (Theorieannahme: $0,6 \text{ h}^{-1}$) und/oder die U-Werte der Baukonstruktion sind zu hoch angesetzt worden sein. Die genaue Fehleranalyse konnte im Rahmen des OPTIMUS-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 5 zeigt die Korrelation der Praxiswerte (y-Achse) mit den Theoriewerten (x-Achse). Aufgetragen ist der bezogene Wärmeverlust h aus Messwerten über dem Kennwert $(H_T + H_V)/A_{EB}$.

Heizlast

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. Dies hat auch zur Folge, dass alle Komponenten (Heizkörper, Wärmeerzeuger), die nach diesen Rechenverfahren bemessen werden, in der Praxis überdimensioniert sind.

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 Gegenüberstellung theoretischer und aus Messwerten ermittelter (Auslegungs-) Heizlasten zeigt Bild 6 für verschiedene Gebäudegruppen.

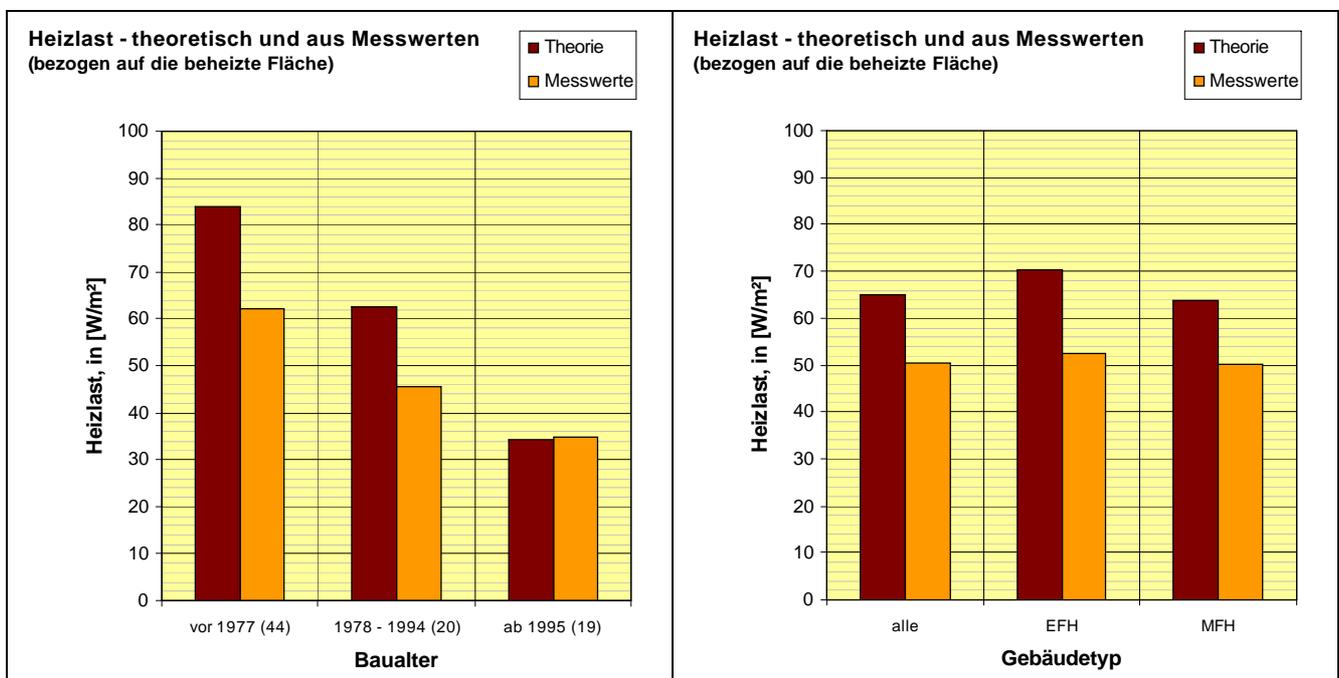


Bild 6 Heizlasten je nach Baualter und Gebäudetyp

Die theoretische Heizlast ist im Mittel ebenfalls um ca. 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 7. Nur bei Heizlasten unter etwa 35 W/m^2 sind die Theoriewerte kleiner als die tatsächlichen Werte.

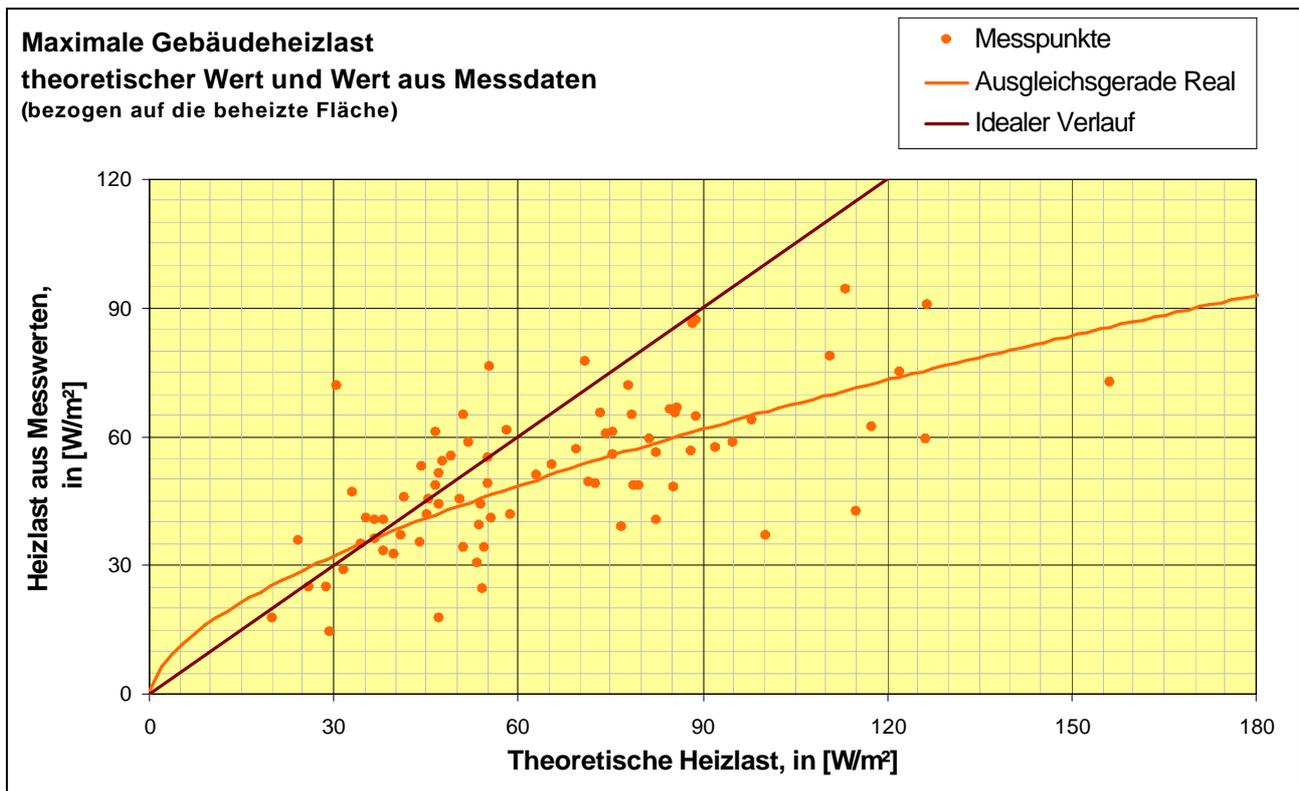


Bild 7 Heizlast aus Messwerten über theoretischer Heizlast

Bereinigter Heizwärmeverbrauch

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 8. Der Heizwärmeverbrauch steigt wie erwartet an, wenn sich der bezogene Verlustkennwert h (Maß für den mittleren U-Wert der Gebäudehülle, den Kompaktheitsgrad und den bezogenen Lüftungswärmeverbrauch) vergrößert.

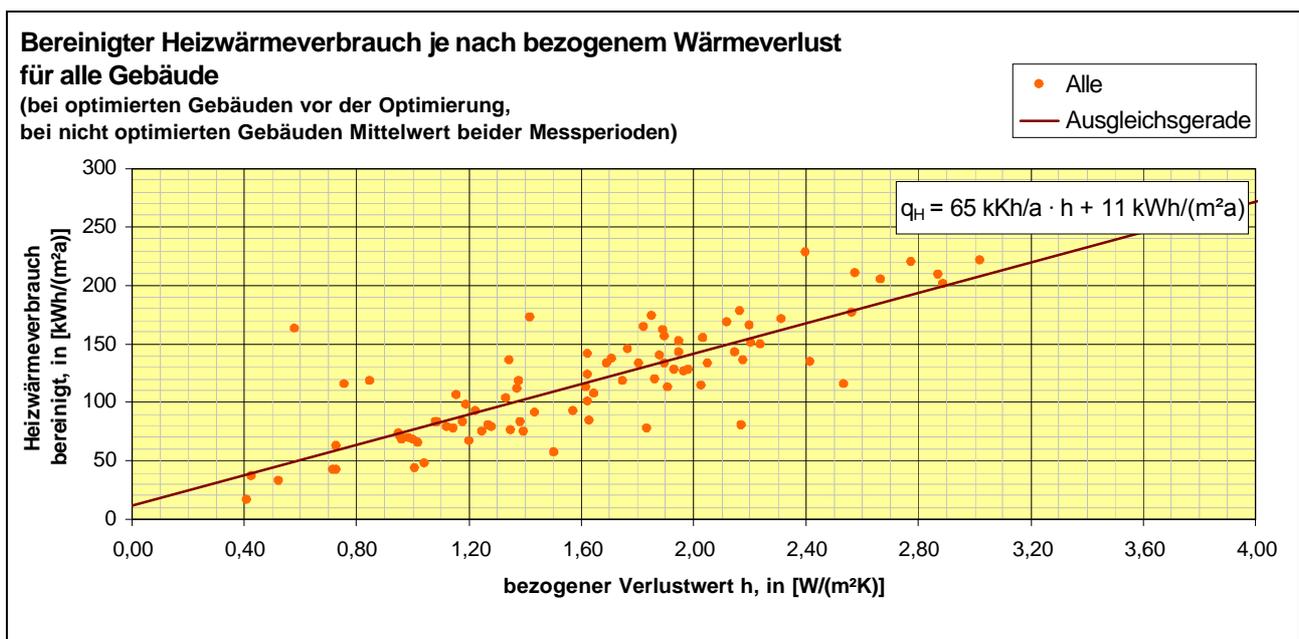


Bild 8 Heizwärmeverbrauch abhängig vom bezogenen Wärmeverlust für alle Gebäude

Die Steigung der Geraden im Bild entspricht den mittleren Heizgradtagen G , die sich für die untersuchten Gebäude ergeben haben. Sie betragen 65 kWh/a. In der Theorie wird mit weit geringeren Werten von etwa 30 kWh/a (EnEV) bis 61 kWh/a (Heizkostenabrechnungsunternehmen) gerechnet.

Die Hauptaussage der Grafik ist: wird der bezogene Wärmeverlust h um $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verändert, ergibt sich im Mittel der untersuchten Gebäude eine Veränderung des Heizwärmeverbrauchs um etwa $6,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der Achsenabschnitt (Schnittpunkt der Regressionsgerade mit der y -Achse) – für alle Gebäude im Mittel $11 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ – 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.

Nutzungsgrade und Verlustkennwerte von Erzeugern

In Tabelle 2 sind die Nutzungsgrade aller untersuchten Brennwert- und Niedertemperaturkessel als Gruppenwerte zusammengefasst. Die im Feld in durchschnittlichen Anlagen und Gebäuden ermittelten Nutzungsgrade liegen deutlich unter marktüblich verwendeten Standardwerten. Insbesondere die Anlagen mit Brennwertkessel weisen mit 89 % Nutzungsgrad große Abweichungen gegenüber den erreichbaren Prüfstandswerten auf.

Die Differenz der Nutzungsgrade zwischen Niedertemperatur- und Brennwertkesseln liegt im Mittel bei 9 Prozentpunkten (Heizwertbezug). 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 ($89 \% \leftrightarrow 80 \%$).

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 2 Nutzungsgrade von Kesseln

Aus den Messwerten für den Kesselnutzungsgrad können auch die realen Kesselverluste in $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bestimmt werden. Im Mittel der 16 auswertbaren Brennwertkesselanlagen ergibt sich eine Verlustwärmemenge (durch den Schornstein und an den Aufstellraum) von $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf den Heizwert. Dies entspricht $39 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf den Brennwert. Die vom Kessel abgegebene Nutzwärmemenge beträgt in den untersuchten Gebäuden $151 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Für die 23 Niedertemperaturkessel liegen die Kesselverluste bei $39 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf den Heizwert bzw. $59 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf den Brennwert. Die vom Kessel abgegebene Nutzwärmemenge beträgt in den untersuchten Gebäuden $161 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Für insgesamt 10 Gebäude kann eine Auswertung erfolgen, wie sich der Kesselnutzungsgrad mit einer Heizungsanlagenoptimierung verbessert. Für die vier Gebäude mit dem Brennwertkessel erbringt die Optimierung eine Verbesserung des heizwertbezogenen Nutzungsgrades von 1,2 Prozentpunkten. Die sechs Gebäude mit Niedertemperaturkessel weisen praktisch keine Änderung des Nutzungsgrades auf (0,2 Prozentpunkte Verbesserung). 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 jedoch berechtigt, bei allen Gebäuden von einem einheitlichen Nutzungsgrad in der ersten und zweiten Messperiode auszugehen.

Heizenergiekennwerte

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 direkt miteinander vergleichbar. Vergleichbar sind letztlich nur die Endenergien für Heizung (Heizenergiebedarf oder -verbrauch) sowie die Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung zusammen (Endenergiebedarf oder -verbrauch Wärme). Die Heizenergie umfasst die Heizwärme und alle technischen Verluste bei der Heizwärmebereitstellung. Sie ist somit die Wärmeenergiemenge, die dem Gebäude zum Zwecke der Raumheizung zugeführt werden muss.

Der Heizenergieverbrauch konnte für 88 Gebäude ermittelt werden. Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Heizenergieverbrauchs von 168 ... 130 ... 98 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse liegt etwa der Faktor 1,7. Der Heizenergiebedarf aus der theoretischen Berechnung mit dem dena-Energiepassverfahren wurde für 84 Gebäude bestimmt. Hier liegt eine Staffelung des Heizenergiebedarfs von 260 ... 164 ... 89 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards vor. Zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse liegt fast der Faktor drei.

Der bereinigte gemessene Heizenergieverbrauch liegt im Mittel aller untersuchten Gebäude 26 % unter dem theoretischen Heizenergiebedarf, Bild 9. 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.

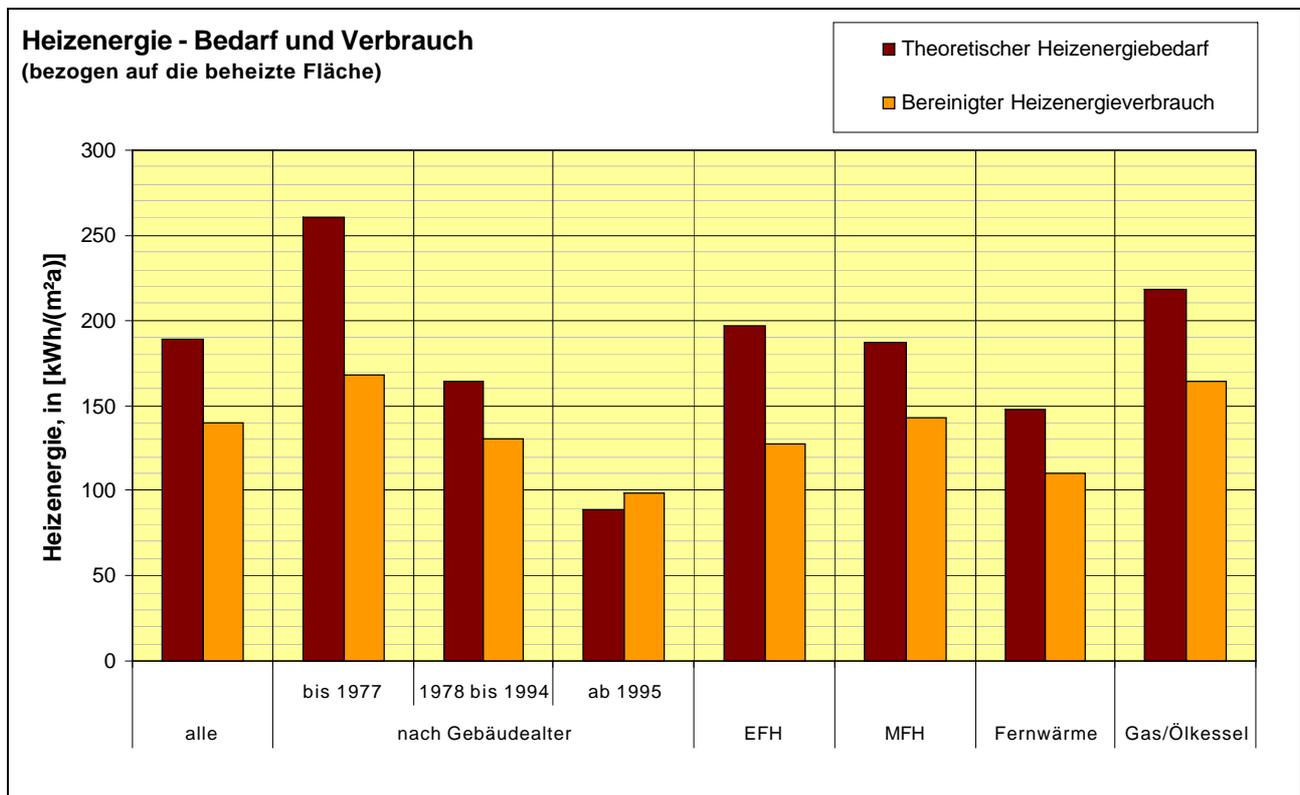


Bild 9 Heizenergie nach verschiedenen Merkmalen

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.

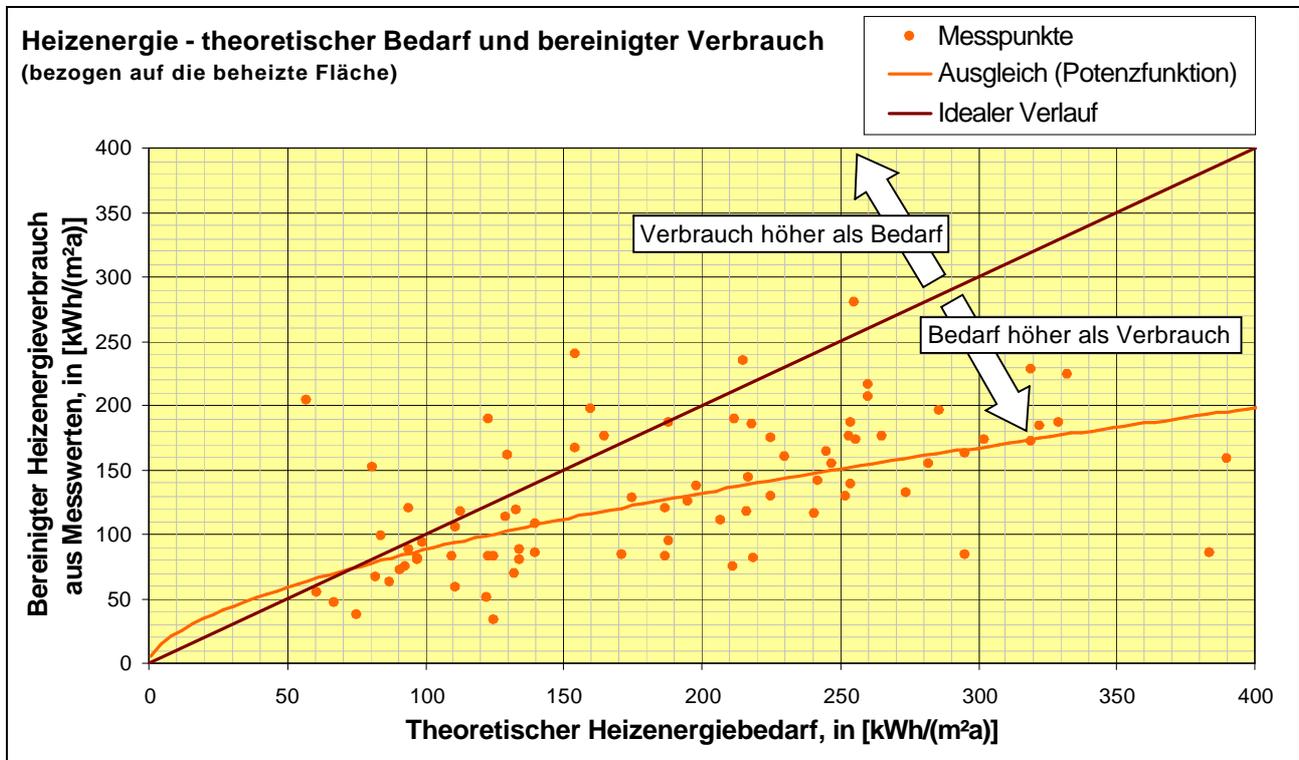


Bild 10 Vergleich der Theoriewerte mit den Praxiswerten

Der Bestand wird hinsichtlich des Energiebedarfs eindeutig überschätzt (es wird weniger verbraucht als berechnet) und der Neubau bzw. der Zustand nach der Modernisierung werden unterschätzt (es wird mehr verbraucht als berechnet). Der Zusammenhang von theoretischen und gemessenen Heizenergiewerten zeigt Bild 10 graphisch. Im Bereich unter etwa 75 kWh/(m²a) ergeben sich höhere Verbrauchswerte als berechnete Bedarfswerte. Darüber ist es umgekehrt.

Trinkwasserwärmeverbrauch

Für die OPTIMUS-Gebäude wurden parallel zur Heizungsanlagenoptimierung auch Messwerte für den Trinkwasserwärmeverbrauch erhoben. Hierunter ist im Projekt die vom Wärmeerzeuger an das Trinkwarmwassernetz abgegebene Wärme zu verstehen. Diese Wärme deckt die Verteil- und ggf. Speicherverluste des Netzes und natürlich den Nutzen für die Trinkwarmwasserbereitung.

Im Mittel von 57 auswertbaren Gebäuden ergibt sich ein bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch (ab Wärmeerzeuger) von 35 kWh/(m²a). 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 EFH-Gebäude mit Zirkulation und auf die geringere Belegungsdichte zurückzuführen.

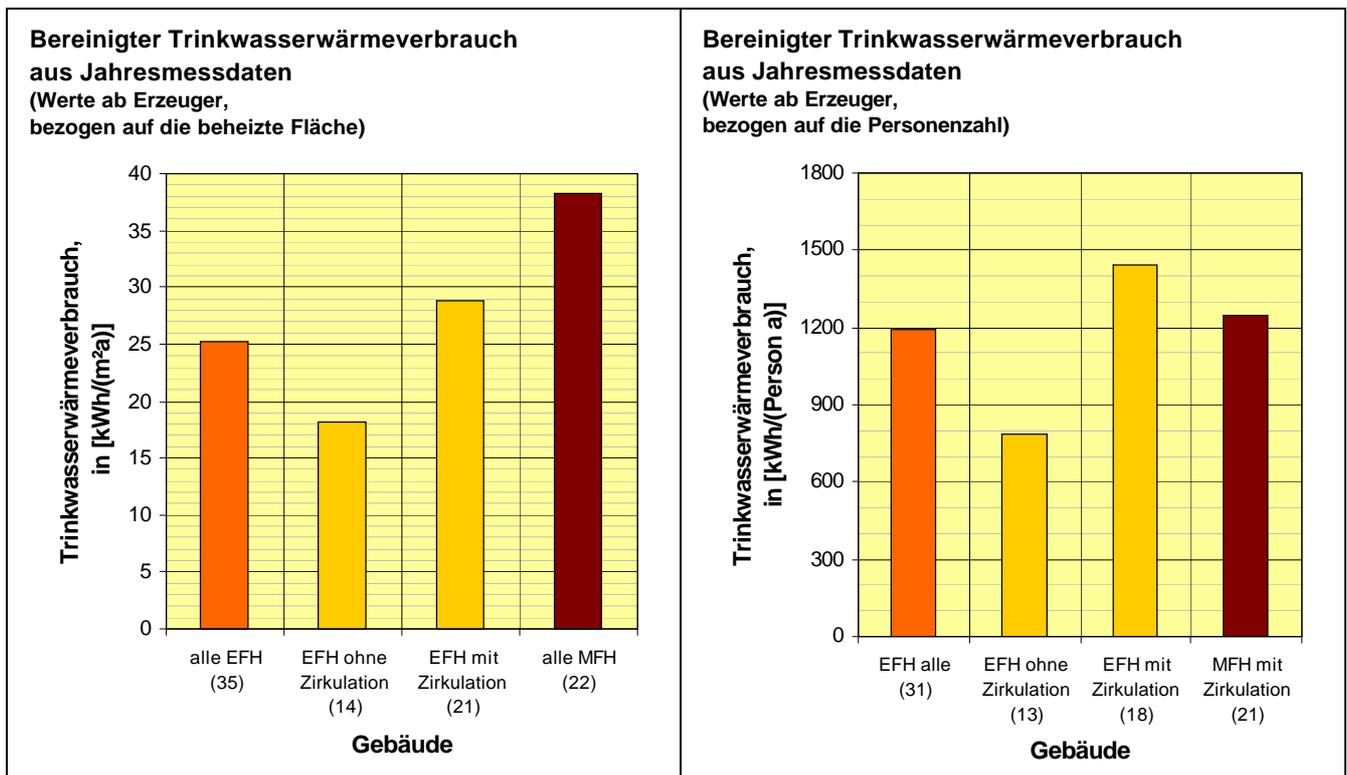


Bild 11 Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch in Gebäuden mit und ohne Zirkulation

Bild 11 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 einer Zirkulation ausgestattet und können daher nur mit den gleichartig ausgestatteten EFH verglichen werden (Auswertungen dezentral elektrisch versorgter Gebäude liegen nicht vor). Der flächenbezogene Energiekennwert ist im MFH größer. Dies wird vor allem auf die höhere Personenbelegung zurückgeführt. Diese Aussage wird von der Darstellung des personenbezogenen Trinkwasserwärmeverbrauchs untermauert. Dort schneiden die MFH besser ab.

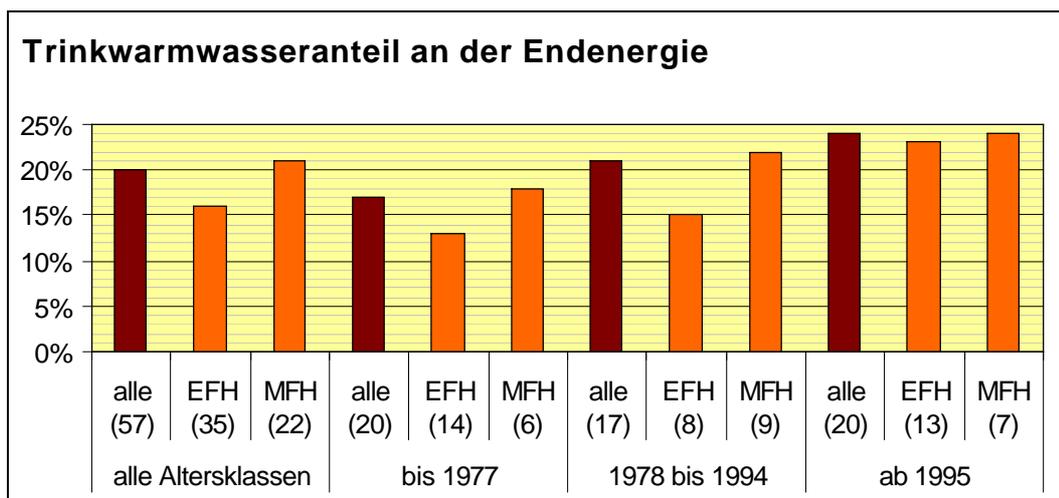


Bild 12 Trinkwarmwasseranteil

Aus den Darstellungen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Nutzwärmemenge etwa 600 kWh/(Person · a) beträgt. Damit bestätigen sich Werte aus der Literatur. 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 ca. 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 mit Kesseln (zusätzlich weitere Erzeugungsverluste). Bild 12 zeigt für verschiedene Gruppen von Gebäuden den Trinkwasseranteil (Verbrauch ab Erzeuger) an der Endenergie. Im Mittel alle 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.

Endenergiekennwerte für Wärme

Nachfolgend werden der theoretisch berechnete und der praktisch gemessene Endenergiekennwert für die OPTIMUS-Gebäude gegenübergestellt. Auch hier handelt es sich um die bereinigten Verbrauchswerte und die Kennwerte nach dem Rechenalgorithmus des Programms(EID Bestand).

Die Endenergie ist die Energiemenge, die dem Gebäude zur Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung (Nutzen plus technische Verluste) zugeführt werden muss.

Der Endenergieverbrauch konnte für 65 Gebäude ermittelt werden. Die Gruppenbildung in Gebäude unterschiedlichen Baualters liefert eine deutliche Staffelung des Endenergieverbrauchs von 214 ... 176 ... 140 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards. Zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse liegt etwa der Faktor 1,5. Der Mittelwert aller untersuchten Gebäude liegt bei 175 kWh/(m²a). Damit ist das typische untersuchte Gebäude ein "18-Liter-Haus".

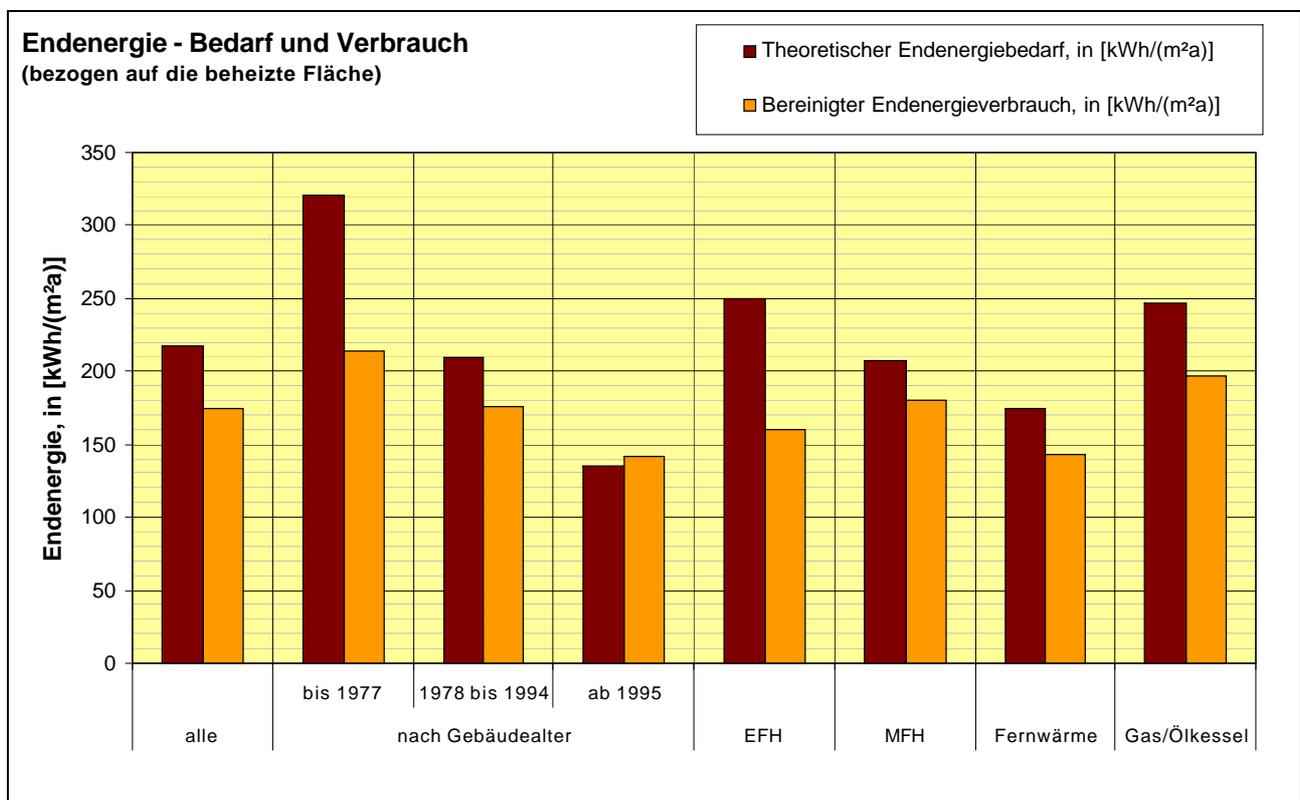


Bild 13 Endenergie nach verschiedenen Merkmalen

Der Endenergiebedarf wurde für 64 Gebäude bestimmt. Hier liegt eine Staffelung des Endenergiebedarfs von 321 ... 209 ... 135 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards vor. Zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse liegt fast der Faktor 2,4.

Erreicht wurde also mit den einzelnen Novellierungen der Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung nicht – wie vom Verordnungsgeber gewünscht – eine Reduzierung um den Faktor 2,5 sondern nur um den Faktor 1,5.

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.

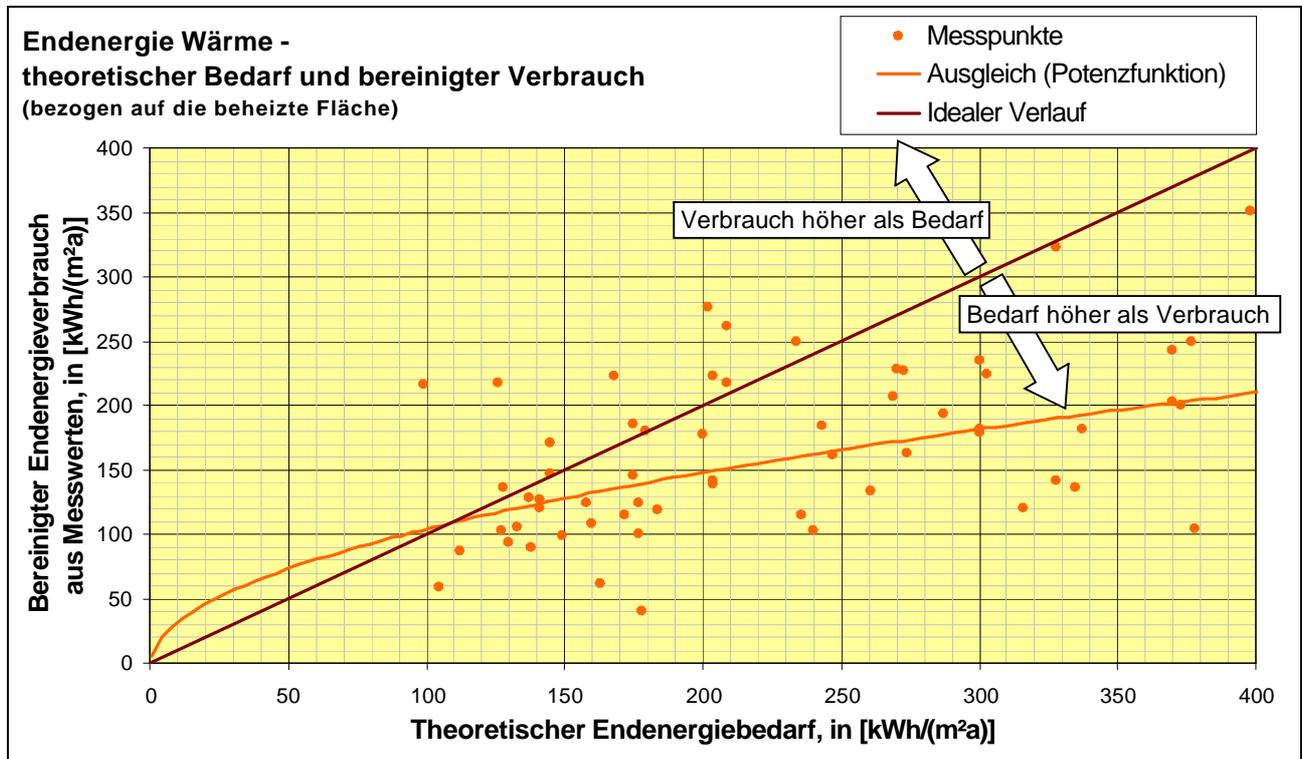


Bild 14 Vergleich der Theoriewerte mit den Praxiswerten

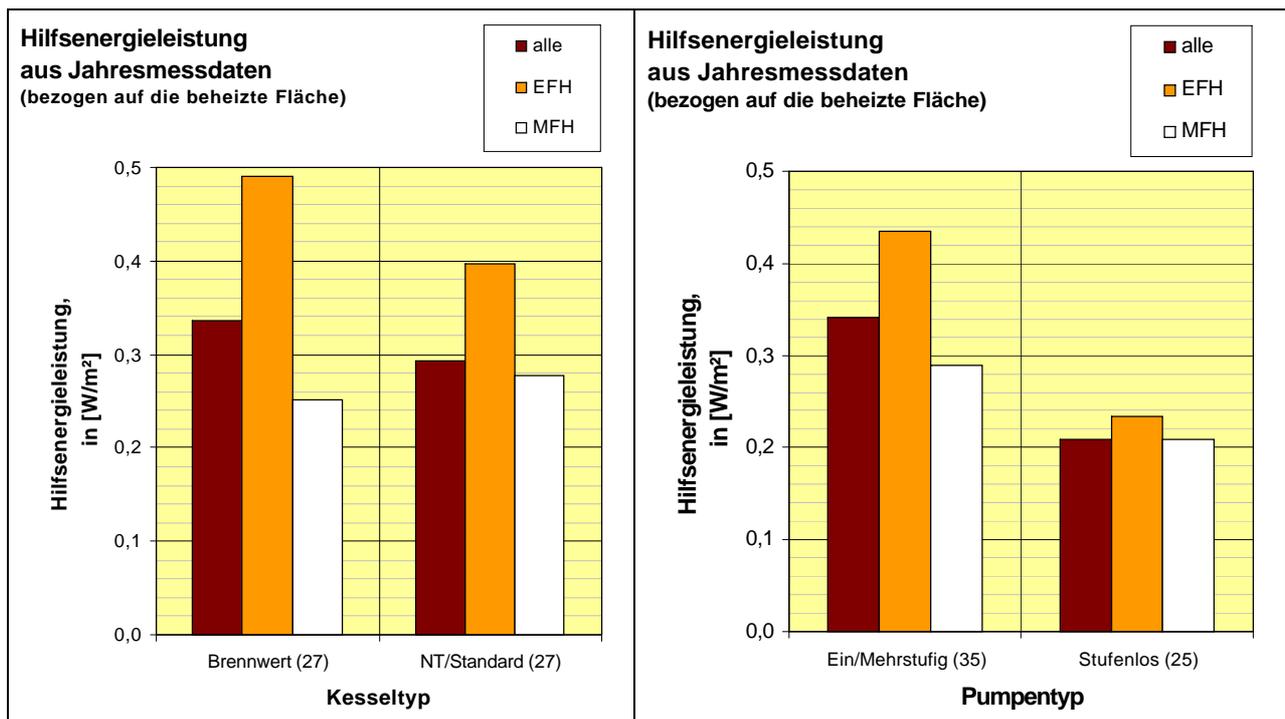


Bild 15 Hilfsenergieleistung je nach Kessel- und Pumpentyp

Der Zusammenhang von theoretischen und gemessenen Endenergiewerten zeigt Bild 14 noch einmal graphisch. Im Bereich unter etwa 110 kWh/(m²a) ergeben sich höhere Verbrauchswerte als berechnete Bedarfswerte. Darüber ist es umgekehrt.

Hilfsenergie

Für 80 auswertbare Gebäude wurde neben der bereinigten Hilfsenergie die mittlere Hilfsenergieleistung in zwei aufeinanderfolgenden Messperioden bestimmt. Die Auswertung der Gebäude nach Gruppen ergeben die in Bild 15 zusammengestellten Kennwerte.

In den EFH ergibt sich in den Brennwertkesselanlagen (0,49 W/m²) eine um mehr als 20 % höhere Hilfsenergieleistung als in den Niedertemperaturkesselanlagen (0,40 W/m²). Die Auswertung nach Pumpentyp liefert noch deutlichere Ergebnisse für Anlagen mit stufenloser Pumpe (0,21 W/m²) verglichen mit stufigen Pumpen (0,34 W/m²).

Auswirkungen der Erkenntnisse auf die Energiebilanzierung

Die im OPTIMUS-Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu den Unterschieden von Bedarf und Verbrauch sollten Eingang in die Normung (DIN) bzw. in die Richtlinienarbeit (VDI u.a.) finden. Die im Projekt nachgewiesene Abweichung von theoretischen und gemessenen Energiekennwerten kann verwendet werden, um die Randbedingungen der theoretischen Rechenverfahren (Energiebilanzierung, Heizlastberechnung) so zu verbessern, dass Bedarf und Verbrauch künftig besser übereinstimmen (Faktor 1,4 aus Verbrauch, anstelle 2,4 aus Bedarf).

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

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.

Dank

Den beteiligten Handwerksunternehmen, Wohnbaugesellschaften, Versorgungsunternehmen und Privatpersonen sei an dieser Stelle herzlich für ihre Unterstützung gedankt.

Die Autoren danken der Optimus Gruppe für die gute Zusammenarbeit: 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.

Internethinweise

Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter:

- <http://www.optimus-online.de>
- <http://enev.tww.de> ⇒ Projekte ⇒ DBU Optimus

Internetseite der DBU und von proKlima Hannover:

- <http://www.dbu.de>
- <http://www.proklima-hannover.de>

Autoren

- Dr.-Ing. Kati Jagnow, Wernigerode
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

Quellen

- [1] 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.
- [2] Jagnow; Kati; Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation; Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund; pro Business; Berlin; 2004.
- [3] Wohlers, Heike; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; Vorabmanuskript; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Wolfenbüttel; Dezember 2003.
- [4] 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.
- [5] Wolff, Dieter / Teuber, Peter und Jagnow, Kati; Effizienz von Wärmerezeugern; TGA Fachplaner; Nr. 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.
- [6] Wolff, Dieter und Jagnow, Kati; E-A-V - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.