

Forschungsprojekt „Optimus“: Erkenntnisse für die Praxis

Das System Heizungsanlage optimieren

Wer die Einsparmöglichkeiten einer Heizungsanlage systematisch ermitteln und ausschöpfen möchte, muss das „System Heizungsanlage“ verstehen und die einzelnen Komponenten optimal aufeinander abstimmen. Wie sich bestehende Anlagen vom Fachhandwerk praxisgerecht, kostengünstig und ohne Komforteinbußen nachhaltig energetisch optimieren lassen, hat das Forschungs- und Qualifizierungsprojekt „Optimus“ untersucht. Nachfolgend lesen Sie die wichtigsten Erkenntnisse für die Praxis.

Etwa 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 künftig 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 – vor allem nach einer baulichen Modernisierung – abgestimmt und eingestellt werden.

Unnötiger Energieverbrauch

„Optimus“ ist ein Forschungs- und Qualifizierungsprojekt, das sich mit der Optimierung von bestehenden Heizungsanlagen befasst und damit einen nachvollziehbaren Weg der Energieeinsparung aufzeigt. Vor allem in bestehenden Heizungsanlagen ist eine optimale Zusammenarbeit der hochwertigen Einzelkomponenten (Kessel, Pumpen, Regler, Thermostate, Heizkörper, etc.) sicherzustellen. Vier entscheidende Faktoren führen zu einem unnötigen Energieverbrauch und zu einer Verschwendung von Ressourcen:

- Der oftmals unterlassene hydraulische Abgleich
- Die Überdimensionierung von Heizflächen
- Die meist nicht der Rohrnetzdimensionierung entsprechende Auslegung und Einstellung der Pumpen
- Die meist nicht vorgenommene Einstellung der Heizkurven witterungsgeführter Vorlauftemperaturregler.



Bild 1 Die Ziele und Arbeitspunkte des „Optimus“-Projekts im Überblick

Die Optimierung vorhandener Anlagen zielt darauf ab, Überangebote von Wärmeenergie zu vermeiden und Heizflächen mit der richtigen Wärmemenge, d.h. mit den richtigen Volumenströmen und Heizwassertemperaturen, zu versorgen. Dazu ist es notwendig, die Heizwasservorlauftemperatur den tatsächlichen Gegebenheiten anzupassen sowie einen hydraulischen Abgleich fachgerecht durchzuführen. Diese Einstellungen verursachen geringe Kosten und können die Lebensdauer der Anlagenkomponenten verlängern. Um Akzeptanz für diese Optimierungsmaßnahmen zu erhalten, dürfen keine Komforteinbußen und finanziellen Mehraufwendungen für die Nutzer entstehen.

Um die Einsparmöglichkeiten einer Heizungsanlage auszuschöpfen zu können, ist es erforderlich, das „System Heizungsanlage“ mit seinen vielfachen Wechselwirkungen zu verstehen und die einzelnen Komponenten und ihre Einstellung optimal aufeinander abzustimmen. Das Projekt „Optimus“ zielt weiterhin darauf ab, die technische Optimierung von Heizungsanlagen mit einer Informations- und Qualifizierungsstrategie nachhaltig zu sichern.

Projektpartner und Projektziele

„Optimus“ ist ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU in den letzten drei Jahren gefördertes Projekt, dessen Ergebnisse nun der Öffentlichkeit präsentiert werden können. Der ausführliche Titel des Projekts lautet übrigens: Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen.

Die Projektgruppe besteht aus folgenden Partnern:

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

Das Projekt hat vier wichtige Ziele (die damit verbundenen Arbeitsschwerpunkte sind in Bild 1 dargestellt):

1. Energieeinspar- und Wirtschaftlichkeitsnachweis der Optimierung von Heizungsanlagen: Durch die Optimierung konkreter Anlagen im Feld soll gezeigt werden, wie viel Energie sich im Gebäude- bzw. Anlagenbestand sparen lässt. Für die verschiedenen Gebäudebauklassen und Anlagenkonfigurationen wird nachgewiesen, in welchen Fällen die Heizungsanlagenoptimierung wirtschaftlich ist.
2. Qualifizierung und Geschäftsfeldentwicklung: Das Projekt soll im Beruf stehende Handwerker auf das neue Geschäftsfeld aufmerksam machen und auch für die Optimierung qualifizieren. Darüber hinaus werden auch Angebote für die berufliche Handwerksausbildung entwickelt und erprobt.
3. Öffentlichkeitsarbeit: Um ein Bewusstsein für die erwarteten Energieeinsparpotenziale der Anlagenoptimierung zu schaffen, werden Verbraucher-, Umwelt- und Fachverbände sowie der Ordnungsgeber informiert.
4. Ideenverbreitung: Langfristig ist das wichtigste Projektziel, die Optimierung von Heizungsanlagen zu einer Standardmaß-

Heizung

nahme der energetischen Gebäudemodernisierung zu entwickeln. Hierfür sollen die Grundsteine gelegt werden.

Arbeitshilfen zur Optimierung

Die wichtigsten Maßnahmen der Optimierung einer (bestehenden) Heizungsanlage sind in Bild 2 dargestellt. Eine Optimierung kann nur erfolgreich durchgeführt werden, wenn die Anlage als Gesamtsystem betrachtet wird. Dies setzt in bestehenden Anlagen voraus, dass zunächst alle vorhandenen Komponenten erfasst werden, um mit diesen dann den bestmöglichen Anlagenzustand herzustellen oder sie – falls erforderlich – zu ersetzen. Dafür gab es vor Projektbeginn keine handhabbaren Werkzeuge für das ausführende Handwerk.

Bereits im Vorfeld des „Optimus“-Projekts wurde geprüft, welche Möglichkeiten zur Optimierung von Heizungsanlagen mit dem Schwerpunkt „Hydraulischer Abgleich“ in der Fachliteratur bekannt sind. Aufbauend auf den vorhandenen Ansätzen wurde in zwei Diplomarbeiten ein Optimierungskonzept erarbeitet, das die Durchführung des hydraulischen Abgleichs auch in Bestandsgebäuden ohne einen Rohrnetzplan 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, Hannover, (Förderprogramm zur Qualitätssicherung von Heizungsanlagen mit Brennkesseln, Grundlage ist der Hydraulische Abgleich) und der FH Wolfenbüttel (TWW) ein Programm zur Optimierung von Heizungsanlagen entwickelt, mit der sich der hydraulische Abgleich auch in Bestandsanlagen einfach und kostengünstig realisieren lässt. Zugleich wird damit auch eine übersichtliche Dokumentation erstellt. Das Entwicklerteam wurde für dieses Programm mit dem Heimeier-Innovationspreis 2005 ausgezeichnet.

Die Software „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“ setzten geschulte Fachhandwerker zur Optimierung der „Optimus“-Gebäude ein. Außerdem wurde im



Bild 2 Maßnahmen bei der Optimierung einer Heizungsanlage

Projektverlauf ein weniger umfangreiches Verfahren speziell zur Optimierung von Ein- und Zweifamilienhäusern entwickelt. Es liegt als Excelprogramm und als Handrechenverfahren vor. Das ursprüngliche, ausführlichere Verfahren wird zur Optimierung von Mehrfamilienhäusern empfohlen. Beide Programme sowie die zusammengefassten Grundlagen können dem Fachhandwerker in einer eintägigen Schulung vermittelt werden.

Qualifizierung der Handwerker

Die Qualifizierung der Handwerker bildet einen weiteren Arbeitsschwerpunkt des „Optimus“-Projekts. Dabei sind drei Stufen durchlaufen worden:

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 Optimierungsoftware werden 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 Produkt „Heizungsoptimierung“ zu verkaufen.

Die Qualifizierungen versuchen, dem Fachhandwerker eine bestehende Heizungsanlage als ein System zu vermitteln, das Wärmeerzeuger, Regelung, Pumpen, Hydraulik

und Heizflächen aber auch Nutzer und Bewohner umfasst. Wichtig: Die vermittelte Systemkompetenz soll für das Fachhandwerk über den Rahmen des Projektes hinaus nützlich sein.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde daraus 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.

Qualifizierung der Lehrer

Um die Qualifizierung des Fachhandwerks abzurunden, ist die Qualifizierung der Berufsschullehrer als Voraussetzung für den künftigen Lehrplan 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 4).

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 Thema „Hydraulischer Abgleich“ bemängelt. Hier sind Anpassungen der Ausbildungsrichtlinien nötig. Die Arbeitsgruppe stellte fest, dass in aktuellen Fachbüchern 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 greifbarer gestaltet werden. Eine mobile Ex-



Bild 3 Qualifizierung des Fachhandwerks am Schreibtisch, am Rechner und am Praxismodell

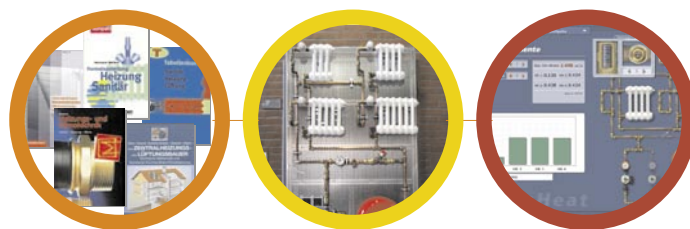


Bild 4 Qualifizierung in der Berufsschule: Durchsicht von Lehrbüchern, Entwicklung einer Experimentalwand und zugehöriger Simulationssoftware

perimentalwand wurde entwickelt sowie eine zugehörige „Eins-zu-Eins“-Simulationssoftware. Software und Experimentalwand ergänzen sich und bieten die Chance, dass die Berufsschüler in kleinen Gruppen jeweils an einem der beiden Medien die hydraulischen Zusammenhänge in einfacher Weise erlernen können.

Im Rahmen des 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 Unter-

richtsbeschreibung sind für andere Berufsschullehrer verfügbar. Die Lehrerfortbildung (Multiplikatoren Ausbildung) erfolgt nach der abgeschlossenen Erprobung und ggf. Verbesserung der Medien im Unterricht.

Nachweis der Einsparung

Einsparpotenziale in Heizungsanlagen konnten bisher nicht exakt beziffert werden, da sich wissenschaftliche Untersuchungen oft nur auf technische Teilaspekte oder einzelne Produkte von Herstellern beschränken. Besonders schwierig ist die Abschätzung des

Energieeinsparungspotenzials, das durch einen hydraulischen Abgleich erreicht werden kann. Der technische Arbeitsbereich des Projekts beschäftigte sich daher schwerpunktmäßig mit der Frage: Wie viel Energie lässt sich durch die Optimierung einsparen? Es sollte gezeigt werden, dass es in der Praxis möglich ist, durch Maßnahmen wie den hydraulischen Abgleich und den Einbau elektronisch geregelter Umwälzpumpen (oder zumindest einer korrekten Einstellung der vorhandenen Pumpe) den Energieverbrauch deutlich zu senken – ohne den Wohnkomfort zu verschlechtern.

Heizung



Bild 5 Auswahl von Gebäuden verschiedener Baualtersklassen

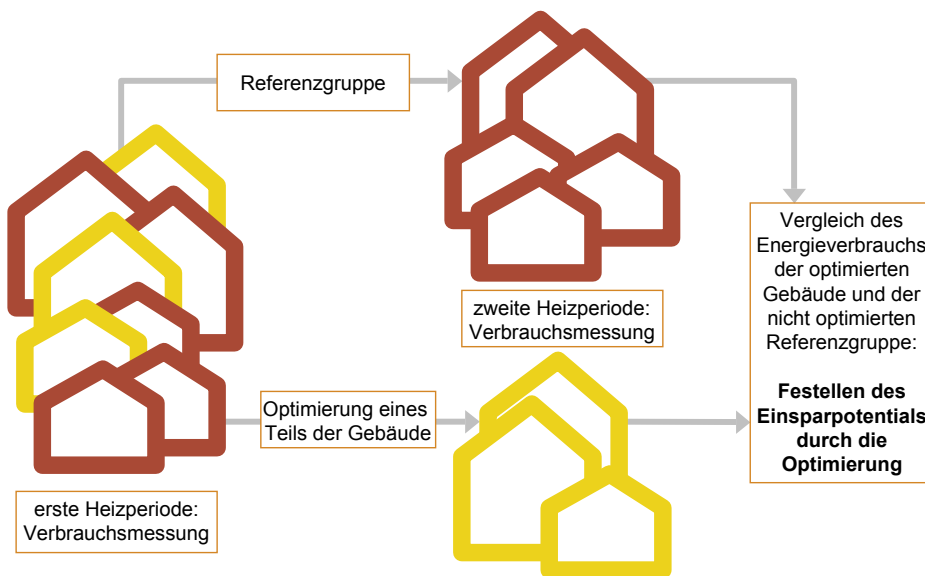


Bild 6 Nachweis der Energieeinsparung durch Vergleich von Messdaten

Für den quantitativen Einsparnachweis wurden im norddeutschen Raum 92 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. 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. Der Energieverbrauch der Gebäude und die zugehörigen mittleren Außentemperaturen wurden über insgesamt fast drei Heizperioden monatlich erfasst (Bild 6). Anschließend zeigt ein Vergleich des Energieverbrauchs der optimierten und nicht optimierten Gebäude, wie viel Energie sich tatsächlich einsparen lässt und ob und wie sich die Einsparpotenziale in den einzelnen Gebäudeklassen unterscheiden. Für alle Messdaten wurde eine Korrektur des Witterungseinflusses durchgeführt, um die Werte vergleichbar zu machen.

Enorme Verschwendung

Dem eigentlichen Energieeinsparnachweis ging eine über 2 ½ Jahre dauernde Messzeit voraus. Diese wurde genutzt, um den Zustand der untersuchten Gebäude zu erfassen und zu dokumentieren. Die Erfassung der Gebäude- und Anlagendaten erfolgte Anfang bis Mitte 2003 durch die beteiligten Handwerksunternehmen. Im Laufe der ersten Heizperiode erhoben die beteiligten SHK-Fachbetriebe sowie Mitarbeiter der FH Braunschweig/Wolfenbüttel detailliert die Gebäude- und Anlagendaten anhand eines vorher erstellten Fragenkatalogs. Die erfassten Daten wurden in einer Diplomarbeit [3] und erweitert in einer Promotionsarbeit [2] aufgearbeitet.

Ein durchschnittliches EFH im „Optimus“-Projekt hat eine tatsächlich beheizte Fläche von 153 m², ein durchschnittliches MFH von

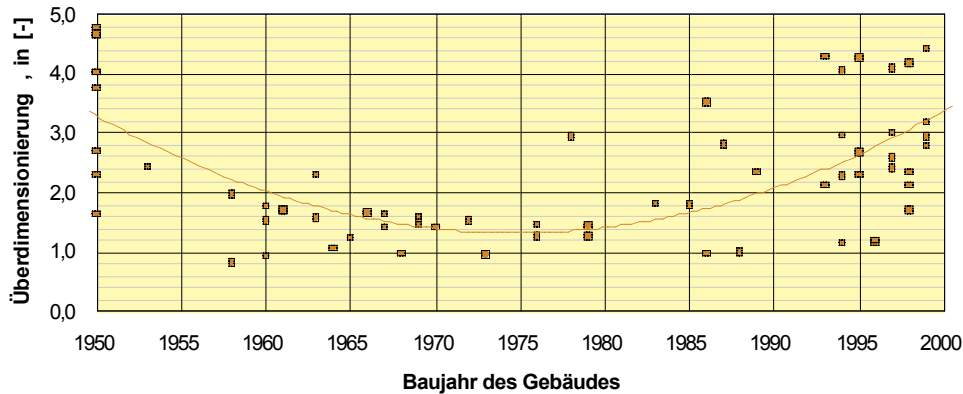


Bild 7 Überdimensionierung der Wärmeerzeuger in der Praxis (Leistung bezogen auf Gebäudeheizlast)

837 m². Die untersuchten Anlagen im Bestand – alle nur mit statischen Heizkörpern ausgerüstet – weisen eine großzügige Auslegung auf:

- Wärmeerzeuger: Überdimensionierung etwa 1,8 bezogen auf die Gebäudeheizlast
- Pumpen: Überdimensionierung etwa 3,0 bezogen auf die ausreichende elektrische Leistung
- Heizkörper: Verhältnis Heizkörpernormleistung nach DIN EN 442 zu effektiver Raumheizlast etwa 1,7.

Die zentrale Heizkurveneinstellung ermöglicht nahezu unabhängig vom Baualter Vorlauftemperaturen von ca. 80°C bei Auslegungsaußentemperatur (-15°C). Die untersuchten Gebäude weisen mit geringer Schwankungsbreite durch alle Gebäudearten, Altersklassen und Energieversorgungsarten 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.

Heizung

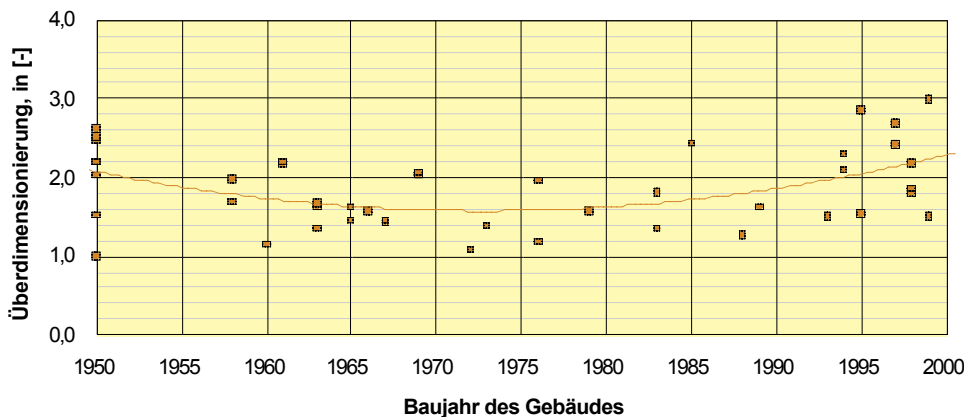


Bild 8 Dimensionierung der Heizkörper in Gebäuden ab 1950 (Normheizkörperleistung bezogen auf Raumheizlast)

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 bis 10fach zu groß. Der hydraulische Abgleich ist in deutlich weniger als 10 % der Anlagen vorhanden. Weniger als die Hälfte der Thermostatventile sind voreinstellbar. Zusammenfassend betrachtet wird der Nutzer typischer Wohngebäude und Anlagen mit einem enormen Verschwendungspotenzial konfrontiert. Die Auswertung zeigt, dass der maximal mögliche Verbrauch etwa 2- bis 3-mal über dem minimal möglichen Verbrauch mit angepasstem Nutzerverhalten liegen kann [2]. Es muss davon ausgegangen werden, 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.

Die Kosten der Optimierung

Nach der Grobauswertung der Energieverbrauchsdaten der ersten Heizperiode wurden 20 EFH und 11 MFH verschiedener Baualterklassen mit einer gesamten beheizten Fläche von fast 11 500 m² optimiert. Die konkreten Verbesserungsmaßnahmen für die ausgewählten Versuchsobjekte wurden zu-

sammen mit der FH 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 mit der oben beschriebenen Software von pro Klima ermittelt (Bild 9).

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.

Bei Gebäuden, in denen vorhandene Komponenten nur eingestellt werden mussten, lagen die Kosten bei ca. 1 €/m². Dort, wo zusätzlich voreinstellbare Thermostatventile nachgerüstet wurden, lagen die Kosten bei etwa 3 €/m². Mussten darüber hinaus Pum-

pen getauscht bzw. Differenzdruckregler nachgerüstet werden, ergaben sich ca. 4 €/m².

Erreichte Energieeinsparung

Anfang 2005 wurde die Erfassung der Energieverbrauchsdaten der „Optimus“-Gebäude abgeschlossen. Die erreichte Energieeinsparung bzw. die Veränderung des Energieverbrauchs der optimierten Gebäude wurde im Vergleich zu den nicht optimierten Gebäuden ausgewertet. Zur Bewertung der Energieeinsparung der optimierten Gebäude wurden die reinen Verbrauchsdaten hinsichtlich der Witterung auf einen Standardstandort und ein Standardjahr korrigiert.

Heizwärmeeinsparung

Der mittlere Heizwärmeverbrauch von 88 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Heizungsanlagenoptimierung) 125 kWh/(m²a). 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 bereinigte Heizwärmeverbrauch der 45 auswertbaren nicht optimierten Gebäude in beiden Messperioden ist nahezu gleich (Bild 10). 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 einen um 8 kWh/(m²a) geringeren bereinigten Heizwärmeverbrauch auf. Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizwärmeeinsparung von mindestens 7 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche. In den optimierten Gebäuden konnten insgesamt knapp 90 000 kWh/a Heizwärme eingespart werden.

Heizenergieeinsparung

Der mittlere Heizenergieverbrauch von 88 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Hei-

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 der THKV) vor Ort

Bild 9 Ablauf der Optimierung im Überblick

Bereinigter Heizwärmeverbrauch
aus Jahresmessdaten

(Werte ab Erzeuger, bezogen auf die beheizte Fläche)

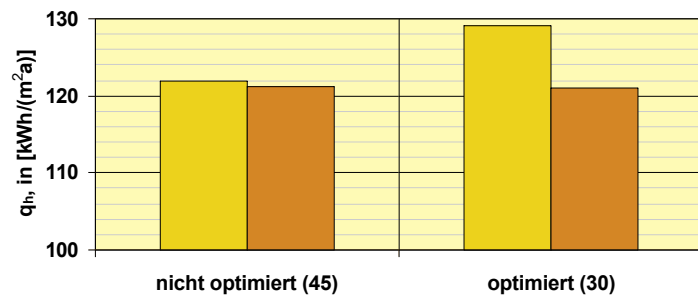


Bild 10 Durch Optimierung erreichte Einsparung von Heizwärme

zungsanlagenoptimierung) 140 kWh/(m²a). Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen. Die Werte sind wie allgemein üblich auf den Heizwert H_i bezogen.

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 aus-

wertbaren optimierten Gebäude ein um 9,4 kWh/(m²a) geringerer Heizenergieverbrauch ergibt (Bild 11). 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 106000 kWh/a Heizenergie eingespart werden.

Geringe Einsparung in alten Gebäuden

Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH geringer als in den MFH. Die Einsparung ist in den Gebäuden der neuesten Baualtersklasse (Baujahre ab 1995) deutlich größer als in der mittleren Baualtersklasse (Baujahre 1978 bis 1994). In der ältesten Baualtersklasse (vor 1977) sind – und das war die größte Überraschung – praktisch keine Einsparungen nachweisbar. Unerwartetes Ergebnis: Die Einsparung liegt in den Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch deutlich höher als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch.

Die Optimierung beeinflusst den Heizenergieverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualtersklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch, z. B. nach einer baulichen Modernisierung). Da wegen des guten Baustandards ohnehin eine geringere Wärmeanforderung besteht, führt jedes zusätzlich ungeregelt auftretende Wärmepotenzial – durch überdimensionierte und/oder nicht eingestellte Komponenten – in diesem Gebäudetyp sehr schnell zum Mehr-

- Unter www.optimus-online.de gibt es allgemeine Infos rund um die Anlagenoptimierung. Vertiefende Berichte sowie Materialien zum Download finden sich unter <http://enev.tww.de> (Rubrik „Projekte, DBU Optimus“).
- Für das Fachhandwerk sind viele Materialien und Infos auf einer im Projekt erstellten CD verfügbar, die Ende 2005 erscheinen und kostenlos erhältlich sein soll.
- Alle Schulungsfolien, Programme, Arbeitsmittel und Materialien werden für Multiplikatoren auf einer gesonderten CD bereitgestellt.
- Die Arbeitsmaterialien für Berufsschulen und Lehrer werden über eine Internet-Plattform verbreitet.



verbrauch. Die Optimierung beseitigt bzw. vermindert das Verschwendungspotenzial 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 Verschwendungspotenzialen. Folglich ergeben sich dann auch geringere Einsparpotenziale. Im Einzelfall kann es sogar zum geringfügigen Mehrverbrauch kommen, da nun eine homogene Wärmeverteilung erreicht wird und alle Räume gleichmäßig beheizt werden (können).

Einsparung an Hilfsenergie

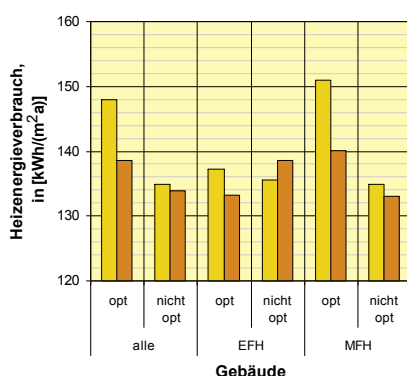
Neben der Einsparung an Wärmeenergie konnte eine Einsparung an Hilfsenergie erreicht werden. Die gemessene Hilfsenergie umfasst in verschiedenen Gebäuden unterschiedliche Stromverbraucher – je nach Möglichkeiten der Installation der Messtechnik und Ausstattung der Anlage. In der Regel ist die Stromaufnahme der Heizungsumwälzpumpe enthalten sowie teilweise auch die

Energieaufwendungen für Zirkulationspumpen, die Regelung und Speicherladepumpen. Der mittlere gemessene Hilfsenergieverbrauch von 80 untersuchten Gebäuden beträgt (ohne Heizungsanlagenoptimierung) 1,8 kWh/(m²a). Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Hilfsenergieeinsparung von 0,3 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Fläche. Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich ein Einsparpotenzial eines Gebäudes von durchschnittlich 13 % des Hilfsenergieverbrauchs (vor allem für Pumpen) durch die Optimierung. In den optimierten Gebäuden konnten gegenüber den nicht optimierten Gebäuden insgesamt etwa 4 000 kWh/a Hilfsenergie eingespart werden. Die Einsparung an Primärenergie ist dreimal so hoch.

Gesamtbilanz

Die Detailbetrachtung der Gebäude zeigt, dass in jeder Gruppe (optimierte und nicht optimierte, Baujahre vor und nach 1978 usw.) jeweils Mehr- und Minderverbräuche festzustellen sind. Bei den nicht optimierten Gebäuden gleichen sich die Mehr- und Minderver-

Bereinigter Heizenergieverbrauch aus Jahresmessdaten
(bezogen auf die beheizte Fläche)



Bereinigter Heizenergieverbrauch aus Jahresmessdaten
(bezogen auf die beheizte Fläche)

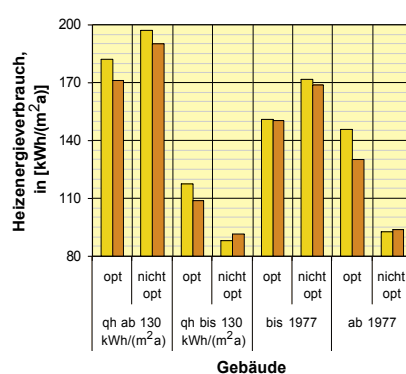


Bild 11 Durch Optimierung erreichte Einsparung von Heizenergie

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 12 Insgesamt erreichte Einsparungen

Wirtschaftlichkeit der Optimierung
(Werte bezogen auf die beheizte Fläche)

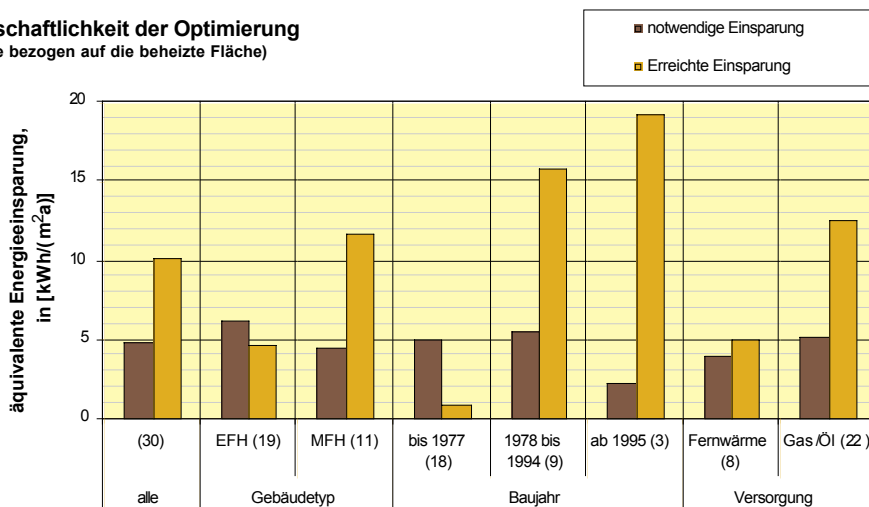


Bild 13 Wirtschaftlichkeit der Optimierung (äquivalente Energiemengen: Summe aus Wärme- bzw. elektrische Hilfsenergie mit dem Umrechnungsfaktor 1 (thermisch) bzw. 3 (elektrisch))

braucher in etwa aus (Anzahl und Kennwerte). Bei den optimierten Gebäuden überwiegt die Zahl der Minderverbraucher. Die optimierten Gebäude weisen eine Primärenergieeinsparung von 10 kWh/(m²a) bzw. eine CO₂-Einsparung von 2,1 kg/(m²a) auf. Damit konnten durch das „Optimus“-Projekt insgesamt etwa 124 000 kWh/a Primärenergie oder etwa 28 300 kg/a CO₂-Äquivalent eingespart werden.

Sondermaßnahmen

In mehreren Objekten wurden Sondermaßnahmen, d. h. weitergehende Untersuchungen mit speziellen Fragestellungen, durchgeführt. In acht Etagenwohnungen eines MFH wurden z. B. die im Kessel integrierten, unregelmäßig Pumpen durch geregelte ersetzt. Es konnte eine Heizwärmeersparnis von 27 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).

Für die acht Etagenwohnungen ist die Optimierung mit Pumpentausch als großer Energieersparnis 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.

Wo lohnt sich die Optimierung?

Nach Auswertung der Energieverbrauchsdaten konnte die Wirtschaftlichkeit der Optimierung überprüft werden. Den zur Deckung der Investition notwendigen Mindestenergieeinsparungen (zum Erreichen der Wirtschaftlichkeit) werden die erreichten tatsächlichen Energieeinsparungen gegenüber gestellt (Bild 13).

Im Optimus-Projekt wurden insgesamt knapp 42 000 € für die Optimierung investiert. Daraus ergeben sich für alle Gebäude zusammen jährliche Kapitalkosten von insgesamt knapp 4 200 €/a. Zusätzlich zu diesen Bedingungen in mehreren Gebäuden nachträglich installierten Schmutzfilter weitere 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.

Bei Gebäuden der ältesten Baualtersklasse wird die Wirtschaftlichkeit nicht erreicht. Hier sind die Investitionen hoch und die Energieeinsparungen niedrig. Neuere Gebäude mit Baujahren nach 1978 bzw. auch auf einen guten Standard modernisierten Gebäude erreichen im Mittel die Wirtschaftlichkeit.

Die in Bild 14 klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung (es gilt „++“ als am erfolgversprechendsten). Gebäude der Baujahre ab 1978 können sofort optimiert werden, auch nachträglich mit Investitionen in einzelne Komponenten.

Aus der Gruppe der Gebäude mit Baujahren vor 1977 sollten vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, weil hier größere 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

	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 1984	+	+	++	+
Baujahr ab 1995	++	++	++	++

Bild 14 Optimierungsempfehlungen strukturiert nach Gebäudegruppen

oder wenn bereits einstellbare Komponenten vorhanden sind.

Die Optimierung der Heizungsanlage im Neubau sowie 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.

Einsparpotenzial im Bestand

Rechnet man die Energieeinsparerefolge des „Optimus“-Projekts auf den gesamten Wohngebäudebestand hoch, ergibt sich ein Primärenergie-Einsparpotenzial von mindestens 4 bis 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 bis 12 kWh/(m²a). Dies entspricht einem Einsparpotenzial im gesamten Gebäudebestand von mindestens 20000 bis 28000 GWh/a Primärenergie. Das Einsparpotenzial für CO₂-Emissionen – aufgrund der Anlagentechnikoptimierung – liegt in einem wahrscheinlichen Bereich von minimal 0,9 kg/(m²a) bis maximal 2,7 kg/(m²a). Dies entspricht einer Einsparung von 7 bis 10 Millionen Tonnen CO₂ jährlich. Zum Vergleich: in der Bundesrepublik Deutschland liegt die Gesamtemission bei 890 Millionen Tonnen CO₂ jährlich, wobei die Hälfte durch Emissionszertifikate erfasst ist.

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

Auf Basis der erreichbaren Energieeinsparungen und dafür notwendigen Investitionen resultiert daraus eine Wirtschaftlichkeit der Optimierung innerhalb von 8 bis 16 Jahren (alleinige Anlagentechnikoptimierung) bzw. von 6 bis 10 Jahren (kombinierte Bau- und Anlagentechnikoptimierung). Vorausgesetzt ist hierbei eine jährliche Energiepreissteigerung von 6 %/a, welche heute weit übertroffen wird.

Bonus zur Qualitätssicherung

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 (aktuell die Energieeinsparverordnung) honorieren eine durchgeführte Anlagenoptimierung leider nicht. Es wird vorausgesetzt, dass eine „Ausführung nach den Regeln der Technik“ erfolgt.

Im Rahmen der aktuellen Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden im Rahmen der Energieeinsparverordnung 2006 besteht die Chance, die Qualitätssicherung durch Optimierung der Anlagentechnik ähnlich dem Nachweis der Gebäudedichtheit nach einem „Bonusprinzip“ zu honorieren. 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 $\Delta q_h = -0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Damit ist die Qualitätssicherung der Anlagentechnik vergleichbar mit dem Bonus für einen erfolgreich bestandenen Gebäudedichtheitstest. Die Ergebnisse des Projekts

Heizung

Die Nutzer sind nach der Optimierung zufriedener

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. Zwar nehmen bei der Optimierung die Probleme mit zu langen Aufheizzeiten, unterschiedlich warmen Räumen/ Heizkörpern und Luft in der Anlage ab. Dagegen werden Geräusche und eine nicht ausreichende Beheizung häufig als neues Problem gesehen.

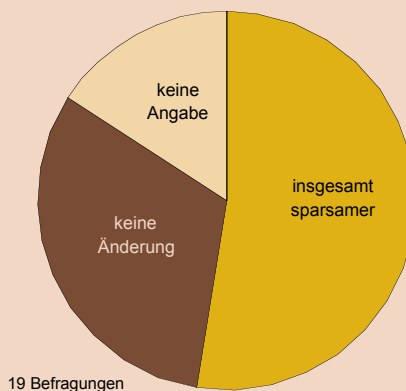
Hauptursache für die Geräusche sind nach Ansicht der Autoren die zu hohen Pumpenförderraten, die auch nach der Optimierung in vielen Anlagen vorlagen. In Gaswandgeräten integrierte Pumpen konnten nicht an die Anlage angepasst werden. So mussten Thermostatventile stark voreingestellt werden, was zu Geräuschproblemen führte. Die Autoren empfehlen, den maximalen Differenzdruck auf 200 mbar zu begrenzen und Thermostatventile auszuwählen, deren Voreinstellungswerte größer als 3 bis 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. Künftig muss das Augenmerk der Kesselhersteller auf Geräte mit guten „primärenergetischen Nutzungsgraden“ gerichtet werden (inkl. Pumpenleistung). Es müssen Wandheizgeräte mit kleinen, einstellbaren Pumpen oder ohne integrierte Pumpe verfügbar sein.

Die vergleichende Befragung von Nutzern optimierter und nicht optimierter Gebäude zeigt weiterhin, dass die Nutzer in optimierten Gebäuden ein insgesamt sparsameres Heizverhalten angeben (Bild 15). Diese Aussage wurde aber fast nur von Personen getätigt, in denen sich die Anlage verbessert oder nicht verändert hat. Personen, deren Zufriedenheit sich verschlechtert hat, haben ihr Verhalten nicht geändert.

Erkenntnis: Die Nutzer müssen unbedingt in den Optimierungsprozess einbezogen werden, um die Auswirkungen der Optimierung zu verstehen. Zudem besteht bei der Optimierung noch Verbesserungsbedarf in der Wahl der Komponenten durch den Handwerker sowie in der sorgfältigen Umsetzung der Optimierung.

Änderung des Nutzerverhaltens im Zuge der Optimierung: optimierte Gebäude



Änderung des Nutzerverhaltens im Zuge der Optimierung: nicht optimierte Gebäude

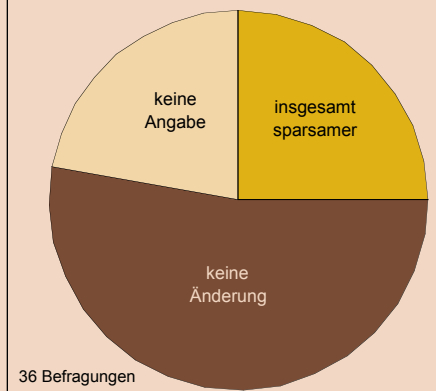


Bild 15 Änderung des Heizverhaltens der Nutzer im zweiten Jahr

wurden bereits bzw. werden zum Projektende in den entsprechenden Kreisen des Ordnungsgebers (Bau-, Wirtschafts- und Umweltministerium) kommuniziert.

Enthält ein theoretisches Energiebilanzverfahren oder eine Verordnung wie die künftige EnEV 2006 einen Qualitätssicherungsbonus für die Umsetzung der Optimierung, ist dies ein wirkungsvoller Anreiz zur Umsetzung. Es

ergeben sich beträchtliche Einsparpotenziale und ein neues Geschäftsfeld für das umsetzende Handwerk bzw. für die Branche der Planer.

Die Verfahren zur technischen Umsetzung der Optimierung für Planung und Ausführung können als verbindliche Regeln der Technik umgesetzt werden. Bislang fehlen verbindliche Handlungsanweisungen. Die im

Projekt erfolgreich getesteten notwendigen Arbeitsschritte einer Heizungsanlagenoptimierung im Bestand (Eingangsdaten, Berechnungsablauf, Umsetzung) in einer technischen Regel festzuschreiben, ist aus Sicht der Verfasser sinnvoll und notwendig, um dem Anwender eine Rechtssicherheit über die Vorgehensweise zu bieten. Im Gegenzug ist dieser aber auch zu verpflichten, die Regel einzuhalten. Kontakte zu entsprechenden Richtlinien- und Normungsgremien sind geknüpft.

Energiekennwerte in der Praxis

Neben dem Nachweis der Energieeinsparung durch eine Heizungsanlagenoptimierung wurden die im Forschungsprojekt untersuchten Gebäude im Rahmen der aktuellen Energiepass-Diskussion zusätzlich ausgewertet, um theoretisch berechnete (EID-Energiepass nach Dena) und gemessene Energiekennwerte zu vergleichen. Untersucht wurden Heizgrenztemperaturen, Auslegungsheizlasten sowie Bedarfs- und Verbrauchswerte von Heiz- und Endenergie. Vorab noch zur Definition der Begriffe: Der Verbrauch basiert auf Messdaten; der Bedarf ist eine berechnete Größe auf Basis von Standardnutzungsdaten.

Die wichtigsten Ergebnisse des „Optimus“-Projekts sind folgende: Bei den älteren Gebäuden liegt der berechnete Energiebedarf um 35 % höher als der gemessene bereinigte Verbrauch. Bei den neuen Gebäuden ergeben sich 10 % geringere berechnete Bedarfswerte als real gemessene Verbrauchswerte. Praktische Konsequenz eines Energiepasses, der auf reinen Bedarfsrechnungen basiert, ist eine viel zu hohe theoretische Einsparprognose. Dies hat drastische Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Einsparmaßnahmen. Es ist zu fordern, dass die theoretischen Berechnungsprogramme bzw. die ihnen zugrundeliegenden Bilanzverfahren entsprechend angepasst werden, damit einem Bauherrn (z. B. bei einer Energieberatung) nicht zu hohe, in der Praxis nicht erzielbare Einsparungen versprochen werden.

Der Endenergieverbrauch für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung konnte für 65 Gebäude ermittelt werden. Aufgrund des besser werdenden Baustandards, liegt zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse etwa der Faktor 1,5 (214 und 140 kWh/m²a). In der Theorieberechnung nach dem EID Dena-Energiepassverfahren liegt eine Staffelung des Endenergiebedarf zwischen 321 und 135 kWh/(m²a) aufgrund des besser werdenden Baustandards vor. Zwischen der ältesten und der neuesten Baualtersklasse liegt hier fast der Faktor 2,4.

Der letzte Arbeitspunkt der „Optimus“-Idee ist die Öffentlichkeitsarbeit. Sie hat das Ziel, die Optimierung von Heizungsanlagen durch Information aller betroffenen 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.

Ein weiteres, sehr wichtiges Ziel: Die Optimierung von Heizungsanlagen muss ein selbstverständliches Element jeder energetischen Sanierung (baulich und anlagentechnisch) werden. Dazu soll z. B. ein entsprechender Hinweis bei der Ausstellung eines Energiepasses unter der Rubrik „Empfehlungen für die Modernisierung“ erscheinen.

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.



Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff ist Professor für Heizungs- und Regelungstechnik im Fachbereich VT an der FH Braunschweig/Wolfenbüttel, Telefax (0 53 31) 9 39 44 02



Dr.-Ing. Kati Jagnow ist selbstständige TGA-Ingenieurin in Wernigerode. Ihre Tätigkeitsschwerpunkte sind Energieanalysen und Energiegutachten; E-Mail: kcj@gmx.net