

# Einsparpotentiale der Wärmeversorgung

## Verbrauchsmesswerte als Basis zur Heizungssteuerung



Im Gegensatz zum Strommarkt, bei dem das größte Problem, die Speicherung des regenerativ erzeugten Stromes, noch nicht zufriedenstellend gelöst ist, sind im Wärmebereich die Lösungen verfügbar und erprobt. Sie reichen von der Dämmung der Gebäudehülle über die Erneuerung der Heizungsanlage bis hin zu geringinvestiven Maßnahmen insbesondere im Bereich der Heizungsanlagentechnik, die mit geringem finanziellen Einsatz beachtliche Einsparpotentiale erschließen.

Dr. Arne Kähler,  
Dr. Jochen Ohl,  
Frank Pawellek,  
Joachim Klein

Techem Energy Services GmbH

Die Energiewende in Deutschland ist beschlossene Sache. Die öffentliche Diskussion zum Thema Energiewende beschränkt sich jedoch häufig auf den Strombereich und die Herausforderungen, die mit einem Umbau der Stromversorgung weg von den konventionellen Energieträgern Kohle, Gas und nuklearen Brennstoffen hin zu regenerativen Energien verbunden sind. Dabei wird offenbar übersehen, dass etwa 35 % der Endenergie in Deutschland für die Wärmeversorgung von Gebäuden aufgewendet wird [1], und hier ein beträchtliches Einsparpotential besteht. Nach den Zielen der Bundesregierung soll im Gebäudebereich bis 2020 eine Reduzierung des Energieverbrauchs um 20 % erfolgen [2]. Dies erfordert jedoch erhebliche Investitionen in den Gebäudebestand, die durch steuerliche Anreize motiviert werden sollten.

Eine aktuelle Auswertung der Verbrauchswerte aus der Heizkostenabrechnung von etwa 300 000 Mehrfamilienhäusern (MFH) des Energiemanagers

Techem zeigt, dass der witterungsbereinigte Verbrauch für die Raumheizung bis 2008 rückläufig war (Bild 1). Energieverbrauchswerte müssen, um über mehrere Jahre und Regionen hinweg vergleichbar zu sein, witterungsbereinigt werden. Hierzu werden die Gradtagszahlen eines Vergleichszeitraums in Relation gesetzt und ein Klimakorrekturenfaktor ermittelt. Dieser klimabereinigte Verbrauch stagniert seit 2008.

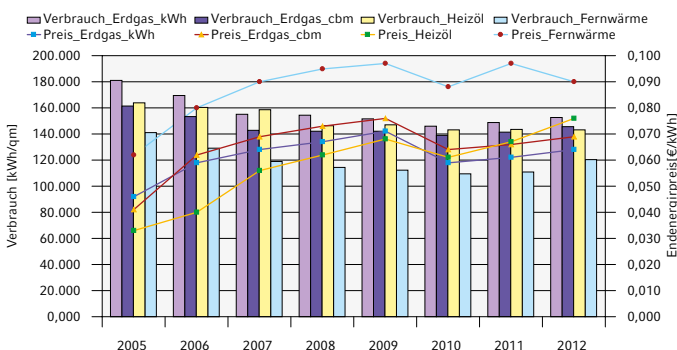
### Verbrauch stagniert, Energiekosten steigen

Diesem Trend stehen lang- und mittelfristig steigende Endenergiepreise (angegeben in [€/kWh]) gegenüber: Seit 2005 ist der Energiepreis für Erdgas um ca. 50 %, für Fernwärme um ca. 60 % und für Heizöl sogar um rund 100 % gestiegen. Diese Preisentwicklung wird durch den realen – also nicht witterungs-bereinigten – Verbrauch nicht kompensiert (Bilder 2 und 3), was in der Folge zu steigenden Verbrauchskosten (angegeben in [€/m<sup>2</sup>]) für Raumheizung und Warmwasser führt. Eine Ausnahme stellt der milde Winter im Jahr 2011 dar: Hier verdeckten die witterungsbedingt geringeren Verbrauchswerte die steigenden Energiepreise (Bild 3). Diese Gegenüberstellung zeigt: Ohne konsequente Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Gebäudequalität müssen sich Verbraucher auf weiter steigende Verbrauchskosten einstellen. Die Grafiken verdeutlichen auch einen weiteren wichtigen Punkt: Die Kosten für Heizöl sind in den vergangenen Jahren deutlich stärker gestiegen als für Erdgas. Hier wird deutlich, dass eine Entkopplung des Erdgaspreises vom Heizöl stattfand.

### Sparsames Verbraucherverhalten stößt an Grenzen

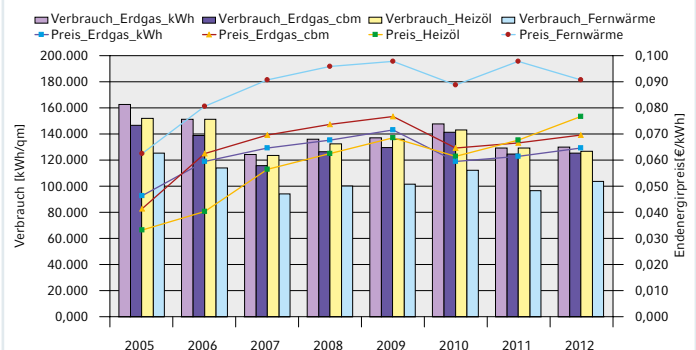
Die Stagnation des witterungsbereinigten Verbrauchs in den letzten Jahren zeigt aber auch, dass die Grenze der möglichen Einsparungen durch energiesparsames Verbraucherverhalten offenbar erreicht wurde und aktuelle Maßnahmen zur energie-

### 1 Verbrauchs- und Energiepreisentwicklung



Verlauf des mittleren jährlichen witterungsbereinigten Verbrauchs für die Raumheizung und Endenergiepreise

### 2 Verbrauchs- und Energiepreisentwicklung



Verlauf des mittleren jährlichen nicht witterungsbereinigten Verbrauchs für die Raumheizung und Endenergiepreise

tischen Gebäudesanierung kaum Effekte zeigen. Die derzeit geringe Sanierungsrate von etwa 1 % reicht nicht aus, um Kosten für Raumheizung über den Gebäudebestand betrachtet weiter zu reduzieren. Die Hauptgründe dafür, dass im Wohnungsmarkt aktuell zurückhaltend saniert wird, sind die hohen Kosten und das Fehlen ausreichender wirtschaftlicher Anreize. Es gibt kaum attraktive Abschreibungsmodelle und in Ballungsgebieten mit hoher Wohnraumnachfrage besteht nur wenig Handlungsdruck. In einigen Fällen stehen einer Sanierung auch Denkmalschutzaufgaben oder schlicht Probleme der technischen Realisierung entgegen. Was allerdings Potential für Verbesserungen der Heizungsanlagentechnik und damit Energieeinsparungen birgt, sind u.a. die Nutzungsgrade der Heizkessel in bestehenden Gebäuden.

### Ermittlung des Kesselnutzungsgrades aus Vergleich ‚Fernwärme – Kessel‘

Der mittlere Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger kann aus dem Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs von Gebäuden mit Heizkesseln mit dem von fernwärmeversorgten Gebäuden ermittelt werden. Dabei sind im spezifischen Energieverbrauch von heizöl- oder erdgasversorgten Gebäuden die Verluste des gebäudeeigenen Wärmeerzeugers enthalten. Demgegenüber bezieht sich der Kennwert bei Fernwärmeversorgung auf die verbrauchte Wärme der Immobilie ohne Berücksichtigung der Verluste für Wärmeerzeugung und Verteilung bis zum Gebäude.

Unter der Annahme einer im Mittel vergleichbaren energetischen Qualität der Gebäudedämmung und der Anlagentechnik für Verteilung und Übergabe innerhalb des Gebäudes sowie eines vergleichbaren Nutzerverhaltens kann der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad der hauseigenen Wärmeerzeuger aus dem mittleren Verbrauchswerten der Jahre 2010 bis 2012 berechnet werden (Tabelle 1).

Da die Endenergie bei Erdgas mit dem Brennwert  $H_s$  ermittelt wird, ergibt sich aus den obigen Werten der brennwertbezogene Jahresnutzungsgrad von Erdgaskesseln zu:

$$\eta_{\text{Erdgas,HS}} = \frac{113,5}{149,1} = 76,1 \%$$

Bei Heizöl wird die Endenergie dagegen mit dem Heizwert  $H_i$  ermittelt. Folglich ergibt sich der heizwertbezogene Jahresnutzungsgrad von Heizölkesseln zu:

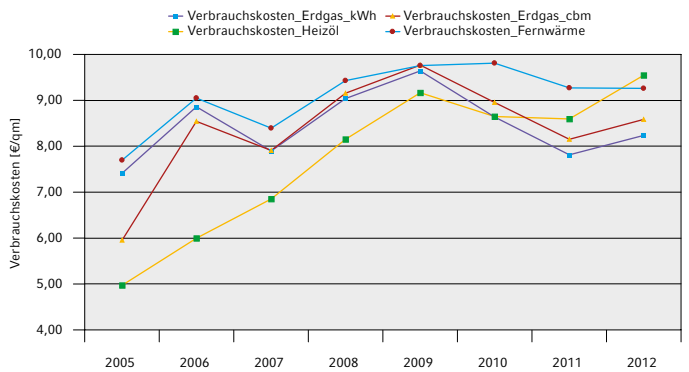
$$\eta_{\text{Heizöl,Hi}} = \frac{113,5}{143,3} = 79,2 \%$$

Bezieht man den Jahresnutzungsgrad von Erdgaskesseln ebenfalls auf den Heizwert, so beträgt dieser:

$$\eta_{\text{Erdgas,HS}} = 84,5 \%$$

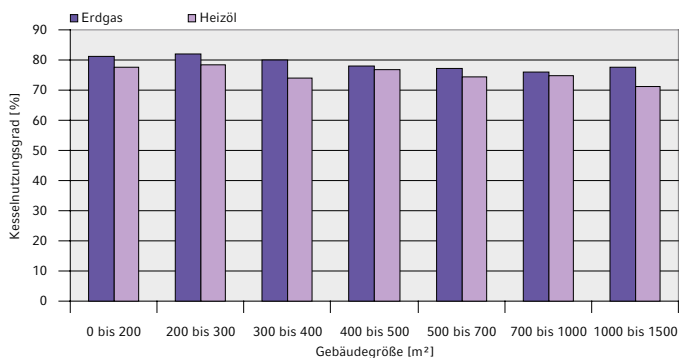
Nach dieser Ermittlungsmethode liegt der mittlere, auf den Heizwert bezogene Jahresnutzungsgrad bei Erdgas etwa fünf Prozentpunkte höher als bei Heizöl. Mögliche Ursachen für den besseren Wert bei Gaskesseln sind neben der Nutzung des Brenn-

### 3 Verbrauchskostenentwicklung



Verlauf der Verbrauchskosten für die Raumheizung

### 4 Anlagen ohne Warmwasserbereitung



Relative Verteilung der Kesselnutzungsgrade über verschiedene Gebäudegrößen in Anlagen ohne Warmwasserbereitung

werteffektes ein generell besserer und stabilerer Wirkungsgrad aufgrund der saubereren Verbrennung, die den Brennraum weniger verschmutzt. Darüber hinaus ist sicher auch der höhere Anteil neuerer Erdgasanlagen für den höheren Jahresnutzungsgrad gegenüber Heizöl verantwortlich.

### Ermittlung des Kesselnutzungsgrades

Der individuelle Jahresnutzungsgrad von Kesselanlagen lässt sich auch aus dem Verhältnis der mittels zentraler Wärmezähler erfassten Wärme, die nach dem Kessel an das Gebäude abgegeben wurde, zur Wärmemenge der dafür eingesetzten Endenergie (in Form von Gas oder Öl) ermitteln. Dabei wird die Wärme der Endenergie mittels

$H_i$  (Heizwert) bewertet. Der in öl- oder erdgasversorgten Gebäuden aus Verbrauchsmessungen ermittelte, heizwertbezogene Jahresnutzungsgrad für die Erzeugung von Raumheizwärme liegt durchschnittlich bei:

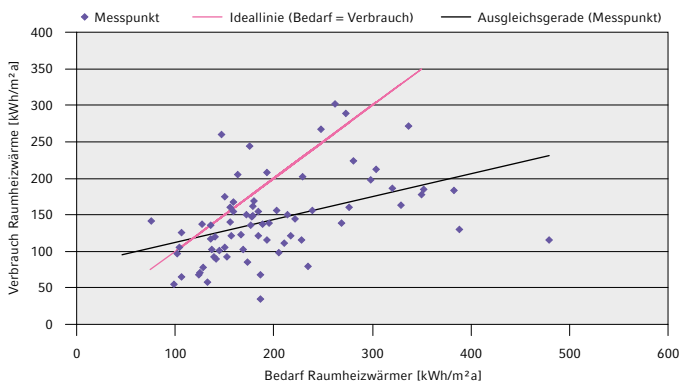
- 76,4 % (Heizölkessel)
- 79,5 % (Erdgaskessel)

Nach dieser Ermittlungsmethode liegt der mittlere Jahresnutzungsgrad von Erdgaskesseln, bezogen auf den Heizwert, etwa drei Prozentpunkte höher als der von Heizölkesseln. Bild 4 zeigt die Kesselnutzungsgrade einer Auswahl von Anlagen, bei denen der Nutzungsgrad anhand von Messungen in den Gebäuden bestimmt wurde. Die Grafik zeigt, dass der Jahresnutzungsgrad weitgehend unabhängig von der Gebäudegröße ist.

Tabelle 1:

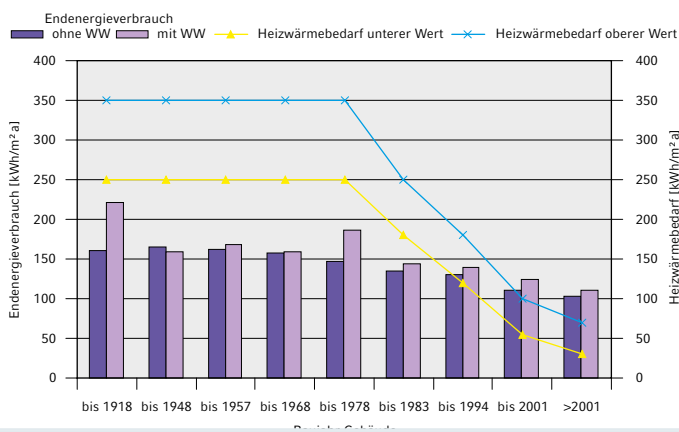
	Fernwärme	Erdgas	Heizöl
Verbrauch für Raumheizwärme	113,5 kWh/m²	149,1 kWh/m²	143,3 kWh/m²

## 5 Ideallinie und Ausgleichsgerade



Wärmebedarf und -verbrauch für die Raumheizung

## 6 Heizwärmebedarf und Endenergieverbrauch



Jährlicher Energieverbrauch in MFH in Abhängigkeit von Baujahr und Bedarfswerten gemäß Wärmeschutzverordnung bzw. EnEV

### Ergebnis des Vergleichs

Sowohl die Ermittlung des Kessel-Jahresnutzungsgrades aus dem Vergleich der Verbrauchswerte von fernwärmeverorgten mit erdgas- beziehungsweise heizölversorgten Mehrfamilienhäusern, als auch die Ermittlung aus direkten Wärmezählermessungen zeigen, dass Gaskessel im Gebäudebestand energieeffizienter arbeiten als Heizkessel. Die heizwertbezogenen Jahresnutzungsgrade liegen dabei durchschnittlich knapp unter 80 %, wobei die Gaskessel einen um drei bis fünf Prozentpunkte höheren Jahresnutzungsgrad aufweisen. Die Ergebnisse des Vergleichs zeigen auch, dass weiteres Verbesserungspotential brachliegt: Das Potential, das sich auf eine Größenordnung von 5 bis 10 % beziffern lässt, könnte beispielsweise durch eine optimierte Betriebsführung ausgeschöpft werden.

### Auswirkung auf energetische Gebäudesanierung

Ein Vergleich des errechneten Wärmebedarfs für die Raumheizung aus den bedarfsorientierten Energieausweisen mit dem gemessenen Wärmeverbrauch offenbart, dass der Verbrauch in Mehrfamilienhäusern mit hohem Wärmebedarf deutlich unter dem Bedarf liegt (Bild 5). Die mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelte Ausgleichsgerade zeigt für einen hohen Wärmebedarf Verbrauchswerte deutlich unterhalb des Bedarfs. Unterhalb eines Wärmebedarfs von etwa

100 kWh/m<sup>2</sup> scheint sich das Verhältnis jedoch umzukehren. Aufgrund der wenigen Messpunkte lässt sich in diesem Bereich aber keine statistisch abgesicherte Aussage treffen.

Stellt man die Angaben aus den Energieverbrauchsausweisen nach Gebäudebaujahr und Energieverbrauch den nach entsprechender Wärmeschutzverordnung beziehungsweise Energieeinsparverordnung (EnEV) errechneten Bedarfswerten gegenüber, bestätigt sich diese Hypothese: Bild 6 zeigt deutlich, dass in Mehrfamilienhäusern mit niedrigem Bedarf der Verbrauch nennenswert über dem Bedarf liegt.

Diese Auswertung belegt, dass der Verbrauch in älteren Gebäuden deutlich unter dem Bedarf liegt. Bei neueren Gebäuden mit niedrigem Bedarfswert übersteigt der Verbrauch jedoch den Bedarf.

Diese Auswertungen lassen folgende Rückschlüsse zu:

- Die mit einer Sanierung oder einem Neubau rechnerisch zu erwartenden Wärmebedarfswerte werden häufig nicht erreicht.
- Im Gegenteil: Der tatsächliche Verbrauch übersteigt nach der Sanierung den Bedarf im Durchschnitt um den Faktor 2.
- Mögliche Ursachen könnten im Nutzerverhalten begründet liegen, das in der Bedarfsberechnung nur unzureichend berücksichtigt wurde.
- Da die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen häufig aus Bedarfswerten abgeleitet wird, ergeben sich oft zu optimistische Amortisations Szenarien. Die Auswertungen zeigen, dass der Verbrauch infolge von Sanierungsmaßnahmen um etwa 30 % reduziert werden kann.

### Geringinvestive Maßnahmen

Als Alternative oder Ergänzung zu einer teuren Vollsanierung oder für Fälle, in denen das Aufbringen einer Dämmung nicht möglich ist, bieten sich geringinvestive Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik, wie beispielsweise eine Reduzierung der Vorlauftemperatur des Heizsystems in Abhängigkeit der aktuellen Heizlast im Gebäude. Ein System, das diese Maßnahme umsetzt und sich seit einigen Jahren erfolgreich im praktischen Einsatz bewährt, ist „adapterm“ von Techem [3], [4], schematisch dargestellt in Bild 7. „adapterm“ unterstützt eine Vielzahl von Reglerschnittstellen und wurde bisher in rund 4000 Liegenschaften mit rund 130 000 Wohnungen installiert.

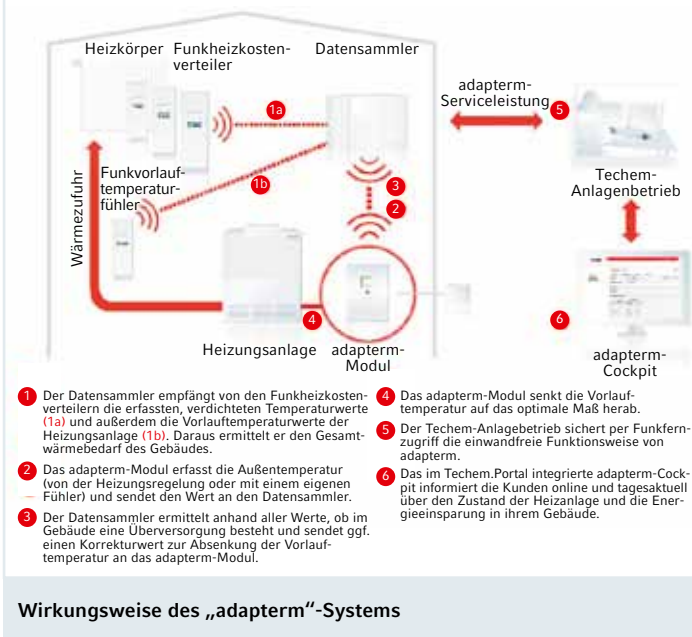
Die dadurch erzielten Einsparungen wurden in mehreren wissenschaftlich begleiteten Untersuchungen anhand von Messungen in Anlagen nachgewiesen [5, 6, 7]. Eine Auswertung auf Basis der im Rahmen der Heizkostenabrechnung erhobenen Verbrauchsdaten belegt die mit „adapterm“ erzielbare Einsparung (Bild 8).

Bild 8 vergleicht den klimabereinigten Verbrauch vor und nach Einbau von „adapterm“ über den Zeitraum eines Jahres. Hierbei ist eine deutliche Verschiebung der Verbrauchsverteilung zu niedrigeren Werten zu erkennen. Der mittlere Verbrauch für

Tabelle 2:

Energieträger	Verbrauch Raumheizung mit angepasster Vorlauftemperatur mittels adapterm [kWh/m <sup>2</sup> ]	Verbrauch Raumheizung ohne angepasste Vorlauftemperatur [kWh/m <sup>2</sup> ]	Anz. Anlagen
Fernwärme	93,4	98,8	172
Erdgas kWh	131,8	142,6	235
Heizöl	135,9	146,8	48

## 7 Aufbau und Funktion



## Die neue „Power“ für Ihren Blitzschutz

### HVI®power Hochspannungsfeste Ableitung



- Erweiterung der bewährten HVI®-Produktfamilie
- Zur Einhaltung eines äquivalenten Trennungsabstandes von 90 cm in Luft
- Komplettsystem geprüft mit 200 kA Blitzstoßstrom (10/350µs), damit für alle Blitzschutzklassen geeignet
- Ideale Lösung für einen noch leistungsfähigeren Blitzschutz

Für mehr Informationen: [www.dehn.de/anz/2257](http://www.dehn.de/anz/2257)

DEHN schützt.  
Überspannungsschutz, Blitzschutz / Erdung, Arbeitsschutz

DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.  
Postfach 1640, 92306 Neumarkt, Germany  
Tel. +49 9181 906-1123, [info@dehn.de](mailto:info@dehn.de)

die Raumheizung lag vor dem Einsatz der Maßnahmen bei 130,1 kWh/m<sup>2</sup>, anschließend lag er bei 121,5 kWh/m<sup>2</sup>. Dies entspricht einer absoluten Verbrauchsreduzierung von 8,6 kWh/m<sup>2</sup> beziehungsweise einer relativen von 6,6 %. Für diese Darstellung wurden 526 Liegenschaften ausgewertet, womit die Ergebnisse als statistisch abgesichert gelten können.

Darüber hinaus zeigen auch analytische Untersuchungen das Einsparpotential einer dem Bedarf angepassten Vorlauf-Temperatur. Seifert u.a. [5] haben folgende Einsparpotentiale ermittelt: im Raum bis zu 9,6 %, in der Verteilung bis zu 11,2 % und im Kessel bei Vorliegen der entsprechenden Voraussetzungen bis zu 1,9 %.

### Angepasste Vorlauf-Temperatur für reduzierten Rohrwärmeeintrag

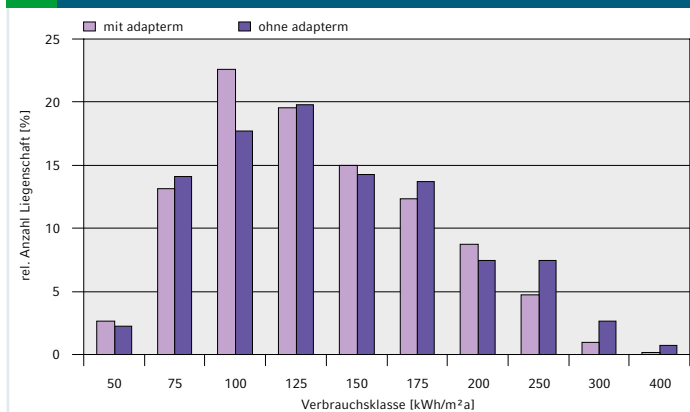
Die Absenkung der Vorlauf-Temperatur in der Verteilung hat in der Praxis einen reduzierten Rohrwärmeeintrag in die Räume zur Folge. Dies bedeutet auch, dass der über den Heizkörper abgegebene regelbare Wärmeanteil ansteigen muss. Folglich muss sich dieser Effekt in einer Veränderung des so genannten Verbrauchswärmeanteils nach VDI2077 widerspiegeln. Der Verbrauchswärmeanteil gemäß VDI 2077, Beiblatt Rohrwärme [8], ist definiert als Anteil an der in das Gebäude insgesamt für Raumheizung eingebrachten Wärmemenge, der tatsächlich über die Heizflächen in die Nutzeinheiten abgegeben wird. Bei Werten unter 0,34 wird von der VDI 2077 eine rechnerische Korrektur der Verbrauchsabrechnung empfohlen [8].

Eine Auswertung des Verbrauchswärmeanteils in 526 Liegenschaften vor und nach der Anpassung der Vorlauf-Temperatur bestätigt den erwarteten Effekt: der mittlere Verbrauchswärmeanteil steigt von 0,58 auf 0,71 (Bild 9). Infolge des zunehmenden Anteils der erfassten Heizwärme (Einheiten der Heizkostenverteiler) bei tendenziell insgesamt geringerem Verbrauch wird die Heizkostenzuordnung präziser und folglich verursachergerechter.

### Angepasste Vorlauf-Temperatur zur Verbesserung von Kesselnutzungsgraden

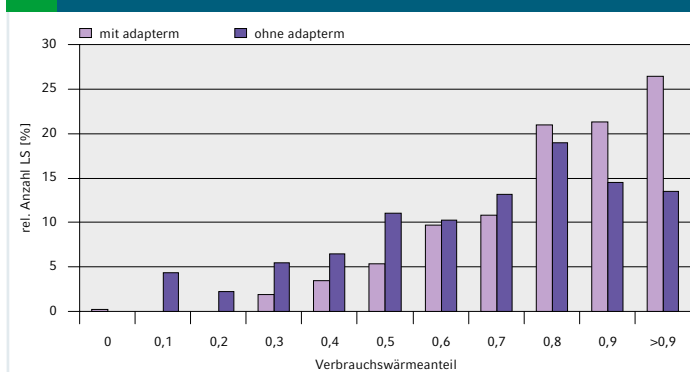
Durch die Reduzierung der Vorlauf-Temperatur können Kesselwirkungsgrade beziehungsweise Kesselnutzungsgrade wirksam gesteigert werden. Die Ermittlung des Kesselnutzungsgrads erfolgt, wie zuvor bereits beschrieben, aus dem Vergleich ‚Fernwärme – Kessel‘.

## 8 Energieverbrauch für die Raumheizung



Vergleichsdarstellung mit und ohne reduzierte Vorlauftemperatur

## 9 Verbrauchswärmeanteil



Vergleichsdarstellung mit und ohne reduzierte Vorlauftemperatur

Für die untersuchten Liegen-schaften, die das „adapterm“-System zur Reduzierung der Vorlauftemperatur einsetzen, ergeben sich die Verbrauchs-werte gemäß Tabelle 2.

Aus diesen Daten ermittelt sich der Jahresnutzungsgrad des Gaskessels vor dem Einbau von „adapterm“ zu

$$\eta_{\text{Erdgas,vor}} = \frac{98,8}{142,6} = 0,693$$

und der Jahresnutzungsgrad von Heizölkesseln zu

$$\eta_{\text{Heizöl,vor}} = \frac{98,8}{146,8} = 0,673$$

Die Jahresnutzungsgrade nach dem Einbau ergeben sich für Erdgaskessel zu:

$$\eta_{\text{Erdgas,nach}} = \frac{93,4}{131,8} = 0,709$$

und für Heizölkessel zu:

$$\eta_{\text{Heizöl,nach}} = \frac{93,4}{135,9} = 0,687$$

Dies entspricht bei Erdgas-kesseln einer Verbesserung des Jahresnutzungsgrades um 2,3 % und bei Heizölkesseln um 2,0 %. Die aufgrund der analytischen Untersuchungen erwartete Verbesserung des Jahresnutzungsgrades des Wärmeerzeugers infolge des Einsatzes des „adapterm“-Systems [5], das die Vorlauftemperatur an die reale Heizlast anpasst, lässt sich somit auch anhand von Messdaten belegen.

Da die Endenergie bei Heizöl mit dem Heizwert und bei Erdgas mit dem Brennwert berechnet wurde, handelt es sich bei dem ermittelten Wert für Heizölkessel um einen heizwertbezogenen, bei Erdgasversorgung um einen brennwertbezogenen Jahresnutzungsgrad.

### Fazit

Die Stagnation des witterungsbe-reinigten Heizenergieverbrauchs

im Wohnungsbestand in den letzten Jahren zeigt, dass offenbar die Grenze der möglichen Einsparungen durch energiespar-sames Verbraucherverhalten erreicht wurde und die aktuellen Maßnahmen zur energetischen Gebäudesanierung kaum Effekte zeigen. Die Verbrauchsstagnation deutet auch darauf hin, dass das große vorhandene Potential in der Anlagentechnik nicht genutzt wird. Ein Vergleich von Kesselnutzungsgraden zeigt allein ein Einsparpotential bei Öl- und Gasöfen von etwa 5 bis 10 % durch eine optimierte Betriebsführung. Ein wesentliches Problem der Entscheidungsträger im Wohnungsmarkt sind bei Sanierungsentscheidungen die hohen Kosten, die beispielsweise durch die Errichtung einer neuen Heizungsanlage entstehen, sowie nicht ausreichende wirtschaftliche Anreize wie etwa attraktive Abschreibungsmodelle.

Bei neueren Gebäuden zeigt sich ein weiterer wesentlicher Aspekt: Die Verbrauchswerte von neueren Wohnimmobilien liegen durchschnittlich deutlich über den Bedarfswerten. Bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung von Sanierungsmaßnahmen gilt es daher, reale Verbrauchswerte und nicht theoretische Bedarfswerte als Berechnungsgrundlage zu verwenden oder einen Sicherheits-aufschlag auf den Bedarfswert in der Berechnung zu integrieren.

Ein erster Schritt in Richtung Energieeinsparung bieten so genannte geringinvestive Maßnahmen. Mit „adapterm“ bietet Techem beispielsweise ein System an, mit dem die energetische Effizienz der Gebäudeheizungsanlage durch eine angepasste Vorlauftemperatur der Heizanlagen erhöht und die Kesselwirkungsgrade beziehungsweise Kesselnutzungsgrade gesteigert werden können – bei relativ geringem finanziellem Einsatz und schneller Amortisation. So lösen Investitionen von 2 bis 5 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche im Mittel Energieeinsparungen von etwa 7 % aus.

Ein positiver Nebeneffekt von „adapterm“ sieht wie folgt aus: Das System trägt infolge des zunehmenden Anteils der durch Funktechnologie erfassten Heizwärme zudem zu einer präziseren und folglich verursachergerechteren Heizkostenabrechnung bei. Denn nach einer „adapterm“-Installation steigt der über den Heizkörper abgegebene regelbare Wärmeanteil. Der Rohrwärme-eintrag in die Räume, der sich in der Verbrauchsabrechnung für einzelne Parteien negativ auswirken kann, wird reduziert.

### Literatur

- [1] BMWi-Energiedaten, Stand 02.11.2012, [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)
- [2] Energiekonzept der Bundesregierung: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/>
- [3] Kähler, A.: Automatische Adaption von Heizkurven mit Funkheizkostenverteilern. Euro Heat and Power, Band 36 (2007), Nr.1, S. 58-64
- [4] Kähler, A.; Ohl, J.: Heizenergieeinsparung mit Vorlauftemperaturadaption. Teil 1 in HLH, Band 59 (2008), Nr. 7, S. 27-31; Teil 2 in HLH, Band 59 (2008), Nr. 8, S. 26-30
- [5] Seifert, J., et al.: Absenkung der Vorlauftemperatur – Zum Einfluss von Vorlauftemperaturregelungen auf die energetischen Einsparpotentiale entlang der Bedarfskette. HLH, Band 59 (2008), Nr. 5, S. 23-28
- [6] ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Wissenschaftliche Begutachtung der CO<sub>2</sub>-Einsparung in Gebäuden der Wankendorfer in den Jahren 2008 und 2009
- [7] Prof. Dr.-Ing. Markus Tritschler: Bericht Nr. 11004BE02 über die Überprüfung der energetischen Auswertung von ecotech / adapterm Anlagen in der Heizperiode 07/08
- [8] VDI 2077 – Verbrauchskostenabrechnung für die Technische Gebäude-ausrüstung. Verfahren zur Berücksichtigung der Rohrwärmeabgabe