

co2online

SEnerCon

Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



Fraunhofer
ISE

GEFÖRDERT DURCH:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

WIRKSAM SANIEREN: CHANCEN FÜR DEN KLIMASCHUTZ

Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden



Impressum

Herausgeber

co2online gemeinnützige GmbH
Hochkirchstraße 9
10829 Berlin
info@co2online.de
www.co2online.de
www.co2online.de/facebook
www.co2online.de/twitter

Der Bericht wurde für die Projektgruppe erstellt von

Katy Jahnke, Tanja Loitz, Marco Schnorbus – co2online gemeinnützige GmbH
Peter Hennig, Andreas Grondey, Christian Reher – SEnerCon GmbH
Marek Miara, Danny Günther – Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)

Redaktion

Jens Hakenes

Gestaltung und Satz

Mia Sedding, Individual Berlin

Bildnachweis

Titelseite: www.co2online.de
S. 10: www.co2online.de/Raum11/Zappner, S. 18: www.co2online.de/Alois Müller,
S. 20: www.co2online.de, S. 24: www.co2online.de/Alois Müller,
S. 28, 29, 31: www.co2online.de, S. 32: Fotolia © Kara,
S. 38, 39, 44, 45, 51, 56: www.co2online.de, S. 60: EOS Ostfalia,
S. 62: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.,
S. 66, 67, 68, 69, 71: Fraunhofer ISE, S. 74: www.co2online.de/Alois Müller

Stand

August 2015

Auflage

500 Exemplare

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.

Die CO₂-Emissionen des Drucks hat co2online kompensiert.

Hinweis

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine geschlechterspezifische Differenzierung, wie zum Beispiel TeilnehmerInnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Danksagung

Wir danken allen Feldtest-Teilnehmern, die uns ihre Türen geöffnet haben. Sie haben uns mit viel Engagement und Ausdauer bei der Untersuchung unterstützt. Ebenso gilt unser Dank dem wissenschaftlichen Beirat, der uns mit Rat und Tat zur Seite stand bei der Konzeption, Realisierung und Auswertung unseres Feldtests:

Holger Harting (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Referat KI I 5)

Dr. Oliver Bätz (Bundesverband der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands e.V.)

Andreas Hermelink (Ecofys)

Gunnar Eikenloff (EOS – Institut für energieoptimierte Systeme)

Sebastian Herkel (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)

Markus Duscha (ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg)

Patrick Hoffmann (IZES – Institut für ZukunftsEnergieSysteme)

Tobias Loga (IWU – Institut Wohnen und Umwelt)

Tanja Kenkmann (Öko-Institut)

Anke Unverzagt (proKlima – Der enercity-Fonds)

Peter Kafke (vzbv – Verbraucherzentrale Bundesverband)

Stefan Materne (vzbv – Verbraucherzentrale Bundesverband)

Schorsch M. Tschürtz (vzbv – Verbraucherzentrale Bundesverband)

Dr. Reinhard Loch (Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen)

Jens Schuberth (Umweltbundesamt, Fachgebiet I 2.4)

Inhalt

Danksagung	3
Vorwort	6
Einleitung	7
Zusammenfassung	8
1 Studien und andere Vorarbeiten	10
co2online-Auswertung der Datenbanken	11
Ostfalia-Studien zur Optimierung von Heizungssystemen	13
Fraunhofer-ISE-Feldtests zu Wärmepumpen	15
2 Sanierungstest: Haushalte und Maßnahmen	18
Akquise und Auswahl der Testhaushalte	19
Begehungen der Testhaushalte	19
Erfassung der Energieverbräuche und Messphase	20
Feldtestsampl	20
Untersuchte Sanierungsmaßnahmen	22
Installierte Heiztechnik	22
Maßnahmen an der Gebäudehülle	23
Maßnahmenkombinationen	23
3 Qualitative Bewertung	24
Einhaltung der EnEV-Vorgaben	25
Anforderungen laut EnEV	25
EnEV-Einhaltung im Feldtest	27
Dämmängel und -restriktionen	28
Austauschpflicht für Heizkessel	30
Falsche Dimensionierung von Heizkesseln	30
Nachträgliche Dämmung von Verteilleitungen und Armaturen	31
Energieberatung und geförderte Sanierungsmaßnahmen	31

4	Quantitative Bewertung	32
	Einfache Wirkungsanalyse	33
	Energieanalyse aus dem Verbrauch	34
	Ergebnisse im Detail	36
	Heiztechnik mit/ohne Solar	36
	Gebäudehülle und Fenster	42
	Kombination Heiztechnik und Dämmung	50
	Exkurs: Verbrauch-Bedarfs-Vergleich	54
	Vergleich auf Basis der Bauteilflächen	54
	Vergleich auf Basis des Zustands nach der Sanierung	55
5	Exkurs: Messung der Sanierungs- und Kesseffizienz mit Wärmemengenzählern	56
	Relevanz von Wärmemengenzählern bei der Verbrauchserfassung am Beispiel Kesseltausch	57
	Ergebnisse der untersuchten Ostfalia-Feldobjekte	59
	Beispielobjekte	59
6	Exkurs: Qualitätssicherung beim Einsatz von Wärmepumpen	62
	Grundlagen zur Effizienz und Fehlererkennung	63
	Effizienz und Betriebsbedingungen	63
	Einflüsse auf Energiebedarf und Arbeitszahl	63
	Fehlererkennung in der Betriebsphase	64
	Ergebnisse der untersuchten Fraunhofer-ISE-Feldobjekte	65
	Best Practice für Wärmepumpen im Sanierungsfall	69
	Fazit und Empfehlungen für einfache Monitoring-Konzepte	73
7	Empfehlungen und Ausblick	74

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

wenn es darum geht, Klimaschutz im Gebäudebestand voranzutreiben, beherrscht nicht selten die Diskussion über die Steigerung der Sanierungsquote die öffentliche Debatte. Dicht gefolgt von ihrer Schwester, der Sanierungstiefe. Die Sanierungswirkung fristet dabei ein eher stiefmütterliches Dasein. Zu Unrecht!

co2online wertet seit vielen Jahren Gebäudedaten von erfolgten Sanierungen aus und immer wieder stoßen wir dabei auf erhebliche Unterschiede bei der Wirkung von vergleichbaren Sanierungsmaßnahmen an vergleichbaren Gebäuden. Dabei ist es nicht das technische Potenzial von neuen Heizkesseln, Dämmstoffen oder Solarthermieanlagen, das uns stützen lässt, sondern die Sorge, dass diese Potenziale in der Praxis nicht oder nur teilweise ausgeschöpft werden. Erstmals konnten wir in einem bundesweiten Feldtest mit rund 180 Gebäuden speziell das Thema Sanierungswirkung untersuchen. Die vorliegende Studie, die vom Bundesumweltministerium gefördert wurde, ist das Ergebnis dieser Untersuchung.

Mit jedem Tag, den wir warten, gehen uns wertvolle Kilowattstunden verloren, die wir im Kampf gegen den Klimawandel „leicht“ einsparen könnten. Sei es, dass nachträglich „verbessert“ wird oder von vornherein jetzt anstehende Sanierungsmaßnahmen mit Blick auf eine möglichst hohe Minderung des Heizenergieverbrauchs geplant, umgesetzt und gemonitort werden. Die Mittel dafür sind alle heute verfügbar – sie müssen nur in unser System ausfordern, fördern und informieren integriert werden. Hört sich leicht an? Es ist eine Herausforderung, auf die wir uns gemeinsam mit Ihnen freuen.

Der Aspekt Sanierungswirkung spielt noch in einem weiteren Zusammenhang eine Rolle. Das öffentliche Image von Sanierungsmaßnahmen ist angekratzt. Leider bekommen von jeher negative Botschaften mehr Aufmerksamkeit als Erfolgsmeldungen. Die Lösung: Transparenz, Ehrlichkeit und Aufklärung. Es gibt sehr erfolgreiche Sanierungsbeispiele. Aber Pauschalaussagen, wie viel etwas einspart mit der Annahme, alle Sanierungen erfolgen unter Idealbedingungen, sind kontraproduktiv und kommen wie ein Bumerang auf ihre Urheber zurück. Jedes Gebäude ist anders, das Nutzerverhalten und die Entscheidungskriterien der Bewohner sind es auch. Sanierungsempfehlungen müssen zur Gebäude- und Lebenssituation passen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und hoffe, dass wir Sie gemeinsam mit unseren wissenschaftlichen Partnern EOS Ostfalia und Fraunhofer ISE für das Thema Sanierungswirkung begeistern können.

Ihre Tanja Loitz

Geschäftsführerin co2online

Einleitung

Auswertungen der Gebäudedatenbank von co2online sowie zurückliegende Felduntersuchungen von EOS Ostfalia und Fraunhofer ISE zeigen, dass es eine nennenswerte Diskrepanz zwischen dem technischen Potenzial von Modernisierungsmaßnahmen und den erzielten Energieeinsparungen in der Praxis gibt. Möchte Deutschland seine Klimaschutzziele erreichen, gilt es, dieses Potenzial für CO₂-Minderungen im Gebäudebestand zu quantifizieren und Ansätze aufzuzeigen, wie dieses gehoben werden kann. Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des BMUB heißt es, dass weitere Maßnahmen erforderlich sind, um das 40-Prozent-Ziel zu erreichen. Hochrechnungen gehen davon aus, dass Deutschland mit den aktuellen Anstrengungen lediglich 33 Prozent erreicht.

Geht es um die Benennung von nicht ausgeschöpften Potenzialen, steht in der öffentlichen Debatte weiterhin die Diskussion um die Steigerung der Sanierungsquote (häufig auch als Sanierungsrate bezeichnet) im Vordergrund und damit einhergehend die Forderung nach der Verstetigung und Aufstockung von Fördermitteln. Die Projektpartner sehen neben der Sanierungsquote und Sanierungstiefe, also der Kombination verschiedener Maßnahmen, einen wichtigen Hebel in der Steigerung der Sanierungswirkung, damit Deutschland seine Klimaschutzziele erreicht. In der öffentlichen Wahrnehmung führt die Sanierungswirkung jedoch noch ein Schattendasein.

Eine weitere Problematik ergibt sich aus der Differenz zwischen dem rechnerisch ermittelten Bedarf und dem gemessenen Verbrauch für Endenergie. Diese wird zum einen verursacht durch das Nutzerverhalten, zum anderen durch zahlreiche Berechnungsannahmen der Bedarfswertermittlung. Das typische Wohngebäude im Bestand weist laut Auswertungen und Berechnungen von EOS Ostfalia heute einen Endenergiekennwert von rund 170 kWh/m²a bezogen auf den Brennwert und die Wohnfläche auf. Bedarfsrechnungen in Energieausweisen ergeben demgegenüber typische Werte von rund 250 kWh/m²a.

Die Zusammensetzung des Verbrauchskennwertes von 170 kWh/m²a aus Nutzen Raumwärme, Nutzen Trinkwarmwasser (inkl. Speicherung und Verteilung) und anlagentechnischen Verlusten variiert nach Auswertung zahlreicher durch EOS Ostfalia untersuchter Gebäude:

- 30–120 kWh/m²a Raumwärme
- 8–60 kWh/m²a Trinkwarmwasser
- 3–60 kWh/m²a für die anlagentechnischen Verluste, primär des Wärmeerzeugers

Um ein Minus von 80 Prozent beim Primärenergiebedarf zu erreichen und damit den Anforderungen der Energiewende Rechnung zu tragen, müssten die Gebäude bis 2050 im Durchschnitt einem heutigen Effizienzhaus 55 mit einem Jahresprimärenergiebedarf von etwa 40 kWh/m²a entsprechen. Fraglich ist dabei, inwieweit die heute bereits modernisierten Gebäude im Laufe der kommenden 35 Jahre realistisch betrachtet über das aktuelle Maß hinaus nochmals modernisiert werden müssten.

Eine erste grobe Abschätzung der Wirkung von Sanierungsmaßnahmen lässt sich auf Basis von Jahresabrechnungen der eingesetzten Endenergie durchführen. Eine unterjährige, also beispielsweise monatliche oder wöchentliche Erfassung der Endenergien gestattet darüber hinaus durch Aufteilung der Verbrauchswerte im Sommer und in der Heizperiode eine Trennung zwischen Nutzen und anlagentechnischen Verlusten für Trinkwarmwasser im Sommer und Nutzen und anlagentechnischen Verlusten für Heizung und Trinkwarmwasser in der Heizperiode. Dadurch wird eine differenzierte Bewertung der Sanierungswirkung auf die Verbrauchsanteile möglich.

Im Idealfall sind Wärmemengenzähler installiert, die eine Berechnung des tatsächlichen Kesselwirkungsgrades und der Kesselverluste zulassen. Wärmemengenzähler sind derzeit jedoch nur in etwa einem Prozent der Gebäude vorhanden.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Klimaschutzkampagne, die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gefördert wird, hat die gemeinnützige co2online GmbH mit den wissenschaftlichen Partnern Fraunhofer ISE und EOS Ostfalia einen Feldtest zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden – kurz: Sanierungstest – durchgeführt. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie groß die **Diskrepanz zwischen dem technischen Potenzial von Sanierungsmaßnahmen und den Erfolgen in der Praxis** ist und mit welchen Hebeln die Wirksamkeit von Sanierungen gesteigert werden könnte. Hierzu wurden knapp 180 Objekte (Einfamilienhaus/Zweifamilienhaus/Mehrfamilienhaus) untersucht, bei denen nach dem Jahr 2006 der Heizkessel erneuert und/oder die Wärmedämmung verbessert wurde. Erkenntnisse aus vorangegangenen Studien wurden ebenso herangezogen wie die Auswertung weiterer Gebäudedaten aus dem Energiesparkonto von co2online.

Die Feldtest-Auswertung basiert auf einer einfachen Wirkungsanalyse (Vorher-nachher-Vergleich der klimaschwankungsbereinigten Energiekennwerte) und bei ausreichender Datenlage auf der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV), die eine genauere Bereinigung des Heizenergieverbrauchs durch eine Trennung der Aufwände von Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung ermöglicht. Wo zusätzlich der mittels Wärmemengenzählern gemessene Nutzenergieverbrauch vorlag, wurde neben der Sanierungswirkung auch die Qualität des Gebäudes und des Wärmeerzeugers ermittelt. Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen wurden sowohl qualitativ als auch quantitativ bewertet.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es **große Schwankungen zwischen den erzielten Sanierungserfolgen bei vergleichbaren Objekten und Maßnahmen** gibt. In Fällen, bei denen nur die Heizung erneuert wurde, lag beispielsweise die Einsparung zwischen 8 und 50 Prozent; für Heizung und Solar zwischen 16 und 65 Prozent. Bei der Maßnahmenkombination Dach-Außenwand-Fenster konnten Einsparungen zwischen 21 und 48 Prozent nachgewiesen werden. Zu den untersuchten Maßnahmen zählten nicht nur Dämmkombinationen, sondern auch umfassende Maßnahmenkombinationen von Heiztechnik mit Dämmmaßnahmen. Die Spannbreite lag hier zwischen 8 und 58 Prozent. Nicht verwunderlich ist, dass diese Kombinationsmaßnahmen sehr oft die 40-Prozent-Einsparmarke überschritten haben.

Für Gebäude, für die eine Endenergiebedarfsberechnung für den Zustand nach der Sanierung vorliegt, konnte der Endenergiebedarf nach der Sanierung mit dem Verbrauchskennwert nach der Sanierung verglichen werden.

Der Vergleich wurde für Dämmfälle bei entsprechender Datenlage und ausgewählten Kombinationsfällen (gleichzeitige Verbesserung von Wärmeschutz und Heiztechnik) durchgeführt. Insgesamt ergab die Auswertung, dass in der Mehrheit der Fälle erhebliche Abweichungen der beiden Werte, teils um bis zu 40 Prozent, bestehen. Dies bestätigt, dass bei der Energieberatung mithilfe von Monitoring-Instrumenten gewonnene Verbrauchswerte (anstelle von Bedarfswerten) stärker Einzug halten sollten.

In der qualitativen Analyse der Fälle zeigte sich, dass die **Austauschpflicht für Heizkessel** mit einem Baujahr vor 1978 gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) 2002–2009 eingehalten wurde. Die seit 2014 geltende Austauschpflicht für Kessel mit einem Baujahr vor 1985 wurde bis auf eine Ausnahme bei allen Feldtestteilnehmern erfüllt. Die installierte Nennwärmeleistung infolge des Kesseltauschs ist insgesamt gesunken. Es wurde jedoch deutlich, dass die **installierte Leistung in fast allen Fällen deutlich über der tatsächlichen Heizlast der Gebäude** liegt. Auffällig war auch, dass die Dämmung von Verteilleitungen und Armaturen im unbeheizten Bereich in vielen Fällen zu wünschen übrig lässt. Insgesamt wurde bei 30 Prozent der nachgedämmten Leitungen und Armaturen die vorgeschriebene Mindestdämmstoffdicke nicht eingehalten. Ursache hierfür könnte die Nutzung von vorwiegend in Baumärkten angebotener Rohrdämmung „1/2 EnEV“ sein, die jedoch nur für Wand- und Deckendurchbrüche zugelassen ist. In 42 Prozent der Fälle wurde eine Nachdämmung von Verteilleitungen oder Armaturen empfohlen.

Neben dem primären Heizsystem wurden weitere Wärmeerzeuger wie Solarthermieanlagen oder Zusatzheizungen genutzt. In 19 Prozent der Fälle unterstützte eine Solarthermieanlage zusätzlich die Bereitstellung von Warmwasser. Sekundäre Heizsysteme wie Öfen oder Kamine wurden in knapp der Hälfte der Teilnehmerhaushalte (46 Prozent) verwendet.

Auch den wärmetechnischen Standard (U-Wert) vor und nach der Sanierung sowie das Maßnahmenjahr der Verbesserung haben die Energieberater in den Testgebäuden erhoben. In 91 Prozent der Fälle wurde die EnEV eingehalten. Als Dämmmaterialien wurden am häufigsten Polystyrol und Mineralfasern sowie an dritter Stelle Zellulose verwendet. Fenster und Außenwände wurden oft nur teilweise verbessert.

In der Praxis wurden häufiger Einzelmaßnahmen als Kombinationen an Gebäuden durchgeführt. Dennoch wurden speziell bei Dämmmaßnahmen sinnvollerweise Maßnahmen kombiniert. In diesen Fällen traten immer wieder typische „Dämmängel“ und Wärmebrücken auf. Oft wurden Wärmebrücken bewusst in Kauf genommen, um erhebliche Zusatzkosten zu vermeiden.

Als Ursachen für ausbleibende Sanierungserfolge sehen die Autoren primär **Mängel in der Qualitätssicherung vor, während und nach der Sanierung**. So führte beispielsweise höchstens jeder Dritte im Zuge der Sanierung eine Heizungsoptimierung durch; nach Dämmmaßnahmen gerade mal 10 Prozent, bei Heizungserneuerung 40 Prozent. Des Weiteren wurden bestehende Beratungs- und Förderangebote nicht ausgeschöpft, die bei richtiger Anwendung zur Steigerung der Sanierungswirkung beitragen würden. **Nur jeder Dritte nahm eine Energieberatung bzw. Maßnahmenbegleitung in Anspruch**, weniger als die Hälfte (40 Prozent) nutzte Förderprogramme.

Die Ergebnisse sowie Erkenntnisse aus vorangegangenen Studien zeigen: Deutschland könnte **jährlich mindestens 4,7 bis 6,2 Mio. Tonnen CO₂ zusätzlich einsparen**, würden geltende Qualitätsstandards (unter anderem Heizungsoptimierung) bei erfolgten Sanierungsmaßnahmen und begleitendes Monitoring bei Gebäuden mit Baujahr nach 1978 nachträglich angewendet. Zusätzliches Minderungspotenzial besteht, wenn bei aktuell anstehenden Dämmmaßnahmen und Kesselenerneuerungen Qualitätssicherung und Optimierung mit hydraulischem Abgleich und mit bestmöglichen und wirtschaftlichen Komponenten konsequent umgesetzt würden.

Die quantitative Auswertung der Feldobjekte der EOS Ostfalia kommt für die untersuchten Sanierungsmaßnahmen „Gebäudehülle und Fenster“ sowie „Heiztechnik mit/ohne Solar“ als Resultat auf ein **zusätzliches Sparpotenzial von ca. 25 bis 30 kWh/m²a** im Bereich Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung. Die Sanierungswirkung birgt also deutliche nicht ausgeschöpfte Potenziale für den Klimaschutz und die Energieeffizienz, die kosteneffizient und mit teils einfachen Optimierungen und Nachbesserungen gehoben werden könnten. Das Thema Sanierungswirkung sollte daher fest in der politischen Arbeit, Kommunikation und öffentlichen Debatte verankert werden. Qualifizierte Energieberatung, geschultes Handwerk und regelmäßige Nutzung von Monitoring- und Feedback-Instrumenten sind die Stellschrauben für mehr Sanierungswirkung:

- Geltende Qualitätsstandards sollten in der Ordnungspolitik sowie in Aus- und Weiterbildung von Energieberatern und Handwerkern fester verankert werden. Dazu könnte beispielsweise der hydraulische Abgleich in die EnEV aufgenommen werden und durch eine Zusammenlegung von EnEV und Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) könnten sich überschneidende Bedingungen beseitigt werden. Gesetzliche Anforderungen an die Effizienz sollten zukünftig von Primärenergie auf Endenergie und damit verbundene CO₂-Emissionen umgestellt werden.
- Bei Förderinstrumenten sollten Erfolgsnachweise eingeführt und die Energieberatung mit Monitoring-Instrumenten verbunden werden. Bestehende Förderinstrumente (KfW, BAFA) sollten mit einem Erfolgsnachweis auf Basis der EAV und einem onlinebasierten Monitoring (zum Beispiel Energiesparkonto in Kombination mit Wärmemengenzählern und Smart Metern) verknüpft werden. Die Energieberatung sollte sich als „Energieberatung 2.0“ auf die Phasen vor, während und nach der Sanierung erstrecken. Handwerker, Planer und alle potenziellen Modernisierer sollten so für das Thema Erfolgskontrolle sensibilisiert werden.
- Wärmemengenzähler und Smart Meter sollten für Feedback genutzt werden. Für eine deutliche Steigerung der Sanierungseffizienz ist ein automatisches, unterjähriges Monitoring mit begleitendem Feedback unabdingbar. Die breite Anwendung von Wärmemengenzählern und Smart Metern ist hierbei eine wichtige Voraussetzung und sollte bei Förderinstrumenten und der Weiterentwicklung von Ökodesign-Richtlinien Einzug halten.
- Mit zielgruppendifferenzierter Kommunikation sollte die Nachfrage nach Förder- und Beratungsangeboten sowie Feedback-Instrumenten gesteigert werden. Hierzu müssen keine neuen Angebote geschaffen, sondern bestehende für den Verbraucher transparenter und besser miteinander verknüpft sowie mit Feedback-Instrumenten begleitet werden.

Sanierungstest-Fakten auf einen Blick

Große Schwankungen bei der Energieeinsparung:

- neue Heizung: 8 bis 50 %
- Heizung mit Solar: 16 bis 65 %
- Kombi Dach-Außenwand-Fenster: 21 bis 48 %
- Kombi Heiztechnik und Dämmung: 8 bis 58 %

Dämmung:

- EnEV größtenteils eingehalten
- Leitungen/Armaturen bei 30 % der Häuser unzureichend gedämmt

Heizanlage:

- Heizungsoptimierung nur bei 31 %
- Heizkessel-Leistung bei fast allen über Heizlast

Beratung und Förderung:

- Energieberatung nur bei jedem dritten Haushalt
- Fördermittel nur von 40 % genutzt

Zusätzliches Sparpotenzial durch Qualitätssicherung und Optimierung: 25 bis 30 kWh/m²a, jährlich 4,7 bis 6,2 Mio. Tonnen CO₂ (laut EOS Ostfalia).



1 STUDIEN UND ANDERE VORARBEITEN

Zu Beginn des Sanierungstests und der Feldphase wurden bestehende Studien und Vorarbeiten zur Sanierungswirkung und zum Energieverbrauch im Wohngebäudebestand sowie Feldtests in der Praxis untersucht und deren Ergebnisse systematisch aufbereitet.

co2online-Auswertung der Datenbanken

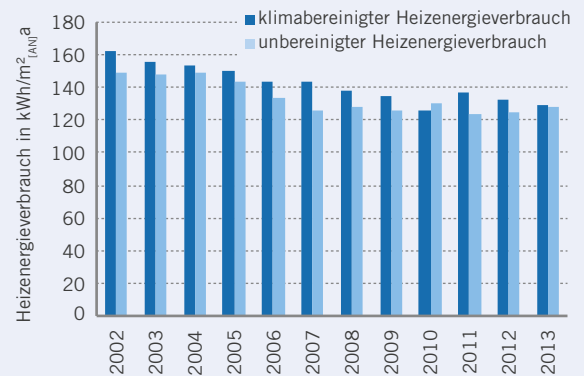
co2online hat in den vergangenen Jahren bereits vielfältige Auswertungen zum Energieverbrauch des Wohngebäudebestands aus seiner Gebäudedatenbank mit über 1,2 Millionen Datensätzen durchgeführt. Die Entwicklung des Heizenergieverbrauchs zeigt insbesondere für die vergangenen drei Jahre eine Stagnation der Minderung des Heizenergieverbrauchs, wie Abbildung 1 zum Heizenergieverbrauch zentralbeheizter Wohngebäude in Deutschland verdeutlicht.¹

Gründe hierfür werden auch in einer vermehrten Zurückhaltung bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen im Bestand gesehen. Blieben die jährlichen Sanierungsraten auf dem Niveau der vergangenen fünf Jahre und würde man darauf aufbauend die Entwicklung des Heizenergieverbrauchs bis 2050 prognostizieren, wie Abbildung 2 zeigt, wird deutlich, dass sich der Gebäudebestand bis 2050 im Schnitt bei etwas über 80 kWh/m²_[AN] a einpendeln würde. So wäre das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands, welcher bei 30 bis 50 kWh/m²a (etwa ein 4-Liter-Haus) liegt, nicht zu erreichen.

Für Einfamilienhausaltbauten mit einem Baujahr vor 1979 liefern Auswertungen der Gebäudedatenbank von co2online zu den Sanierungsaktivitäten ein ernüchterndes Ergebnis. Demnach sind rund 70 Prozent der untersuchten Altbauten noch unzureichend energetisch saniert. Neue Fenster (bei rund 50 Prozent der Altbauten) und neue Heizungen (bei über 60 Prozent) sind dabei die häufigsten Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Nur bei rund 20 Prozent der Altbauten wurde die Fassade nachträglich gedämmt.

Ein Großteil der Sparpotenziale würde folglich bei den aktuellen energetischen Sanierungsraten von etwa einem Prozent pro Jahr kurz- bis mittelfristig unerschlossen bleiben.

Abb. 01 Entwicklung des Heizenergieverbrauchs in zentralbeheizten Wohngebäuden 2002 bis 2013



Quelle: eigene Darstellung, co2online-Gebäudedaten

Abb. 02 Prognose der Entwicklung des Heizenergieverbrauchs bis 2050 „business as usual“



Quelle: eigene Darstellung, co2online-Gebäudedaten

Über co2online Research

Seit 2003 berät co2online Haushalte rund um das Thema Energiesparen. Die Nutzerdaten werden bei den Beratungen anonymisiert mitgeschrieben und bilden die Grundlage der co2online-Datenbank, die über 1,2 Millionen Gebäudedaten umfasst und repräsentative Analysen des deutschen Gebäudebestands ermöglicht. Darüber hinaus steht co2online kontinuierlich in direktem Kontakt mit Verbrauchern und weiteren Akteuren. co2online Research ist ein 2011 gegründeter eigenständiger Bereich von co2online und bietet Ihnen Leistungen aus den folgenden Bereichen an:

Datenanalysen



Die über eine Million Gebäudeenergiedaten der gemeinnützigen co2online GmbH decken mit ihren 40 erfassten Parametern eine große Bandbreite ab, die von allgemeinen Informationen zum Gebäude und zu dessen Standort über die Gebäudetechnik und den Energieverbrauch bis hin zum Modernisierungsstand reicht.

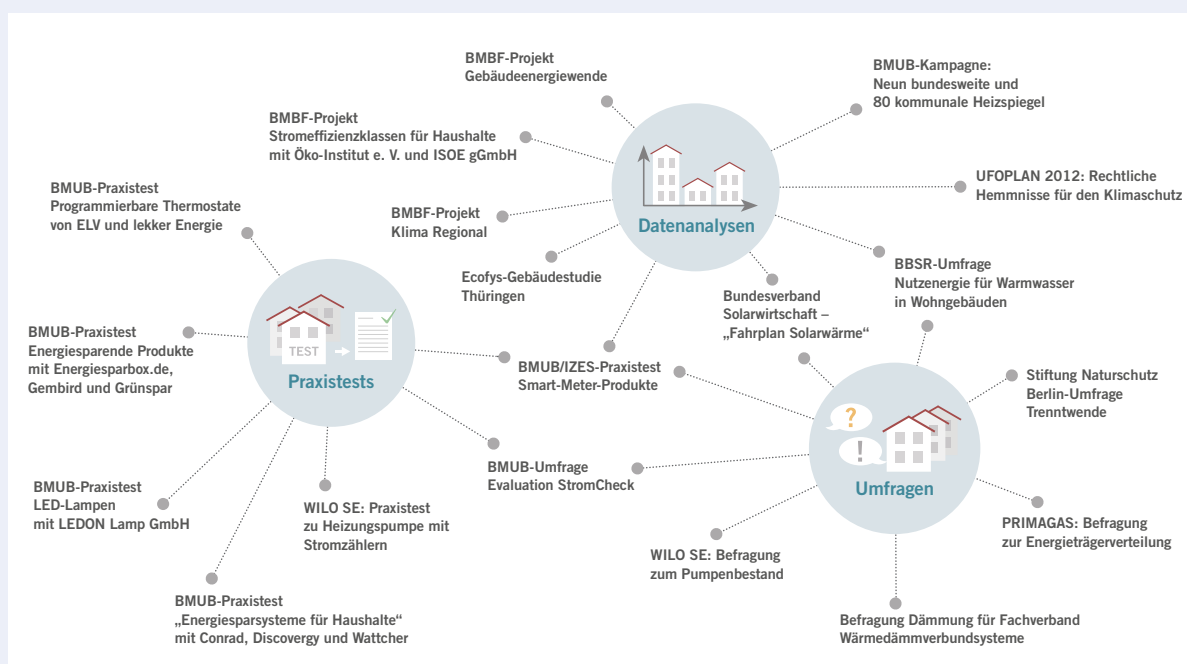
co2online Research kann daraus Informationen zu Niveau und Tendenz von Energieverbrauch, CO₂-Emissionen und Modernisierungsverhalten ermitteln. Zudem ermöglichen Gebäudeenergiedaten bis 2002 zurück eine detaillierte Darstellung der Entwicklung und der räumlichen Verteilung der Gebäudesanierung in Deutschland. Damit können auch Trendentwicklungen und Prognosen erstellt werden.

Umfragen



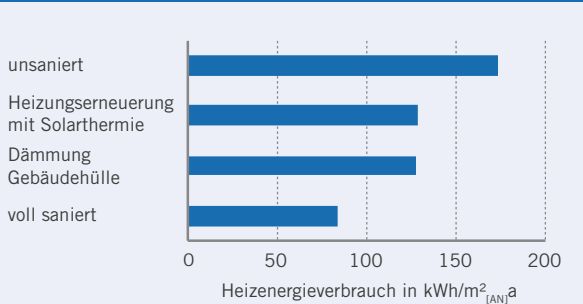
Durch langjährige Energieberatung hat co2online eine umfangreiche Nutzerdatenbank mit rund 150.000 Kontakten aufgebaut, die auch zahlreiche Handwerker, Energieberater und weitere Experten umfasst. Über die Nutzerdatenbank können entsprechende Zielgruppen effizient per E-Mail angeschrieben und für Befragungen und Panelanalysen gewonnen werden.

Bei Rücklaufquoten bis zu 25 Prozent kommen schnell aussagekräftige Ergebnisse zustande. Diese Ergebnisse können dann beispielsweise kombiniert werden mit statistischen Auswertungen der Gebäudeenergiedaten, so dass übersichtliche Gesamtdarstellungen mit sowohl technischen als auch soziodemografischen Aspekten entstehen.



Neben der geringen energetischen Sanierungsrate im Bestand gibt es ein zweites Problem: Die gemessene Wirkung von Sanierungen auf den Heizenergieverbrauch bleibt in der Praxis hinter den technischen Potenzialen zurück. Eine Querschnittsanalyse bei vor 1979 errichteten Ein- bis Zweifamilienhäusern zeigt, dass nachträgliche Sanierungen (umfassend mit Gebäudehülle und Heiztechnik, siehe Abbildung 3) eine durchschnittliche Halbierung des spezifischen Energieverbrauchskennwertes (EVKW) für Heizenergie auf 85 kWh/m²a ergaben, was ungefähr dem 8-Liter-Standard entspricht.

Abb. 03 Vergleich der Sanierungswirkung bei Ein- bis Zweifamilienhäusern mit Baujahr vor 1979



Quelle: eigene Darstellung, co2online-Gebäudedaten

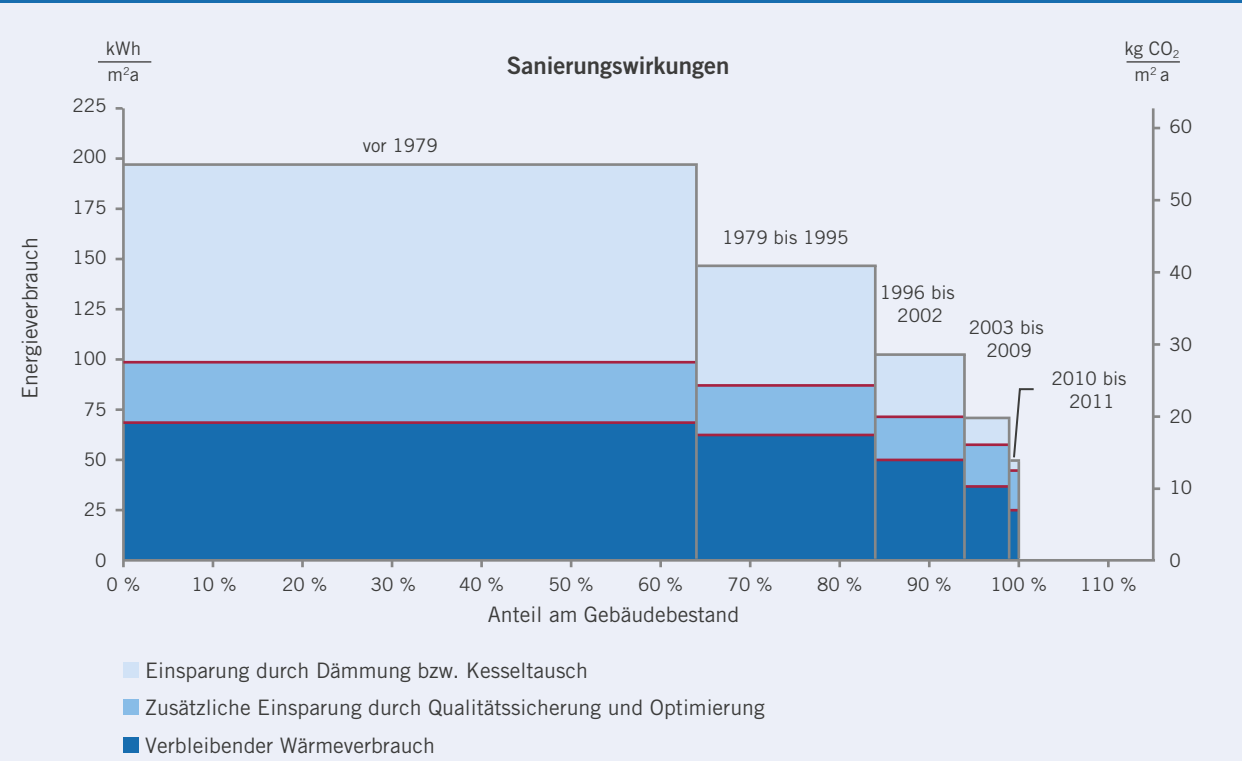
Ostfalia-Studien zur Optimierung von Heizungssystemen

Felduntersuchungen mit dem Werkzeug der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) aus vorangegangenen Studien der Ostfalia zeigen, dass ohne hohen Aufwand mit geringinvestiven Maßnahmen ca. 25 bis 30 kWh/m²a Endenergie im Bereich Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung allein durch konsequente Qualitätssicherung zusätzlich eingespart werden können. Dazu gehört wesentlich die Umsetzung einer Optimierung mit hydraulischem Abgleich.

Im Einzelnen ließen sich im Bereich der Gebäudedämmung zusätzlich zu dem sowieso verminderten Heizenergieverbrauch, welcher mit den Sanierungsmaßnahmen oder im Neubau einhergeht, durchschnittlich 15 bis 20 kWh/m²a Heizenergie realisieren. Bei einem Kesseltausch im Zuge von Sanierungsmaßnahmen können damit durchschnittlich weitere 10 kWh/m²a Heizenergie eingespart werden.

Langfristig kann über alle Bestandswohngebäude gegenüber dem heutigen Mittelwert ein durchschnittlicher Energieverbrauch von etwa 85 bis 100 kWh/m²a ohne bzw. von 60 kWh/m²a mit zusätzlicher Qualitätssicherung und Optimierung erreicht werden (siehe Abbildung 4).

Abb. 04 Ostfalia: Zusätzliche Einsparpotenziale durch Qualitätssicherung und Optimierungsmaßnahmen



Quelle: Ostfalia

Wird die Differenz dieser beiden Werte, welche die gesamte mögliche Energieeinsparung darstellt, mit der insgesamt zu sanierenden Fläche multipliziert, ergibt sich ein Einsparpotenzial von gut 380 TWh/a bzw. 64 Prozent gegenüber dem heutigen Endenergieverbrauch.

Das Ziel des Projekts OPTIMUS des Institutes für energieoptimierte Systeme (EOS) an der Ostfalia Hochschule aus dem Jahr 2003 war, die bisher nicht genutzten Energieeinsparpotenziale durch eine technische Optimierung von Heizungssystemen systematisch zu ermitteln und mittels einer Informations- und Qualifizierungsstrategie für die Zukunft dauerhaft zu sichern.

Nach der Grobauswertung der Energieverbrauchsdaten der ersten Heizperiode mithilfe von Wärmemengenzählern (WMZ) und Stromzählern wurden von insgesamt 92 Gebäuden 31 mit einer gesamten beheizten Fläche von fast 11.500 m² als optimierungswürdig eingestuft. Die Optimierung im Herbst und Winter 2003 umfasste

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

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

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 10 kWh/m²a geringerer Heizenergieverbrauch bei Berücksichtigung des oberen Heizwerts der mit Gas versorgten Gebäude ergibt.

Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel eine Heizenergieeinsparung von 8 kWh/m²a bezogen auf die beheizte Fläche. Die Auswirkung der Optimierung ist in den untersuchten EFH geringer als in den MFH (-4 kWh/m²a gegenüber -11 kWh/m²a) und in den Gebäuden mit Kessel höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss (-11 kWh/m²a gegenüber -5 kWh/m²a).

Für die Hilfsenergie (vor allem für Pumpen) bewirkt die Optimierung der Heizungsanlage im Mittel der untersuchten Gebäude eine Einsparung von 0,3 kWh/m²a bezogen auf die beheizte Fläche. Ausgehend von bereinigten Werten ergibt sich hier ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 13 Prozent.

Rechnet man die Erfolge des OPTIMUS-Projekts auf den gesamten Gebäudebestand hoch, ergibt sich je nach Rechenszenario ein Primärenergieeinsparpotenzial von 4/7/9 kWh/m²a, eine Gesamteinsparung von 20.000 bzw. 28.000 GWh/a Primärenergie.

Ein 1998 bis 2002 durchgeführtes DBU-Projekt zu Brennwertkesseln umfasste die Untersuchung des realen Anlagenbetriebes von etwa 70 Heizungsanlagen. Das Ziel des Vorhabens war die Beantwortung der Frage: Welche Verluste weisen Brennwertkessel im praktischen Betrieb abhängig vom Anlagenkonzept auf?

Die Projektergebnisse bestätigen, dass die häufig angegebenen Normnutzungsgrade von Brennwertkesselanlagen (um 109 Prozent) im Praxisbetrieb unter den in klassischen Heizungsanlagen vorliegenden Randbedingungen nicht zu erreichen sind. Der gemessene Mittelwert des Jahresnutzungsgrades liegt bei 96 Prozent (bezogen auf den unteren Heizwert) bei einer mittleren Anlagenauslastung von neun Prozent.

Die deutlichsten Einflüsse auf die Effizienz von Kesseln haben die Art der hydraulischen Einbindung (mit oder ohne ein Überströmventil) und der Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich. Mit zunehmenden Dämmstandard neuer und nachträglich modernisierter Gebäude differiert in immer stärkerem Maße die Leistungsanforderung an die minimale und maximale Kesselleistung für die Raumheizung (im Einfamilienhaus 2 bis 6 kW) und für die Trinkwassererwärmung (mindestens 10 bis 12 kW beim Speicherprinzip, 18 bis 24 kW beim Durchflussprinzip). Aus den Messwerten lässt sich klar ableiten, dass der Jahresnutzungsgrad bei sinkendem Wärmeverbrauch der Gebäude kleiner wird, obwohl die absoluten Wärmeverluste des Erzeugers sinken.

Fraunhofer-ISE-Feldtests zu Wärmepumpen

Seit 2005 führt das Fraunhofer ISE großangelegte Feldstudien über Wärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung in Einfamilienhäusern durch. Aktuell läuft die Vorbereitung für „WPsmart im Bestand“², im Rahmen dessen bis 2018 geeignete Wärmepumpenlösungen im Sanierungsfall sowie der Einsatz von Wärmepumpen als Instrument zum Lastmanagement untersucht werden sollen. Im Folgenden werden die Ergebnisse dreier abgeschlossener Monitoring-Projekte beleuchtet. Abbildung 5 gibt die Anzahl der jeweils untersuchten Anlagen sowie der eingesetzten Wärmequellen wieder.

Das Projekt „WP im Bestand“³ widmete sich der Bewertung von Wärmepumpen in unsanierten bzw. teilsanierten Bestandsgebäuden, während bei „WP Effizienz“⁴ und „WP Monitor“⁵ Wärmepumpen in neuen Gebäuden untersucht wurden. In allen Felduntersuchungen kamen als Wärmequelle vor allem die Außenluft (jeweils zwischen 18 und 35 Anlagen) sowie das Erdreich mittels Erdsonden oder Erdkollektoren (jeweils zwischen 36 und 56 Anlagen) zum Einsatz.

Der größere Anteil der Außenluft-Anlagen bei „WP im Bestand“ verglichen mit jenen bei „WP Effizienz“ ist auf die Voraussetzungen im Sanierungsfall zurückzuführen. Dass der Anteil im später durchgeführten „WP Monitor“-Projekt größer als bei „WP Effizienz“ war, hängt mit dem immer noch anhaltenden Markttrend hin zur Außenluft-Wärmepumpe zusammen.

Die nominale Heizleistung der installierten Wärmepumpen lag zwischen 5 kW_{th} und 17 kW_{th} in den Neubauten bzw. 37 kW_{th} in den Bestandsgebäuden. Die beheizte Wohnfläche belief sich projektübergreifend im Schnitt auf etwa 190 m². Der mittlere Heizwärmebedarf betrug durchschnittlich 120 kWh/m²a in den Bestandsgebäuden und 70 kWh/m²a in den Neubauten.

Das primäre Ziel aller drei Projekte war die Ermittlung der Effizienz, die Quantifizierung der unmittelbaren Einflussgrößen und die Analyse des Betriebsverhaltens. Das Messkonzept berücksichtigte daher die separate Erfassung aller relevanten elektrischen Verbraucher (mindestens Verdichter, Steuerung, Antrieb Wärmequelle und Heizstab), der thermischen Energie für die Raumheizung und für die Trinkwassererwärmung sowie der Wärmequelle bei Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen. Die eingesetzten Wärmemengenzähler erlaubten zudem die Aufzeichnung der Temperaturen und Volumenströme. Die Analyse des Betriebsverhaltens erforderte eine minutengenaue Erfassung der Messdaten und aufgrund des Witterungseinflusses wurde, abgesehen vom „WP Monitor“-Projekt, über mehrere Heizperioden gemessen.

Für die nachfolgend vorgestellten Arbeitszahlen wurde die bereitgestellte thermische Energie direkt nach der Wärmepumpe, also vor etwaiger Speicherung und Verteilung bilanziert. Als Elektroenergieverbraucher wurden der Verdichter, die Steuerung, der Antrieb in den Wärmequellen (Solepumpe oder Ventilatoren) sowie der elektrischen Heizstäbe berücksichtigt. Diese von Seiten des Fraunhofer ISE mit „2“ bezeichnete Bilanzgrenze kommt der zur Berechnung der COP-Werte nach EN 14511 („coefficient of performance“/Leistungszahl) am nächsten und wird daher üblicherweise kommuniziert. Anhand der in Abbildung 6 dargestellten mittleren Jahresarbeitszahlen ist der Einfluss der Betriebstemperaturen auf die Effizienz gut ersichtlich. Erdreich-Wärmepumpen (3,3 bis 4,0) schneiden beispielsweise besser ab als Außenluft-Wärmepumpen (2,6 bis 3,1), was unter anderem auf die thermodynamischen Eigenschaften sowie die geringeren Temperaturen der Außenluft in der Kernheizperiode (unter ca. 0 Grad Celsius) zurückzuführen ist. Zwischen den Projekten besteht der Hauptunterschied in den installierten Heizwärmeübergabesystemen. In den Altbauten sind überwiegend Radiatoren vorhanden, die mit 54 Grad Celsius im Mittel knapp 20 Kelvin höhere Vorlauftemperaturen benötigten als die Fußbodenheizungen in den Neubauten. Bei den Erdreich-Wärmepumpen (Außenluft-Wärmepumpen) wurden daher um 0,6 bzw. 0,7 (0,3 bzw. 0,5) höhere Arbeitszahlen ermittelt. Die zusätzlich aufgetragenen Arbeitszahlen (siehe Abbildung 6) beim „WP Monitor“-Projekt wurden für eine Gruppe aktuellerer Wärmepumpen ermittelt, die beispielsweise über leistungsgeregelte Verdichter verfügen. Ein besseres Verständnis über die aktuelle Situation von Wärmepumpen in diesem Anwendungsbereich gewähren die Arbeitszahl-Bandbreiten in Abbildung 7.

Die enormen Ausmaße dieser Bandbreiten verdeutlichen vor allem zwei Dinge: Einerseits können sowohl Erdreich- (4,3 im Altbau und 5,4 im Neubau) als auch Außenluft-Wärmepumpen (3,3 im Altbau und 4,2 im Neubau) Arbeitszahlen erreichen, die gleichbedeutend mit sehr günstigen ökologischen und energetischen Kennwerten sind. Andererseits besteht mit Blick auf die unteren Grenzen ein enormes Verbesserungspotenzial. Denn weder im Neubau ($\geq 2,2$ für Außenluft- und $\geq 3,0$ für Erdreich-Wärmepumpen) noch im Altbau ($\geq 2,1$ für Außenluft- und $\geq 2,2$ für Erdreich-Wärmepumpen) waren die Voraussetzungen (COP und geplante Betriebstemperaturen) für die Effizienz auf einem Niveau, dass Arbeitszahlen im unteren Bereich zu erwarten gewesen wären. In solchen Fällen ist daher von Fehlern auszugehen.

Aufgrund der gewählten Bilanzgrenze können die Arbeitszahlen quantitativ hinsichtlich des Energieverbrauchs des Wärmequellenantriebs und der Elektroheizstäbe bewertet werden. Letzterer hatte in den Neubauten nur geringfügig Einfluss, was auch auf die Außenluft-Wärmepumpen zutrifft und in vielen Fällen auf eine Überdimensionierung

der Anlage zurückgeführt werden kann. Bei den Altbauten entfielen sowohl für die Außenluft- als auch die Erdreich-Anlagen 2 Prozent des Elektroenergieverbrauchs auf die Heizstäbe. Die Maxima lagen bei 7 Prozent (Außenluft) und 14 Prozent, wobei die Arbeitszahlen dieser Anlagen dennoch im Mittel lagen.

Ein größerer Faktor sind die Energieverbräuche der Antriebe in den Wärmequellen. Verglichen mit den Energieverbräuchen der Verdichter liegen diese beispielsweise im „WP Monitor“-Projekt für Solepumpen (Ventilatoren) zwischen 3 und 9 Prozent (2 und 13 Prozent), was auf ein entsprechendes Einsparpotenzial hindeutet. Im Rahmen der Betriebsanalyse konnte auch eine qualitative Bewertung des Wärmepumpenbetriebs vorgenommen werden.

So wurde zum Beispiel festgestellt, dass die mittleren täglichen Anschalthäufigkeiten bei „WP Monitor“ zwischen 3- und 29-mal liegen, was unter anderem auf die Anlagen- und Speicherdimensionierung sowie die Wahl der Hysteresen zurückgeführt werden kann. Die unterschiedliche

Anlagendimensionierung führte auch dazu, dass Jahresbetriebszeiten zwischen 800 h und 4.600 h ermittelt wurden. Weiterhin konnte beim Einsatz von Kombispeichern mehrmals die nicht exakte Trennung des Wärmepumpenbetriebs in Trinkwarmwasser- und Heizmodus festgestellt werden. Falsch platzierte Temperatursensoren und schlecht gewählte Regelparameter führten dazu, dass die Wärmepumpe für einen Teil des Heizwärmebedarfs Energie auf dem Temperaturniveau des Trinkwarmwassers (in den Neubauten!) bereitgestellt hat.

Defekte Rückschlagklappen oder undichte 3-Wege-Ventile führten in mehreren Fällen zu Fehlbelastungen bzw. Speicherentladungen. Diese Effekte wurden durch unnötigen Betrieb von Pumpen noch verstärkt. Allgemein konnte festgestellt werden, dass einfache hydraulische Systeme robuster und daher weniger fehleranfällig sind.

Abb. 05 Anzahl der Anlagen sowie Verteilung der genutzten Wärmequellen in den einzelnen Projekten

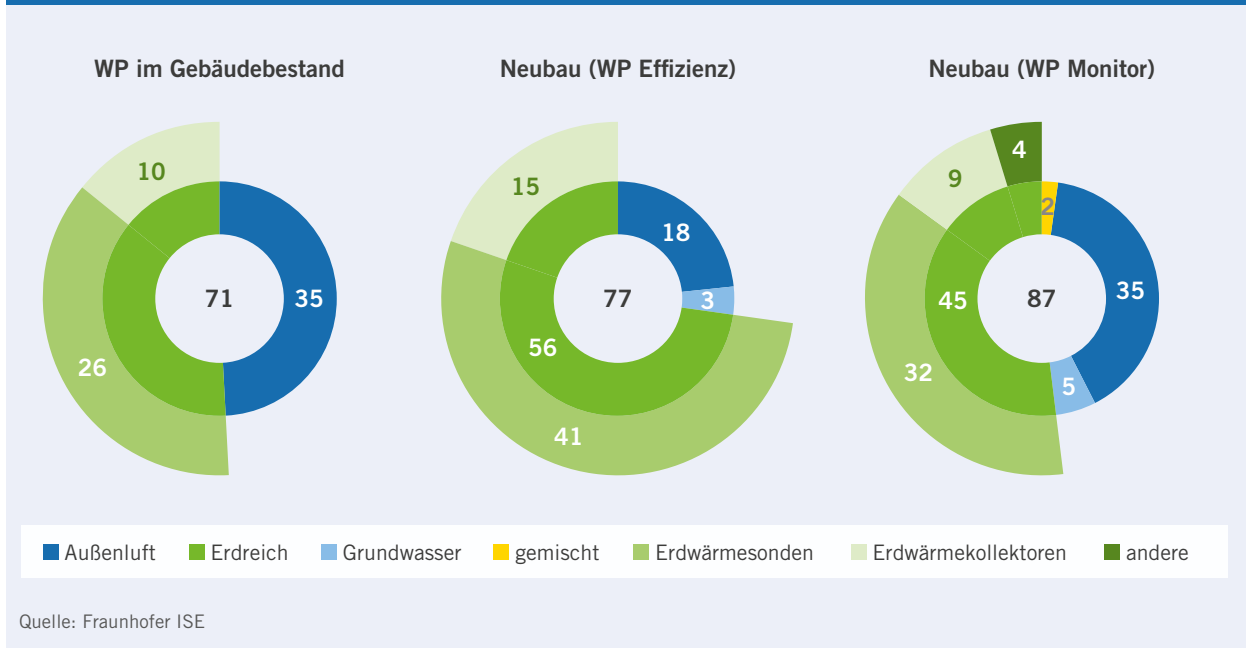
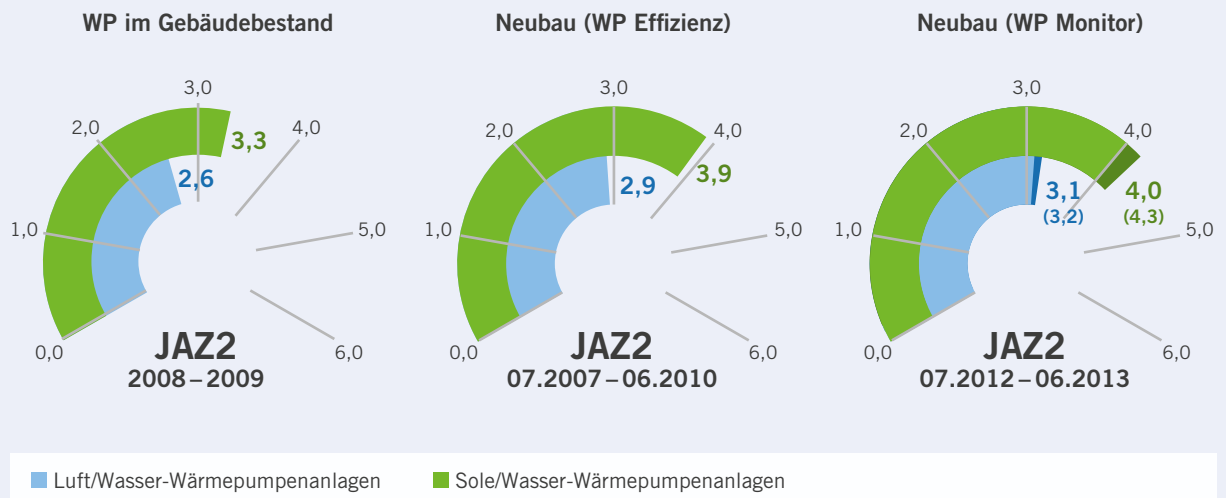
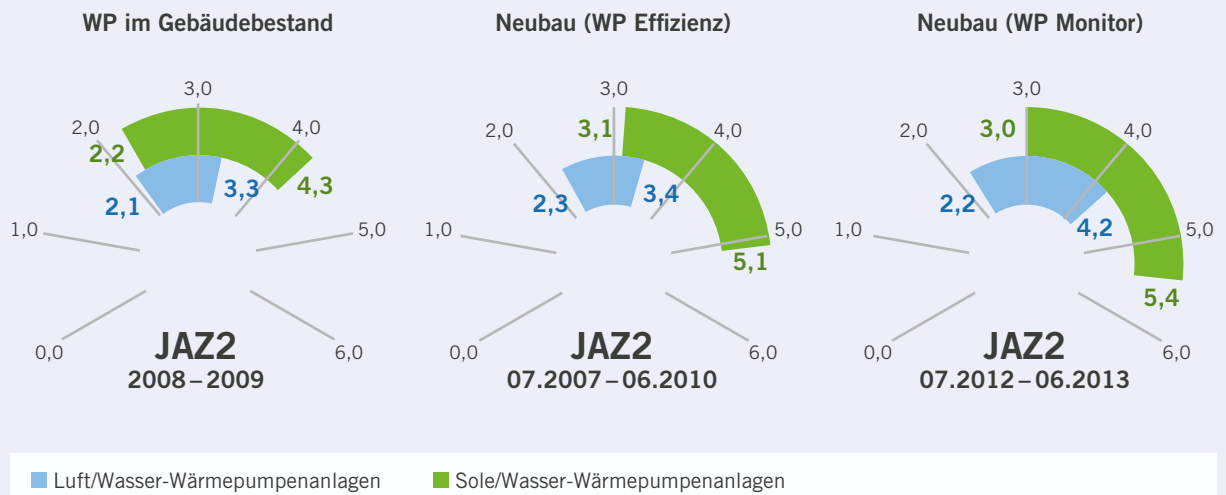


Abb. 06 Mittlere Jahresarbeitszahlen der Außenluft- und Erdreichwärmepumpen für unterschiedliche Auswertungszeiträume



Quelle: Fraunhofer ISE

Abb. 07 Bandbreiten der Jahresarbeitszahlen der Außenluft- und Erdreichwärmepumpen für unterschiedliche Auswertungszeiträume



Quelle: Fraunhofer ISE



2

2 SANIERUNGSTEST: HAUSHALTE UND MASSNAHMEN

Der Sanierungstest setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen:

- Akquise von Testhaushalten
- Auswahl der Testhaushalte
- Begehungen der Testhaushalte durch Energieberater
- Erfassung der Energieverbräuche und Messphase
- Auswertung der Begehungsprotokolle und Verbrauchsdaten

Akquise und Auswahl der Testhaushalte

Die Akquise von Hauseigentümern für den Sanierungstest erfolgte hauptsächlich durch co2online. Diese nutzte ihre etwa 100.000 Nutzerkontakte für die Suche nach geeigneten Testhaushalten. Die Ansprache der Haushalte erfolgte in einem mehrstufigen Prozess:

- Ansprache von Haushalten, die ein Energiesparkonto (ESK) führen und bereits Maßnahmen umgesetzt haben;
- Breitenansprache von Hauseigentümern aus den Ratgebern ModernisierungsCheck, PumpenCheck und FördermittelCheck;
- Aufruf zur Teilnahme über Websites, Newsletter, Pressemitteilungen und Klimaschutzpartner.

Interessierte Haushalte wurden gebeten, für den Bewerbungsprozess auf www.wirksam-sanieren.de online einen kurzen Fragebogen auszufüllen, der relevante Daten für die spätere Auswahl der Testhaushalte enthält. Diese Datenerhebung war notwendig, da nicht jeder Haushalt bzw. nicht jedes Gebäude für den Sanierungstest geeignet ist. Es wurden 400 qualifizierte Bewerbungen für den Test eingereicht.

Die Auswahl erfolgte anhand der übermittelten Angaben und nach Telefonaten mit den potenziellen Kandidaten. Mit der Akquise wurden rund 150 geeignete Teilnehmer (größtenteils Einfamilienhäuser) für den Test gewonnen. Jeder Teilnehmer wurde gebeten, ein Energiesparkonto anzulegen und zu pflegen. Aufgrund der Überzahl an Ein- bis Zweifamilienhäusern wurden von den Partnern rund 30 weitere Gebäude (größtenteils Mehrfamilienhäuser) aus bestehenden oder abgeschlossenen Projekten für die Auswertung hinzugenommen und teils neu ausgewertet. Die Auswertungen der von Ostfalia untersuchten zusätzlichen Mehrfamilienhäuser sind in einem eigenständigen

Bericht zusammengefasst, der ebenfalls auf der Website www.wirksam-sanieren.de zum Download zur Verfügung steht.

Wurde ursprünglich eine homogene Stichprobe mit Einzelmaßnahmen angestrebt, so zeigte sich bereits in der Akquisephase, dass viele Nutzer Sanierungsmaßnahmen in Kombination durchgeführt oder komplexe Anlagen, zum Beispiel mit zusätzlicher Solarthermieanlage, installiert haben.

Um einen reibungslosen Ablauf der Feldtestphase zu gewährleisten, wurden für die Auswahl der Testhaushalte Kriterien festgelegt. Dies erleichterte nicht nur die Auswahl, sondern sollte auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse bei Erreichen einer ausreichend großen Stichprobe sicherstellen. Die Auswahlkriterien waren jedoch variabel, um flexibel auf den jeweiligen Rücklauf aus den oben beschriebenen Ansprachen von Hausbesitzern reagieren zu können. Unterschieden wurde nach drei Kriterien:

- Heizsystem
- Gebäudeparameter
- Bewohnerstruktur

Bei der Auswahl nach dem Heizsystem wurde darauf geachtet, nur Haushalte einzubeziehen, die einen Energieträger verwenden, dessen Verbrauch mithilfe von entsprechenden Zählern messbar ist (zum Beispiel Erdgas oder Fernwärme). Für die Gebäudeparameter war der Zeitpunkt der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen entscheidend. Um Einsparergebnisse vergleichen zu können, wurden nur Maßnahmen untersucht, die nach 2006 an den Gebäuden durchgeführt wurden. Wenn möglich sollte sich in den Testhaushalten die Bewohnerstruktur im Laufe der Jahre, die in die Energieverbrauchsanalyse einbezogen wurden, nur minimal verändert haben.

Begehungen der Testhaushalte

Nach der Auswahl der rund 150 Testhaushalte fanden die Begehungen der Testhaushalte für die detaillierte Aufnahme der Gebäudedaten durch von co2online akquirierte Energieberater statt. Voraussetzung für die Zusammenarbeit war, dass diese in der Energieeffizienz-Expertenliste der dena eingetragen sind.

Bei den Begehungen wurden mithilfe eines Fragebogens alle für die Bewertung des Gebäudes und der Sanierungswirkung von durchgeführten Maßnahmen relevanten Parameter erfasst. Einige Daten wurden dabei bereits bei der ersten Ansprache erfragt oder lagen aus dem Energiesparkonto vor. Der Erfassungsbogen für die Begehungen enthielt folgende Themen:

- Gebäudeparameter, Wandaufbauten
- Heizsystem und Warmwasser, Zusatzsysteme
- durchgeführte und zu untersuchende Maßnahme(n)
- Bewohner
- Energieverbrauch, letzte Abrechnungen, Energieausweis (falls vorhanden)
- Besonderheiten

Die Erfassungsbogen wurden in einer speziell für den Sanierungstest angelegten Datenbank eingepflegt, die es ermöglichte, jede Änderung schnell und unproblematisch zu erfassen. Zudem wurden nach den Begehungen etwa zehn Testhaushalte für die Installation von Wärmemengenzählern ausgewählt. Die wissenschaftlichen Partner Fraunhofer ISE und EOS Ostfalia haben zusätzlich weitere Gebäude mit Wärmemengenzählern aus früheren Projekten neu ausgewertet.

Erfassung der Energieverbräuche und Messphase

Im Rahmen der Begehungen wurden Energieverbrauchsdaten von den Energieberatern erfasst, sofern Abrechnungen oder Aufzeichnungen der Gebäudeeigentümer vorlagen. In der Akquisephase wurden jedoch vorrangig Nutzer des co2online-Energiesparkontos angesprochen, da diese im besten Fall bereits über einen längeren Zeitraum regelmäßig Daten im Energiesparkonto hinterlegt haben.

Das Energiesparkonto (www.energiesparkonto.de) bietet Nutzern die Möglichkeit, ihren Energieverbrauch zu erfassen und im Zeitverlauf zu kontrollieren sowie mit dem ähnlicher Haushalte/Gebäude zu vergleichen. Im Energiesparkonto können neben Abrechnungsdaten auch Zählerstände eingetragen werden, die eine unterjährige Erfassung der Energieverbräuche ermöglichen. Neben den Energieverbrauchsdaten können auch sogenannte Ereignisse erfasst und deren Einfluss auf den Energieverbrauch dargestellt werden. Darunter fallen sowohl Sanierungsmaßnahmen als auch Lebensereignisse.

Die im Energiesparkonto hinterlegte Berechnungslogik und die Auswertungen werden in Kapitel 4 erläutert und anhand von Beispielgebäuden für die einzelnen untersuchten Maßnahmenkategorien in Form von Gebäudesteckbriefen dargestellt.

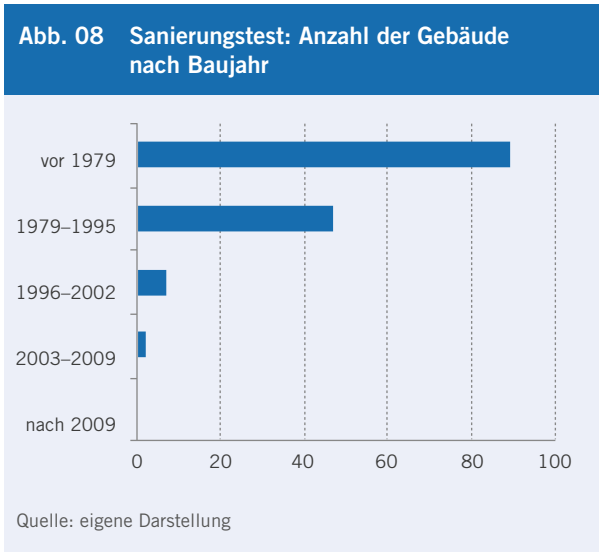
Für den Sanierungstest wurden alle Teilnehmer gebeten, wenn nicht bereits geschehen, ein Energiesparkonto anzulegen und in mindestens monatlichen Abständen Verbrauchsdaten bzw. Zählerstände einzutragen.

Feldtestsample

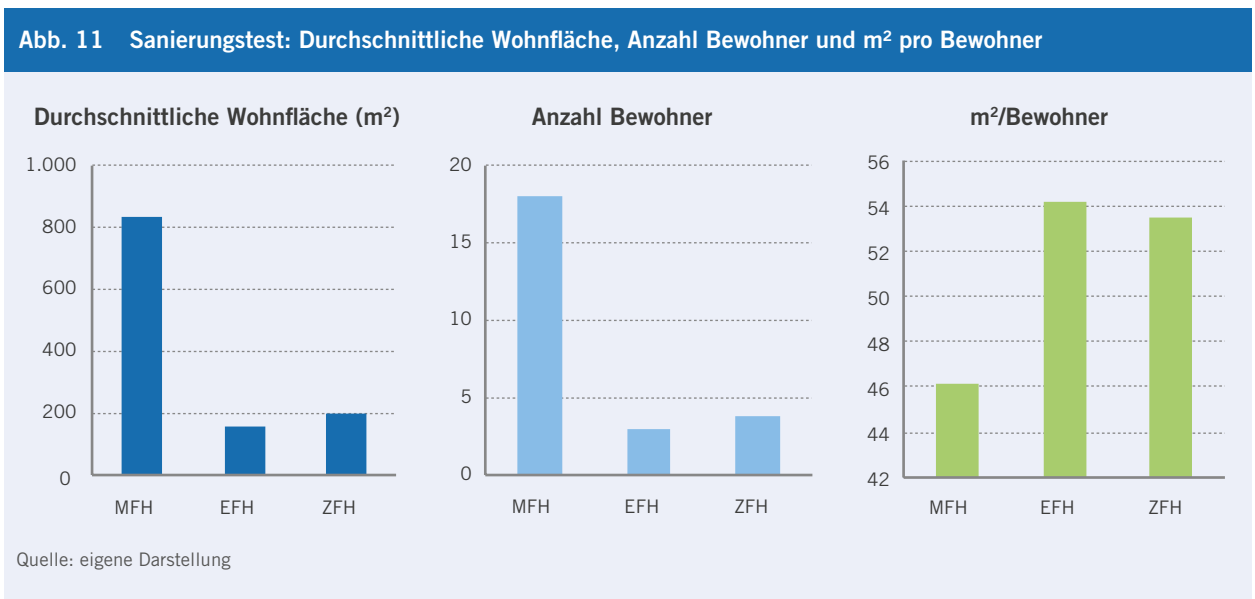
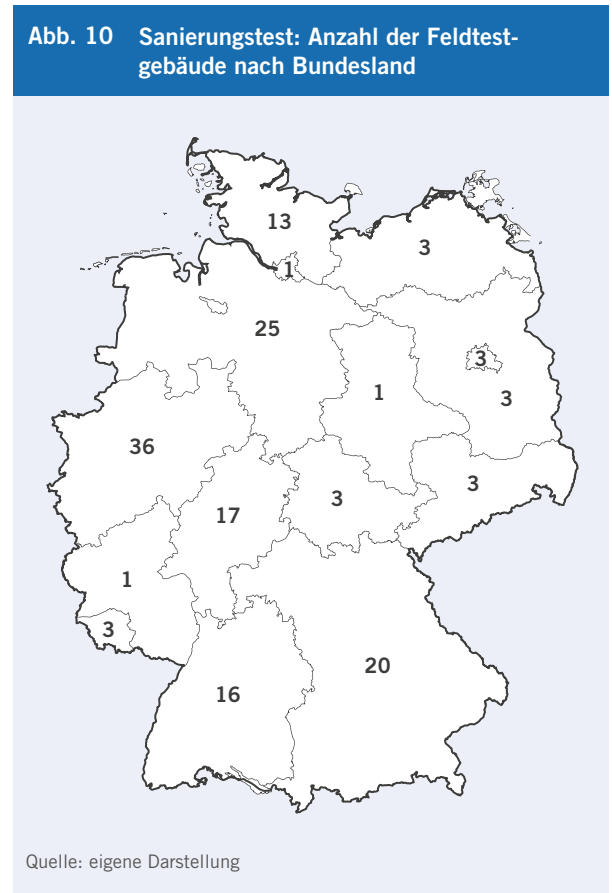
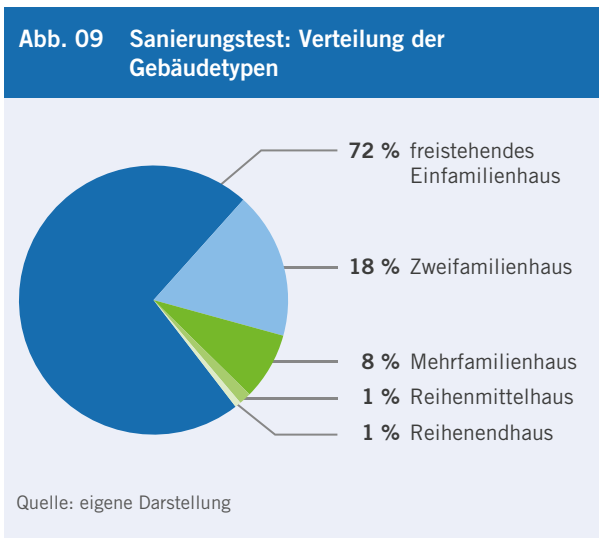
Im Folgenden werden das Feldtestsample und dessen Spezifika bezüglich der untersuchten Gebäude und Bewohner dargestellt. Ein Blick auf die Baujahre der im Feldtest analysierten Gebäude macht deutlich, dass es sich mit einer Anzahl von 89 von insgesamt 148 Gebäuden vorrangig um Baujahre vor 1979 und damit vor der ersten Wärmeschutzverordnung handelt. Neubauten mit einem Baujahr nach 2002 sind nur zweimal enthalten. Die zweithäufigste Baualtersklasse liegt mit 47 Gebäuden zwischen 1979 und 1995 (siehe Abbildung 8).

Bei Betrachtung der Gebäudetypen im Feldtestsample wird ein Überhang von Ein- bis Zweifamilienhäusern (90 Prozent) ersichtlich (siehe Abbildung 9). Dies war auch ein Grund dafür, weitere Testhaushalte aus dem Mehrfamilienhausbereich aus Projekten der wissenschaftlichen Partner einzubeziehen. Die geografische Verteilung der Testgebäude zeigt Abbildung 10. Wie für den gesamten Gebäudebestand in Deutschland liegen auch hier die meisten der getesteten Gebäude in den westlichen Bundesländern: Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Hessen und Bayern sowie Baden-Württemberg. Lediglich das Bundesland Bremen ist im Feldtestsample nicht vertreten.

In Bezug auf die durchschnittliche Wohnfläche nach Gebäudetyp lässt sich aus Abbildung 11 feststellen, dass bei den untersuchten Mehrfamilienhäusern (MFH) im Feldtestsample eine mittlere Wohnfläche von knapp 835 Quadratmetern, bei den Einfamilienhäusern (EFH) von knapp 160 Quadratmetern und bei den Zweifamilienhäusern (ZFH) von etwa 200 Quadratmetern vorliegt.



Die durchschnittliche Bewohneranzahl liegt bei rund 18 Bewohnern im Mehrfamilienhaus, drei Bewohnern im Einfamilienhaus und vier Bewohnern im Zweifamilienhaus. Zieht man dazu noch die mittleren Wohnflächen pro Bewohner hinzu, so bewohnt eine Person im Mehrfamilienhaus im Schnitt eine Fläche von 46 Quadratmetern, im Ein- bzw. Zweifamilienhaus etwa 55 Quadratmeter (Abbildung 11).

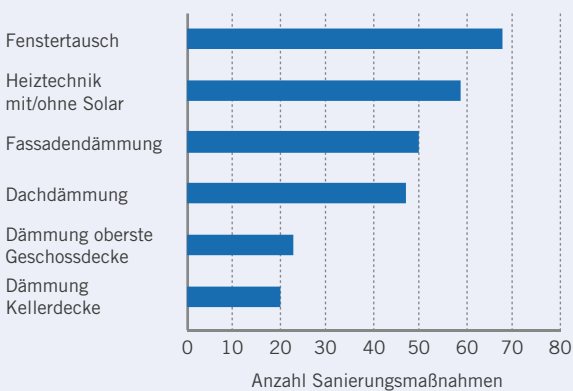


Untersuchte Sanierungsmaßnahmen

An einer Vielzahl der Sanierungstestgebäude wurden im Laufe der Jahre mehrere Maßnahmen teilweise in Kombination durchgeführt. Für den Sanierungstest wurde jeweils nur die letzte Sanierungsmaßnahme bzw. die letzte Maßnahmenkombination untersucht. Lagen zwischen den Maßnahmen weniger als zwei Jahre, wurden diese als Maßnahmenpaket gewertet. Für die untersuchten Maßnahmen wurden Detailangaben analysiert, die Energieberater im Rahmen der Begehungen erhoben haben.

In der Stichprobe „Gebäudehülle“ wurden Maßnahmen im Bereich des Daches bzw. der Geschosdecke, der Fassade, der Kellerdecke bzw. Bodenplatte und der Fenster untersucht. In der Stichprobe „Heiztechnik“ wurden neben den klassischen Kesselaustauschern (mit und ohne hydraulischen Abgleich) auch Wärmepumpen (Fraunhofer ISE) und Kombinationen mit Solarthermie betrachtet. Abbildung 12 zeigt die Anzahl der im Feldtestsamplere vertretenen Sanierungsmaßnahmen.

Abb. 12 Sanierungstest: Untersuchte Sanierungsmaßnahmen



Quelle: eigene Darstellung

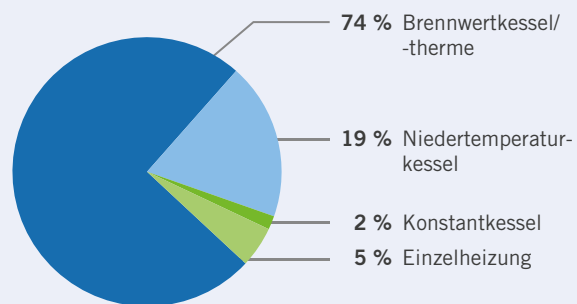
Nachfolgend werden die einzelnen Bereiche „Heiztechnik“ und „Gebäudehülle“ detaillierter betrachtet und die jeweiligen Besonderheiten, die bei der Untersuchung zu Tage traten, dargestellt.

Installierte Heiztechnik

Bei der Heiztechnik ergeben sich für das hier untersuchte Feldtestsamplere folgende Verteilungen der Energieträger und Kesselarten in den Gebäuden:

Der dominierende Energieträger im Feldtest ist eindeutig Erdgas mit einem Anteil von etwa 82 Prozent. Dies liegt nicht zuletzt an der spezifischen Auswahl von messtellentechnisch erfassbaren Energieverbräuchen, aber auch an dem geringen Anteil alter Heizanlagen im Feldtest; fast alle Anlagen wurden nach 1978 installiert. Dies zeigt sich auch in einem hohen Anteil installierter Brennwerttechnik, die in etwa 75 Prozent ausmacht (siehe Abbildung 13). Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt im Großteil der Feldtesthaushalte zentral über den Kessel.

Abb. 13 Sanierungstest: Installierte Heizkesselarten



Quelle: eigene Darstellung

Durch die Datenerhebung bei den Feldtestteilnehmern wurde deutlich, dass viele neben dem primären Heizsystem weitere Wärmeerzeuger wie Solarthermieanlagen oder Zusatzheizungen nutzen. In 19 Prozent der Fälle unterstützt eine Solarthermieanlage zusätzlich die Bereitstellung von Warmwasser. Die durchschnittliche Kollektorfläche liegt dabei zwischen sechs und acht Quadratmetern, unabhängig von der Gebäudegröße.

In Bezug auf die Nutzung sekundärer Heizsysteme, wie Öfen oder Kamine, konnte festgestellt werden, dass knapp die Hälfte der Teilnehmer (46 Prozent) eine Zusatzheizung nutzen. Davon werden 95 Prozent mit Holz befeuert, wobei die durchschnittliche Nutzungsdauer etwa 54 Tage pro Jahr beträgt. Bislang gibt es für das Thema Zusatzheizung keine Datenbasis, um den Einfluss der Nutzung von sekundären Heizsystemen auf den Heizenergieverbrauch in der Bundesrepublik zu untersuchen. Die co2online vorliegenden Daten zeigen jedoch deren starke Verbreitung, insbesondere bei Einfamilienhäusern.

Maßnahmen an der Gebäudehülle

Zu den Maßnahmen an der Gebäudehülle gehören Dämmungen der Außenwand, des Daches bzw. der obersten Geschossdecke (OG) sowie der Kellerdecke. Abbildung 14 zeigt die Anzahl der im Feldtestsample durchgeführten Sanierungen der Gebäudehülle und der Fenster. Zudem ist hier angegeben, in wie vielen Fällen nur eine teilweise Sanierung des Bauteils stattfand. Dies ist bei Maßnahmen an den Fenstern und der Außenwand in der Praxis häufig anzutreffen, was mitunter an den hohen Investitionskosten dieser beiden Maßnahmen liegt. Tabelle 1 gibt für die einzelnen Sanierungsmaßnahmen den durchschnittlichen Umfang der Maßnahmen wieder, das heißt, wie viel Prozent des Bauteils bei Durchführung der Maßnahme gedämmt bzw. erneuert wurden.

Als Dämmmaterialien wurden in der Hauptsache Polystyrol und Mineralfasern sowie an dritter Stelle Zellulose verwendet. Ein Blick auf die durchschnittlich verbauten Dämmstärken für die genannten Maßnahmen macht deutlich, dass bei der Dachdämmung die stärksten Dämmdicken verbaut werden. Welche Restriktionen sich bei Außenwand und Kellerdecke ergeben, wird bei der qualitativen Bewertung der Maßnahmen in Kapitel 3 verdeutlicht.

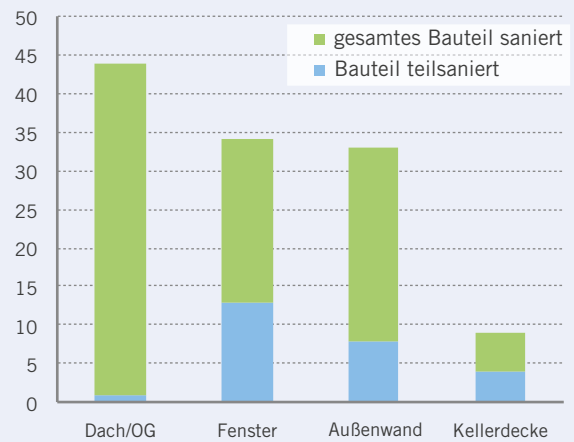
Zwar werden in der Praxis wesentlich häufiger Einzelmaßnahmen an Gebäuden durchgeführt. Dennoch werden speziell bei Dämmmaßnahmen sinnvollerweise Maßnahmen kombiniert (siehe Abbildung 15).

Betrachtet man des Weiteren die bei einer Modernisierung nach 2006 eingebauten Fenster, so zeigt sich eine Dominanz von Dreifachverglasungen (47 Prozent) gefolgt von 45 Prozent Fenstern mit Zweifach-Wärmeschutzverglasung. Fenster mit lediglich einer Isolierverglasung wurden unter anderem aufgrund der gesetzlichen Vorgaben fast nicht mehr verbaut.

Maßnahmenkombinationen

Zu den Maßnahmenkombinationen zählen bei dieser Studie hauptsächlich die Kombination von Maßnahmen an Heiztechnik und Gebäudehülle/Fenstern. Die Kombination mehrerer Dämmmaßnahmen wurde bereits im vorhergehenden Abschnitt dargestellt. Bei den identifizierten 29 Feldtestgebäuden, bei denen Maßnahmen der Heiztechnik mit Maßnahmen an der Gebäudehülle kombiniert wurden, war die Kombination Maßnahmen an der Heiztechnik und Fenstertausch sowie die Kombination mit einer Außenwanddämmung im Feldtestsample am häufigsten anzutreffen.

Abb. 14 Sanierungstest: Anzahl teilweise und voll sanierte Bauteile

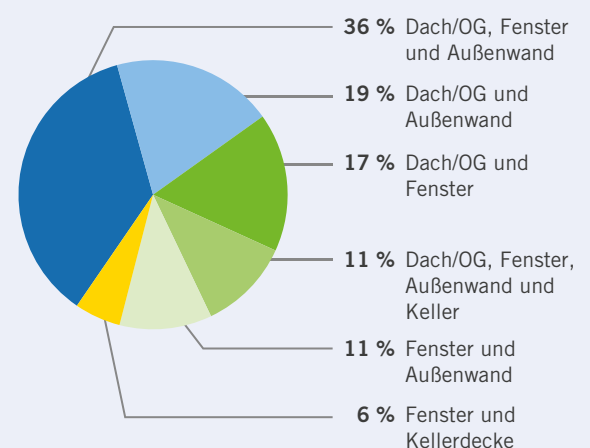


Quelle: eigene Darstellung

Tab. 01 Sanierungstest: Umfang und Dämmstärke der Maßnahmen

Maßnahme	Umfang in Prozent	Dämmstärke in Zentimetern
Dämmung Geschossdecke	98	16,5
Dachdämmung	94	22,3
Fassadendämmung	83	11,5
Dämmung Kellerdecke	71	7,4
Fenstertausch	87	–

Abb. 15 Sanierungstest: Maßnahmenkombinationen an der Gebäudehülle



Quelle: eigene Darstellung



3

3 QUALITATIVE BEWERTUNG

Für die qualitative Bewertung wurden die Maßnahmen zum einen hinsichtlich ihrer Gesetzeskonformität und Einhaltung von Vorschriften und Standards bei der Förderung untersucht. Grundlegend sind dabei die Vorschriften der Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie die Förderrichtlinien der KfW und des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Zum anderen werden typische Mängel und Fehler bei der Umsetzung von Maßnahmen betrachtet und anhand von Beispielen dargestellt.

Einhaltung der EnEV-Vorgaben⁶

Für viele der im Rahmen des Sanierungstests untersuchten Gebäude und durchgeführten Sanierungsmaßnahmen gilt die EnEV. Im Zuge der Untersuchung wurde geprüft, inwieweit bei den Feldtestteilnehmern die Vorgaben eingehalten wurden. Zum einen gibt es Vorgaben, die beim nachträglichen Ersatz von Bauteilen einzuhalten sind, zum anderen Nachrüstungsverpflichtungen. Die Qualität der Maßnahmen wurde geprüft und mit den EnEV-Anforderungen abgeglichen.

Anforderungen laut EnEV

Bei der Sanierung bzw. Änderung von Bauteilen an einem beheizten Gebäude sind bei einer Änderung des Bauteils um mehr als zehn Prozent die Vorschriften des § 9 der EnEV bezüglich maximaler Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils einzuhalten.

Die im Sanierungstest untersuchten Maßnahmen bezogen sich auf einen Zeitraum seit 2006. Demnach sind die Vorschriften der EnEV 2002, 2007 und 2009 sowie 2013 für die Bewertung der EnEV-Einhaltung zu beachten. Diese sind in Tabelle 2 dargestellt. Diese zeigt die Anforderungen beim nachträglichen Ersatz von Bauteilen.

Der besseren Übersicht halber sind nur solche Anforderungen aufgeführt, die die Teilnehmer betreffen. Den Anmerkungen (am Ende der Studie) ist zu entnehmen, dass es diverse Ausnahmen bei den U-Werten gibt, wenn die technische Bauteildicke begrenzt ist, zum Beispiel bei zweischaligem Mauerwerk. In diesem Fall muss der existierende Zwischenraum nur vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt werden und es müssen Anforderungen an die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs erfüllt werden.

Die für Wohngebäude bestehenden Nachrüstungsverpflichtungen beziehen sich zum einen auf die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke und zum anderen auf die Außerbetriebnahme von Standard-Heizkesseln (siehe Tabelle 3). Diese Außerbetriebnahme-Verpflichtung gilt nicht für Niedertemperatur- und Brennwertkessel. Weiterhin besteht die Pflicht, nachträglich Verteilungen im unbeheizten Bereich zu dämmen. Alle drei Anforderungen sind bei Ein- und Zweifamilienhäusern innerhalb von zwei Jahren nach einem Eigentumsübergang verpflichtend. Aus dem Feldtestsamplum betrifft dies also nur Ein- und Zweifamilienhäuser, bei denen nach dem 01.02.2002 der Eigentümer gewechselt hat, sowie alle Mehrfamilienhäuser.

Tab. 02 EnEV: Anforderungen an den Wärmeschutz bei Ersatz/Einbau von Bauteilen

Anforderungen EnEV	mind. einzuhaltender U-Wert in W/(m ² K)			
	EnEV 2002	EnEV 2007	EnEV 2009	EnEV 2013
Dämmung Fassade ⁷	0,35	0,35	0,24	0,24
(Innendämmung)	(0,45)	(0,45)	(0,35)	–
Fenster	1,7	1,7	1,3	1,3
Dachfenster	1,7	1,7	1,4	1,4
Verglasungen ⁸	1,5	1,5	1,1	1,1
Außentüren	–	2,9	2,9	1,8
Dach ⁹	0,3	0,3	0,24	0,24
(Flachdach)	(0,25)	(0,25)	(0,2)	(0,2)
oberste Geschossdecke	0,3	0,3	0,24	0,24
Kellerdecke	0,5	0,5	0,3	0,3
(Fußbodenaufbauten) ¹⁰	(0,5)	(0,5)	(0,5)	(0,5)

Tab. 03 EnEV: Nachrüstverpflichtungen bei Anlagen und Gebäuden

Anforderungen EnEV ¹¹	EnEV 2002	EnEV 2007	EnEV 2009	EnEV 2013
Dämmung der obersten Geschossdecke	nicht gedämmte Decken nicht begehbar, aber zugänglich mindestens einzuhaltenender U-Wert 0,30 W/(m ² K)	Fortführung	Fortführung, auch anzuwenden auf begehbare Decken, alternativ Dachdämmung möglich mind. einzuhaltenender U-Wert 0,24 W/(m ² K)	Fortführung, anzuwenden auf zugängliche Decken, die nicht Mindestwärmeschutz unterliegen
Außerbetriebnahme von Standard-Heizkesseln	vor 01.10.1978 eingebaut	Fortführung	Fortführung	vor 01.01.1985 eingebaut, umzusetzen bis 01.01.2015 für alle nach 01.01.1985 eingebauten Kessel – maximale Betriebszeit: 30 Jahre
Begrenzung der Wärmeverluste von Rohrleitungen und Armaturen (im unbeheizten Bereich)	bis 31.12.2006	Fortführung	Fortführung	Fortführung

EnEV-Einhaltung im Feldtest

Mit dem Feldtest wurden der wärmetechnische Standard (U-Wert) vor und nach der Sanierung durch einen Energieberater sowie das Maßnahmenjahr der Verbesserung erhoben. Durch einen Vergleich mit den in Tabelle 2 erfassten Vorgaben kann der wärmetechnische Zustand nach der Sanierung mit den Anforderungen der EnEV abgeglichen werden. Damit können Aussagen zur EnEV-Einhaltung gemacht werden.

Diese Aussagen werden eingeschränkt durch die Ausnahmen, die die EnEV bei der zur Verfügung stehenden maximalen technischen Bauteildicke zulässt. Um diese Ausnahmen bei der Bewertung zu berücksichtigen, wurde zwischen „EnEV eingehalten“, „EnEV nicht eingehalten“ und „EnEV-Tabellenwert nicht eingehalten“ differenziert (siehe Tabelle 4):

- „EnEV eingehalten“ steht für jene Fälle, in denen der jeweilige Tabellenwert eingehalten wurde bzw. aus der Maßnahmenbeschreibung eindeutig hervorging, dass Ausnahmen zur maximalen Bauteildicke greifen (zum Beispiel Kerndämmung Fassade, Ersatz Verglasung).
- „EnEV nicht eingehalten“ umfasst jene Fälle, aus deren U-Werten, Dämmstoffdicken sowie Maßnahmenbeschreibungen zweifelsfrei hervorgeht, dass die Anforderungen nicht eingehalten wurden.
- „EnEV-Tabellenwert nicht eingehalten“ stellt jene Maßnahmen dar, wo es möglich erscheint, dass Ausnahmen bezüglich der maximalen Bauteildicke greifen.

Insgesamt zeigt die Auswertung, dass die EnEV bei den untersuchten Maßnahmen zu 91 Prozent eingehalten und zu sechs Prozent nicht eingehalten wurde. Bei weiteren drei Prozent wurde der Tabellenwert nicht eingehalten. Es ist aber möglich, dass hier Ausnahmen greifen.

Tab. 04 Sanierungstest: EnEV-Einhaltung bei nachträglicher Dämmung

Maßnahme	gesamt	EnEV eingehalten	EnEV nicht eingehalten	EnEV-Tabellenwert nicht eingehalten
Fassade	54	47	4	3
Fenster/Türen/Verglasungen	65	61	2	2
Dach/oberste Geschossdecke	55	53	2	0
Keller/Fußboden	18	13	4	1
Summe	192	174	12	6
Anteil Prozent	100	91	6	3

Dämmängel und -restriktionen

Wie im vorhergehenden Abschnitt dargestellt werden bei nachträglichen Verbesserungen des Wärmeschutzes von Bauteilen die Anforderungen der EnEV an den U-Wert unter Berücksichtigung der zulässigen Ausnahmen bei begrenzten Bauteildicken in der Regel eingehalten. Im Folgenden sollen typische „Dämmängel“ dargestellt werden, die bei der Begutachtung der Gebäude aufgefallen sind, wie beispielsweise Wärmebrücken. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Wärmebrücken oft bewusst in Kauf genommen werden, weil die konsequente Vermeidung in vielen Fällen mit erheblichen Zusatzkosten verbunden wäre.

Abbildung 16 zeigt zwei Fälle von Fassadendämmung, bei denen der Sockelbereich nicht gedämmt wurde. Eigentlich ist die Dämmung mindestens 50 Zentimeter über den Fußboden hinaus in den Sockelbereich zu führen. Im Beispiel mit verklindertem Sockel ist erkennbar, dass bei konsequenter Ausführung die Dämmung in den Erdbereich

reichen müsste. Im Fall des Natursteinsockels (rechtes Foto) ist verständlich, dass dieser aus ästhetischen Gründen erhalten werden sollte.

Mit viel Aufwand und Kosten verbunden ist auch die richtige, wärmebrückenarme Ausführung von Balkonen (siehe Abbildung 17 links): Auskragende Bauteile wie Balkone müssten mitgedämmt werden.

Auch der Anschluss von unbeheizten Gebäuden (siehe Abbildung 17 rechts) stellt eine Wärmebrücke dar, die in der Regel nicht konsequent behandelt wird. Im abgebildeten Fall hätte die Garagenwand mitgedämmt werden müssen.

Abb. 16 Sanierungstest: Wärmebrücke an Fassade und Sockel



Abb. 17 Sanierungstest: Wärmebrücke am Balkon und beim Gebäudeanschluss



Schwierigkeiten gibt es auch bei der nachträglichen Dämmung von Kellerdecken. Sehr oft sind die Kellerdecken uneben oder es sind Rohrleitungen daran befestigt (siehe Abbildung 18 rechts oben). Für eine optimale Dämmung hätte man hier die Leitungen verlegen müssen, was die Kosten erhöht hätte bzw. wegen der Raumhöhe nicht möglich gewesen wäre.

Insbesondere bei der Dämmung in Eigenregie kommt es öfter zu Mängeln bei der Ausführung.

Keinen Mangel stellen Fälle dar, bei denen der Ausgangszustand vor der Verbesserung bereits gut bzw. deutlich besser war, als für die Baualtersklasse anzunehmen war (siehe Abbildung 18 links oben: Gebäude mit Baujahr 1936, U-Wert vor der Verbesserung: 0,45). Große Einsparungen sind in solchen Fällen nicht zu erwarten.

Zuletzt soll noch ein Thema angesprochen werden, das ebenfalls keinen Mangel betrifft, aber in der Praxis häufig vorkommt: Bauteile werden nur teilweise (siehe Abbildung 18 unten) bzw. etappenweise gedämmt oder erneuert. Manchmal spielen hierbei Budgetrestriktionen der Eigentümer eine Rolle, oft erfolgt die Sanierung auch abschnittsweise. Sehr häufig werden Fenster nur teilweise bzw. etappenweise erneuert. Bei denkmalgeschützten Gebäuden, wie in Abbildung 18 unten, ist eine Dämmung nicht grundsätzlich vorgeschrieben, daher wurde nur ein Zehntel der Fassade gedämmt, und zwar in einem Bereich, bei dem Feuchteschäden auftraten. Eine sinnvolle Bewertung der Einsparung war hier nicht möglich.

Abb. 18 Sanierungstest: Dachdämmung am Gebäude mit Baujahr 1936 (o. l.), Probleme bei der Dämmung der Kellerdecke (o. r.), Gebäude mit teilweiser Fassadendämmung (u.)



Austauschpflicht für Heizkessel

In § 10 gibt die EnEV eine Erneuerungspflicht von Standard-Heizkesseln vor, die vor dem 01.01.1985 eingebaut wurden. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern ist diese Erneuerungspflicht ebenfalls an den Eigentumsübergang geknüpft. Bezüglich der Austauschpflicht für Heizkessel mit einem Baujahr vor 1978 laut EnEV 2002–2009 konnte im Feldtestsample kein Verstoß festgestellt werden. Auch die seit 2014 geltende Neuregelung mit einer Austauschpflicht für Kessel mit einem Baujahr vor 1985 wird bis auf eine Ausnahme bei allen Feldtestteilnehmern eingehalten. Im Teil des Samples mit den 70 Dämmmaßnahmen (bei den anderen Fällen ist die Heizung erneuert worden) sind derzeit insgesamt nur drei Heizkessel mit Baujahren vor 1985 installiert. Davon sind zwei Heizkessel Niedertemperaturkessel und nur einer ein Standard-Heizkessel. Auf diesen trifft die Erneuerungspflicht, wie oben dargestellt, nicht zu. Die EnEV wird also für den hier untersuchten Bestand eingehalten.

Falsche Dimensionierung von Heizkesseln

In Abbildung 19 wird die Dimensionierungspraxis von Heizkesseln bei deren Erneuerung aufgezeigt. Die Basis für diese Untersuchung bildeten die bei der Begehung aufgenommenen Kesseldaten und, sofern vorliegend, die Abgasmessprotokolle von Schornsteinfegeern.

Die Auswertung bezieht sich auf die angegebene Nennwärmeleistung der installierten Kessel. Dabei blieb unberücksichtigt, in welchem Leistungsbereich die Kessel infolge einer vorhandenen Modulation tatsächlich arbeiten. Dargestellt wird auch die Heizlast des Gebäudes für Raumheizung und Trinkwarmwasser, wie sie sich aus der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) ergibt. Insgesamt lagen für 52 Heizanlagen Daten nach der Erneuerung vor; für 34 Heizanlagen auch Daten des alten Kessels.

Für 38 Gebäude konnte die aktuelle Heizlast mithilfe von über die Außentemperatur korrelierten unterjährigen Verbrauchswerten ermittelt werden.

Insgesamt sank im untersuchten Feldtestsample die Nennwärmeleistung infolge des Kesseltauschs. Der Mittelwert der Nennwärmeleistung vor der Modernisierung betrug 141 W/m^2 Wohnfläche. Nach der Modernisierung beträgt er 128 W/m^2 . Damit sank die spezifische Nennwärmeleistung durch knappere Dimensionierung um neun Prozent.

Schaut man sich die Verteilung der spezifischen Nennwärmeleistungen vor und nach der Kesselerneuerung an (Abbildung 19), wird sichtbar, dass in diesem Zusammenhang auch der Anteil der Kessel, bei denen die spezifische Nennwärmeleistung mehr als 130 W/m^2 beträgt, sank.

Abb. 19 Sanierungstest: Verteilung der Dimensionierung und Heizlast von Heizkesseln

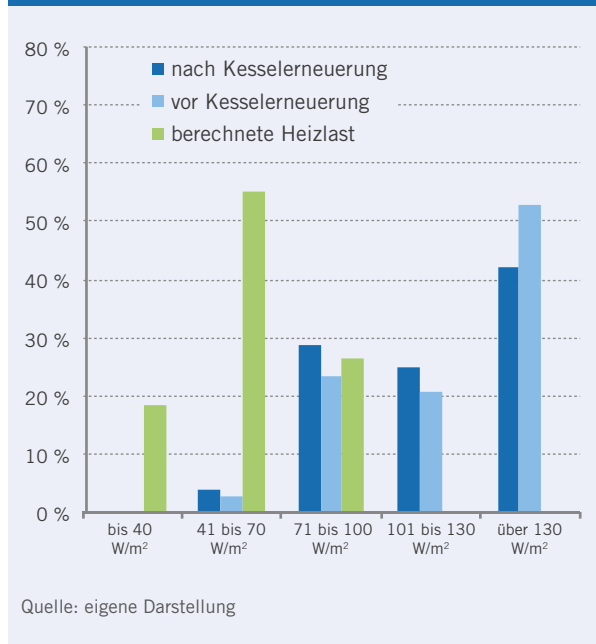


Abbildung 19 zeigt ebenfalls die Verteilung der näherungsweise durch die EAV ermittelten Heizlast für die hier untersuchten Feldtestgebäude. Es ist erkennbar, dass es keine Gebäude gibt, deren Heizlast mehr als 100 W/m^2 Wohnfläche beträgt. Die mittlere Heizlast liegt zwischen 40 und 70 W/m^2 .

Es wird deutlich, dass die installierte Leistung in fast allen Fällen über der tatsächlichen Heizlast der Gebäude liegt. Beim untersuchten Sample handelt es sich überwiegend um Ein- und Zweifamilienhäuser. In diesen spielt unter Komfortgesichtspunkten auch der Leistungsbedarf für die Trinkwarmwasserbereitung eine Rolle. In den meisten Fällen dürfte die Warmwassernutzung jedoch keine extremen Spitzen aufweisen, die Leistungszuschläge auf die Heizlast von mehr als zwei Kilowatt je Gebäude rechtfertigen würden. Spezifische Nennwärmeleistungen größer 130 W/m^2 dürften daher nicht notwendig sein. In einzelnen wenigen Fällen erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung im Durchlauf-Prinzip. In diesen Fällen ist nach dem Warmwasserbedarf einer Zapfstelle (18 – 24 kW) zu dimensionieren und demnach wären Werte auch über 130 W/m^2 zu erwarten.

Nach der vorherrschenden Technikauffassung hat die Überdimensionierung von modernen Niedertemperatur- und Brennwertkesseln keinen Einfluss auf den Nutzungsgrad. Diese sind in der Regel mit modulierenden Brennern ausgestattet, die die Leistungsanforderung jeweils auf den Bedarf reduzieren. Untersuchungen zum Heizungs-EKG zeigen jedoch auch bei neuen Heizkesseln zu häufige Ein- und Ausschaltvorgänge¹². Dies dürfte auch

den Nutzungsgrad negativ beeinflussen. Das Ergebnis der Auswertung zeigt, dass einer korrekten Dimensionierung wieder mehr Aufmerksamkeit zu schenken ist.¹³ Die Sanierungstestteilnehmer erhielten im Rahmen dieses Projekts Empfehlungen zur Anpassung ihres Heizkessels an die tatsächlich benötigte Heizlast.

Nachträgliche Dämmung von Verteilleitungen und Armaturen

Bei der Auswertung fiel auf, dass auf vielen Fotos die Dämmung von Verteilleitungen und Armaturen im unbeheizten Bereich zu wünschen übrig lässt (siehe Abbildung 20). Die Analyse der Begehungsprotokolle bestätigte diese Vermutung. Bei der überwiegenden Zahl der untersuchten Gebäude handelt es sich um Ein- und Zweifamilienhäuser, bei denen die Verpflichtung zur Nachdämmung der Leitungen und Armaturen erst bei einem Eigentümerwechsel greift (siehe Tabelle 4). Entsprechend wird hier nicht gegen die EnEV verstoßen. Trotzdem macht die Auswertung der Einzelempfehlungen bei den Feldtestfällen „Gebäudehülle“ und „Kombinationen“ deutlich, wie groß das Problem ist: In 42 Prozent der Fälle wird eine Nachdämmung von Verteilleitungen oder Armaturen empfohlen.

Bei einer Verbesserung oder Erstaussführung einer Rohrdämmung ist die EnEV in jedem Fall einzuhalten. Mit dem Feldtest wurde bei der Begehung der Zustand der Verteilleitungen für Raumheizung und Trinkwarmwasser im unbeheizten Bereich erhoben.

Soweit diese seit 2006 verbessert wurden, sind zusätzlich die Dämmstoffdicke der verbesserten Leitungen und die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials erfasst worden. Die EnEV gibt für den dünnsten Rohrquerschnitt eine Dämmstärke von 20 Millimetern (mm) bei einer Wärmeleitfähigkeit von 035 vor. Soweit diese Parameter nicht eingehalten werden, ist von einer Nichteinhaltung der EnEV auszugehen.

Abb. 20 Sanierungstest: Fehlende Dämmung von Armaturen



Insgesamt wurde bei 30 Prozent der nachgedämmten Leitungen und Armaturen die vorgeschriebene Mindestdämmstoffdicke nicht eingehalten. Ursache hierfür könnte die Nutzung von vorwiegend in Baumärkten angebotener Rohrdämmung „1/2 EnEV“ sein, die jedoch nur für Wand- und Deckendurchbrüche zugelassen ist.

Energieberatung und geförderte Sanierungsmaßnahmen

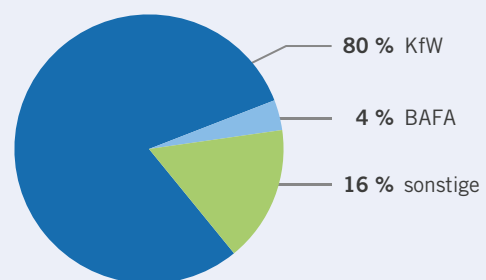
Zur Energieberatung vor Umsetzung der Maßnahme zeigt sich, dass nur ein Drittel der Haushalte diese genutzt hat. Mit Blick auf die in Deutschland vorherrschende Förderlandschaft für energetische Sanierungen von Gebäuden wurde auch im Sanierungstest die Inanspruchnahme solcher Fördermittel untersucht.

Im Feldtestsamplie nutzten knapp 40 Prozent eine finanzielle Förderung für die umgesetzten Sanierungsmaßnahmen. Welche Fördertöpfe dabei angezapft wurden, zeigt Abbildung 21.

Demnach wurde am häufigsten die Förderung der KfW in Anspruch genommen. Für geförderte Maßnahmen sind ebenfalls Vorschriften bei der Durchführung einzuhalten. Eine aus Sicht des Projektteams wichtige Anforderung ist die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs bei Umsetzung eines Kesseltauschs und bei Maßnahmen an der Gebäudehülle.

Für das gesamte Feldtestsamplie ergab sich, dass rund ein Drittel der teilnehmenden Haushalte die Heizanlage hydraulisch abgleichen ließ. Bei den Haushalten, die ihre Heizanlage erneuern ließen, waren es immerhin 40 Prozent. Bei den geförderten Maßnahmen waren es knapp 70 Prozent.

Abb. 21 Sanierungstest: Fördertöpfe für Sanierungsmaßnahmen



Quelle: eigene Darstellung



4

4 QUANTITATIVE BEWERTUNG

Das Herzstück des Sanierungstests bildet die quantitative Auswertung der ausgewählten Objekte, die analysiert und hinsichtlich der energetischen Qualität erfolgter Sanierungsmaßnahmen validiert wurden. Alle vorliegenden Gebäude wurden dazu den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen entsprechend in drei Kategorien eingeteilt:

- Maßnahmen an der Heiztechnik mit/ohne Solar
- Maßnahmen an Gebäudehülle und Fenstern
- Kombinationen Heiztechnik und Dämmung

Für alle Auswertungsmöglichkeiten werden in Tabelle 5 die Fallzahlen aus dem Feldtestsample angegeben. Es wurden darüber hinaus fünf Sonderfälle identifiziert, die keiner der genannten Kategorien zugeordnet werden konnten und deshalb nicht bewertet wurden. Hinzu kommen noch acht Wärmepumpenfälle, die von Fraunhofer ISE untersucht wurden. Die Ergebnisse dieses Samples sind in Kapitel 6 zu finden. Nachfolgend werden die Methoden erläutert, mit denen die Daten der Feldtestteilnehmer sowie weiterer Gebäude aus der co2online-Energiespar-konto-Datenbank quantitativ ausgewertet wurden.

Tab. 05 Sanierungstest: Kategorien und Anzahl der untersuchten Maßnahmen

	Heiztechnik mit/ohne Solar	Gebäudehülle und Fenster	Kombination Heiztechnik und Dämmung
Feldtestteilnehmer	45	60	26
davon zum Zeitpunkt der Berichterstellung auswertbar ¹⁴	30	35	19

Es gibt drei Auswertungsmethoden, die sich nach der vorhandenen Datentiefe der Verbrauchsdaten richten:

- Vergleich der Jahresverbräuche vor und nach einer Sanierungsmaßnahme – einfache Wirkungsanalyse
- vertiefte Analyse der Verbrauchsanteile Heizung und Warmwasser vorher und nachher – Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV)
- zusätzliche Messung der Kesseffizienz und Kesselverluste, insbesondere nach Sanierung mit Wärmemengenzähler – Input-Output-Analyse¹⁵

Einfache Wirkungsanalyse

Jahresverbrauchswerte aus Heizkostenabrechnungen ermöglichen eine erste Gesamtbewertung von Gebäuden. Für die einfache Wirkungsanalyse werden diese Jahresverbräuche aus Abrechnungen bzw. aus Zählerständen für einen Zeitraum von mindestens 36 Monaten/drei Jahren rund um die zu untersuchende Sanierungsmaßnahme benötigt. Der Jahresverbrauch für das Jahr, in dem die Sanierung stattfand, bleibt dabei unberücksichtigt. Zwischen den Maßnahmen müssen dabei mindestens zwei Jahre liegen, um dieses Verfahren für Einzelmaßnahmen anwenden zu können.

Werden Maßnahmen in aufeinanderfolgenden Jahren durchgeführt, werden diese als Maßnahmenkombinationen definiert. Das heißt im Umkehrschluss, dass die mithilfe der einfachen Wirkungsanalyse berechnete Sanierungswirkung auch nur für die Maßnahmenkombination gilt. Eine Ableitung auf die Wirkung der Einzelmaßnahmen ist dann nicht möglich. Die Einsparung ergibt sich aus der Differenz der Verbräuche vor und nach der Modernisierung.

Mit einem von der SEnerCon GmbH entwickelten Wirkungsanalysetool, welches Daten aus dem Energiespar-konto direkt zusammenstellen kann, wurden erste Auswertungen zur Sanierungsmaßnahme Heizkesseltausch durchgeführt. Auswertbar waren zum Beispiel 175 Datensätze zur Einzelmaßnahme Heizkesseltausch mit plausiblen Verbräuchen vor und nach Modernisierung. Im Tool selbst ist neben der zu analysierenden Sanierungsmaßnahme auch der Zeitraum auszuwählen, in dem Maßnahmen durchgeführt wurden.

Die Ergebnistabelle aus dem Wirkungsanalysetool enthält alle Fälle, bei denen plausible Werte für die Berechnung der Einsparwirkung vorliegen.

Die Daten können in jeder beliebigen Tabellenkalkulation weiterbearbeitet und ausgewertet werden. Für die Berechnung der Wirksamkeit einer Sanierungsmaßnahme sind demnach folgende Eingangsparameter notwendig:

- Heizenergieverbrauch vorher in kWh
- berechneter Energieverbrauchskennwert (EVKW) vorher in kWh/m²_[AN]a
- Heizenergieverbrauch nachher in kWh
- berechneter EVKW nachher in kWh/m²_[AN]a

Berechnet werden daraus

- die Differenz der Heizenergieverbräuche in kWh/m²_[AN]a und in Prozent sowie
- die durchschnittlichen Einsparungen.

Wenn möglich werden relevante Änderungen des Nutzerverhaltens und sonstiger Maßnahmen im Vorfeld ausgeschlossen. Die Interpretation der Auswertungen kann mit Fehlertermen behaftet sein und ist dementsprechend nur als erste grobe Abschätzung der Sanierungswirkung zu sehen.

Energieanalyse aus dem Verbrauch

Eine Evaluation der Sanierungswirkung von Modernisierungsmaßnahmen lässt sich allein auf Basis von Jahresabrechnungen der eingesetzten Endenergie nur grob abschätzen. Bereits eine unterjährige monatliche oder wöchentliche Erfassung der eingesetzten Endenergie (abgelesen zum Beispiel am Gaszähler) gestattet durch Aufteilung der Verbrauchswerte in Sommersockel und Heizperiode eine getrennte Bewertung des Nutzens für Trinkwarmwasser und des Nutzens für Heizung.

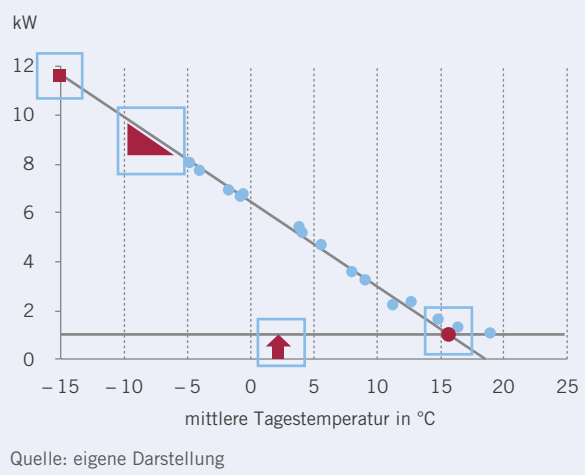
Das von Dr.-Ing. Kati Jagnow von der Hochschule Magdeburg und Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff von der EOS Ostfalia beschriebene Verfahren zur Energieanalyse aus dem Verbrauch, kurz EAV, ermöglicht die wärmetechnische Analyse eines Gebäudes oder Haushalts, sofern hinreichend viele Informationen über den Heizenergieverbrauch in ausreichend kurzen Zeitintervallen vorliegen. Es ist prinzipiell für die Analyse des Verbrauchs aller Heizmedien anwendbar, für die regelmäßige unterjährige Verbrauchsmessungen durchgeführt werden können.

Bei der EAV wird der in mehreren Zeitintervallen gemessene Heizenergieverbrauch in die mittlere Leistung dieser Intervalle Q_E (Endenergie) in kW umgerechnet und der durchschnittlichen Außentemperatur des Ortes t_A in Grad Celsius zugeordnet. Das Verfahren soll dazu dienen,

1. statistisch die Heizlast eines Gebäudes,
2. den witterungsunabhängigen Verbrauchsanteil,
3. die Heizgrenze,
4. die Steigung der Heizgeraden sowie
5. den Erfolg von energetischen Sanierungsmaßnahmen zu bewerten.

Die Abbildung 22 zeigt das Ergebnis einer EAV-Auswertung anhand von Verbrauchsdatenpunkten (blaue Punkte).

Abb. 22 Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV): exemplarische Darstellung



Die roten Symbole markieren die wesentlichen Ergebnisse der EAV:

1. roter Punkt: Heizgrenztemperatur
2. roter Pfeil: Sockelleistung durch Trinkwarmwasserbereitung und sommerliche Heizlast
3. rotes Dreieck: Steigung der Heizgeraden H
4. rotes Viereck: maximale Heizlast

Um einen eventuellen Energiemehrverbrauch durch Verschwendung in der Übergangszeit (Lüftungsverluste und Ähnliches) zu quantifizieren, werden zur Erzeugung der Regressionsgeraden und damit zur Erzeugung einer witterungsabhängigen Leistung/Steigung H ausschließlich „Winterpunkte“, also Messpunkte unterhalb einer Außentemperatur von 6 Grad Celsius, ausgewertet. Hier kann davon ausgegangen werden, dass ein verschwenderisches Lüftungsverhalten ausgeschlossen werden kann. Die außentemperaturunabhängige Grundlast zur Bereitstellung von Warmwasser wird dementsprechend aus reinen „Sommerpunkten“ ermittelt, also aus denjenigen Messwerten, welche mit einer Außentemperatur größer 19 Grad Celsius (oder bei ungewünschter Sommerheizung sogar höher) einhergehen.

Die Steigung H der Regressionsgeraden wird multipliziert mit den Heizgradtagen bei 15 Grad Celsius Heizgrenztemperatur für den jeweiligen Standort. Dies ergibt den Anteil für Raumwärme. Ergänzt wird der Anteil für Trinkwarmwasser und Verluste durch Bildung des Produkts aus Grundlast und den Stunden des jeweils genutzten Betrachtungszeitraums. Hierdurch liefert die Summe beider Anteile für Raumwärme und Trinkwarmwasser inklusive Verluste einen theoretischen Wärmeverbrauch und damit ein „Best-Case-Szenario“ des jeweiligen Gebäudes.

Damit der so berechnete Wärmeverbrauch mit dem real gemessenen Wärmeverbrauch zu Kontrollzwecken verglichen werden kann, muss die Witterung des Messzeitraums

explizit berücksichtigt werden. Die anzusetzenden Heizgradtage richten sich dabei nach dem Zeitraum, für welchen eine Aussage getroffen oder ein Vergleich angestellt werden soll. Folglich werden die Heizgradtage des Messzeitraums genutzt, für den Wärmeverbrauchsdaten vorliegen. Ein weiteres Ergebnis der EAV ist die Grundlast und maximale Heizlast in kW.

Wird nun eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt, ändern sich die EAV-Ergebnisse. Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle führen zum Beispiel zu einer Verschiebung und/oder Drehung der Heizgeraden nach unten. Daraus ergibt sich eine veränderte Heizgrenztemperatur und eine neue maximale Heizlast des Heizkessels. Bei Optimierung der Heizanlage mit hydraulischem Abgleich und auf den Bedarf angepasster Einstellung der Regelungsparameter, zu denen auch die Thermostatventile zählen, ändern sich alle vier EAV-Werte leicht nach unten.

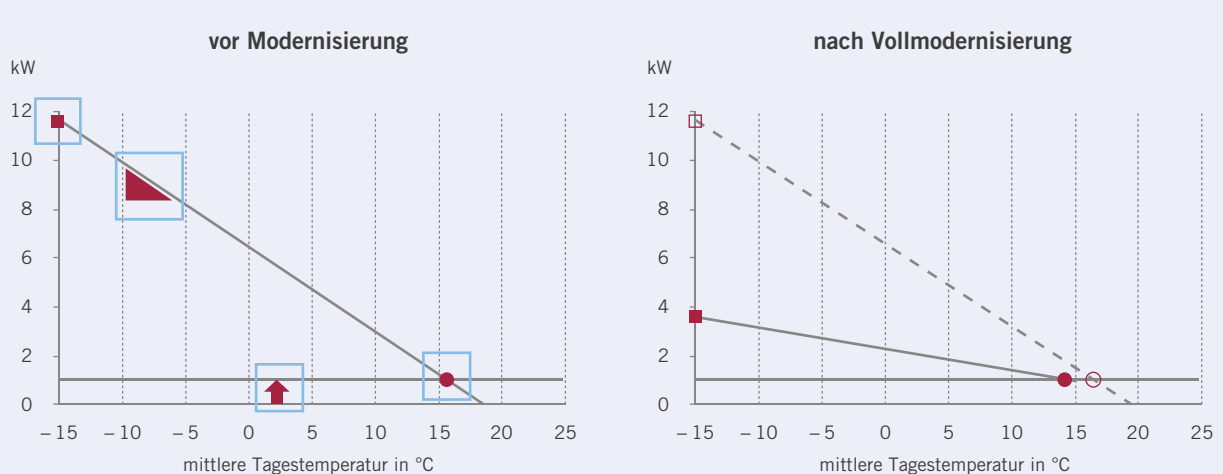
In den folgenden Abbildungen 23 und 24 sind die Änderungen in einer EAV für zwei Beispiele exemplarisch dargestellt. Im ersten Fall sieht man den Effekt einer Vollsanierung der Fassade inklusive Fenstererneuerung von Altbau- auf Neubauniveau. Die Parameter der EAV ändern sich danach wie folgt:

- Steigung nur noch ein Drittel des alten Wertes,
- Heizgrenze sinkt um ein bis zwei Grad Celsius.

Im zweiten Beispiel wurde ein hydraulischer Abgleich durchgeführt, der die EAV-Parameter ebenfalls ändert:

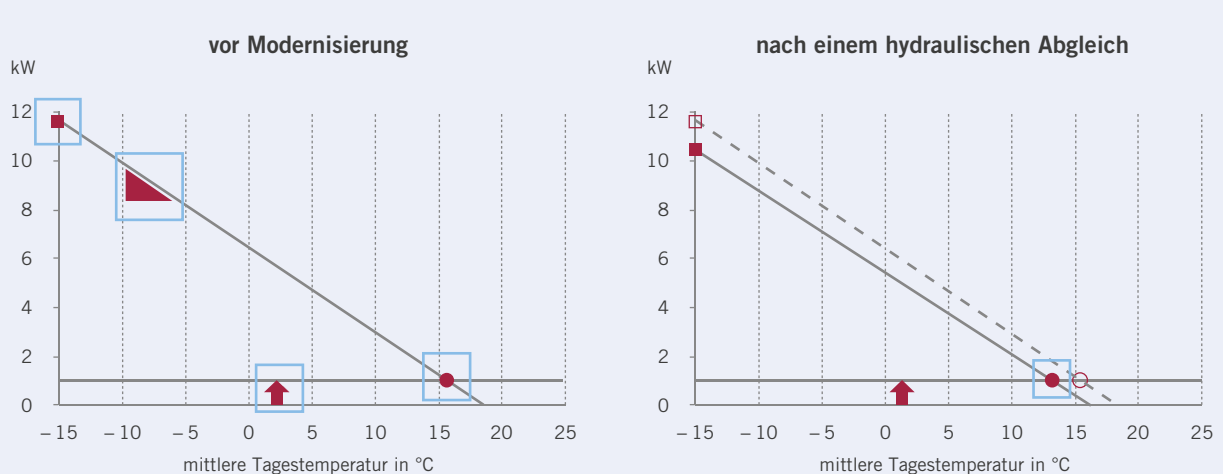
- Steigung minus fünf Prozent,
- Heizgrenze sinkt um ein halbes bis ein Grad Celsius,
- Heizgerade um zehn Prozent nach unten verschoben.

Abb. 23 Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV): Beispiel vor und nach Vollsanierung



Quelle: eigene Darstellung

Abb. 24 Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV): Beispiel vor und nach hydraulischem Abgleich



Quelle: eigene Darstellung

Die Steigung H und die Grundlast werden idealerweise sowohl vor als auch nach der Maßnahme bestimmt. Sowohl die Steigung H als auch die Grundlast können verglichen werden und liefern erste Werte für das Einsparpotenzial.

Bei zentraler Trinkwarmwasserbereitung liegt der Vorteil in der genauen Ermittlung des Warmwasser- und Sommerverbrauchssockels und des reinen Heizungsverbrauchs im Winter, so dass eine Bewertung der Sanierungsmaßnahme auf beide Verbrauchsanteile möglich wird.

Der Vergleich beider Werte ermöglicht dann eine Aussage zur erzielten Energieeinsparung und kann unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten zur Bewertung der Sanierungsqualität herangezogen werden. Da durch die EAV eine Aufteilung in Grundlast und witterungsabhängigen Verbrauch erfolgt, können auch Erkenntnisse gewonnen werden, in welchem Bereich (witterungsabhängig bzw. witterungsunabhängig) sich die jeweiligen Maßnahmen am stärksten ausgewirkt haben.

Ergebnisse im Detail

Von den knapp 150 Feldtestgebäuden konnten insgesamt 86 Gebäude und die Sanierungsmaßnahmen, die an den Gebäuden nach 2006 durchgeführt wurden, zum Zeitpunkt der Berichterstellung quantitativ mithilfe mindestens der einfachen Wirkungsanalyse bewertet werden. In drei dieser Fälle sind Wärmepumpen installiert. Diese wurden von Fraunhofer ISE ausgewertet und sind in einem gesonderten Kapitel dargestellt. Für die 83 restlichen Gebäude ergaben sich die in Tabelle 6 aufgezeigten durchschnittlichen Einsparungen in Abhängigkeit vom Gebäudealter. Dabei wurde zunächst nicht nach Art der Sanierungsmaßnahme unterschieden.

Tab. 06 Sanierungstest: Mittlere Einsparungen nach Gebäudealter

	mittlerer EVKW vorher	mittlerer EVKW nachher	mittlere Einsparung
Einheit	kWh/m ² a	kWh/m ² a	Prozent
vor 1978	136	93	-32 %
1978-1994	134	89	-33 %
ab 1995	108	83	-23 %
gesamt	133	91	-32 %

Demnach wurde im Schnitt ein Drittel des Heizenergieverbrauchs durch Sanierungsmaßnahmen an den Gebäuden im Sanierungstest eingespart.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einfachen Wirkungsanalyse und – wo die Datentiefe dies zuließ – auch der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) für die einzelnen Subsample Heiztechnik mit/ohne Solar, Gebäudehülle und Fenster sowie für Maßnahmenkombinationen Heiztechnik und Dämmung dargestellt.

Heiztechnik mit/ohne Solar

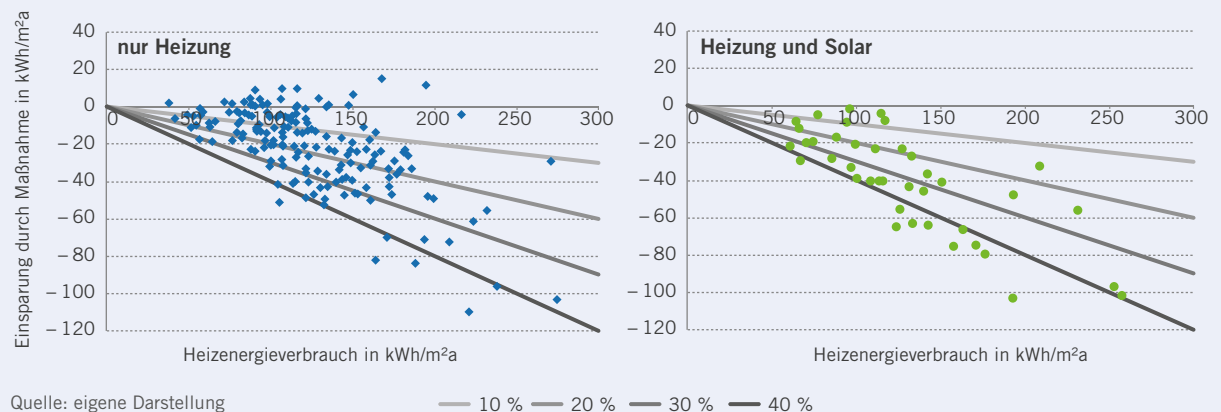
Zunächst wurden im Rahmen der einfachen Wirkungsanalyse die Auswertungen aller Energiesparkonto-Nutzer aktualisiert. Zur Darstellung der Ergebnisse wurden die berechneten Einsparungen aus Jahresabrechnungen bzw. -verbräuchen in Bezug zum Heizenergieverbrauch vor der Sanierungsmaßnahme gesetzt. Für alle einbezogenen Fälle ergeben sich Punktwolken, die mithilfe einer einfachen linearen prozentualen Aufteilung von 10 Prozent bis 40 Prozent Einsparung bewertet werden können (siehe Abbildung 25). Ein Gebäude mit mittlerem Verbrauch erreicht in der Praxis eine durchschnittliche Einsparung zwischen 18 und 25 kWh/m²_[AN]a (mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit). Prozentual ergibt sich für den reinen Heizkesseltausch laut der 175 Haushalte aus dem Energiesparkonto eine mittlere Einsparung von 15 Prozent.

Für die Maßnahme Heizung mit Solar konnten im Energiesparkonto 41 Haushalte ermittelt werden. Für ein Gebäude mit mittlerem Verbrauch ergeben sich durchschnittliche Einsparungen zwischen 33 und 55 kWh/m²_[AN]a, ebenfalls mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit. Das entspricht einer Einsparung von im Schnitt 30 Prozent.

Da nicht vollständig sicher ist, dass die im Energiesparkonto analysierten Haushalte alle Angaben korrekt hinterlegt und alle am Gebäude durchgeführten Maßnahmen eingetragen haben, sind diese Ergebnisse lediglich als erste Abschätzung der realen Einsparungen durch den Kesseltausch zu interpretieren.

Die Fälle aus dem Sanierungstest wurden jeweils einzeln ausgewertet. Tabelle 7 fasst die Ergebnisse der ausgewerteten Feldtestgebäude für die Maßnahmen Heiztechnik und Heiztechnik mit Solar zusammen. Von den im Feldtest analysierten 40 Gebäuden, an denen seit 2006 Maßnahmen an der Heiztechnik durchgeführt wurden, lagen für 30 ausreichende Verbrauchsdaten vor und nach der Sanierung vor, um eine Einsparung zu ermitteln. In fünf dieser Fälle wurde durch die Maßnahme keine Einsparung erzielt. Für die übrigen zehn analysierten Gebäude war zum Zeitpunkt der Auswertung die Datenbasis nicht ausreichend, um einen verlässlichen Einsparwert zu berechnen. Dies lag unter anderem daran, dass Maßnahmen erst in 2014/15 durchgeführt wurden und der Messzeitraum zu kurz für eine abschließende Bewertung des Nachher-Verbrauchs war.

Abb. 25 Energiesparkonto: Einfache Wirkungsanalyse für Heizkesseltausch mit/ohne Solar



Tab. 07 Sanierungstest: EVKW und Einsparung bei Heiztechnik mit/ohne Solar

	Einheit	Heizung und Solar	nur Heizung
mit Bewertung		5	25
keine Bewertung		0	15
mittlerer EVKW	kWh/m²a	156	142
mittlere Einsparung	kWh/m²a	-73	-38
Einsparung min.	Prozent	-16	-8
Einsparung max.	Prozent	-65	-50

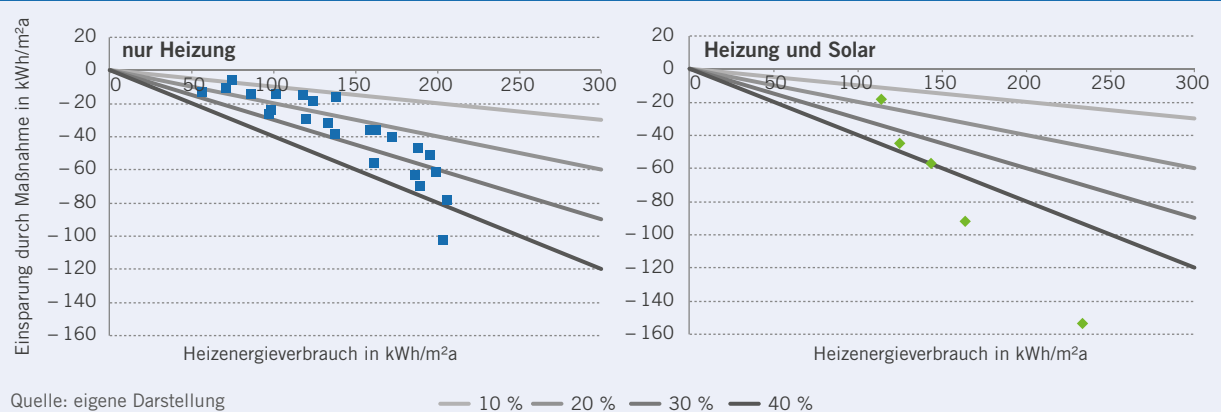
Für die Gebäude, bei denen zusätzlich eine Solaranlage installiert wurde, lagen fünf auswertbare Feldtestgebäude vor. Für alle fünf war die Datenlage ausreichend, um eine Einsparung durch die Maßnahmen zu ermitteln. Die Einsparungen hatten dabei ein hohes Schwankungsintervall: Für Fälle, in denen nur die Heizung erneuert wurde, schwanken die Einsparungen zwischen 8 und 50 Prozent. Für Heizung und Solar sogar zwischen 16 und 65 Prozent. Abbildung 26 zeigt nach dem Vorbild der einfachen

Wirkungsanalyse im Energiesparkonto die Einsparungen der einzelnen Feldtestgebäude, an denen der Heizkessel getauscht wurde (rechts in Kombination mit einer Solarthermieanlage).

Die Punkte stellen dabei die einzelnen Feldtestfälle dar. Zur besseren Einschätzung der Einsparungen wurden Vergleichslinien eingefügt, die Einspargrenzen von 10 bis 40 Prozent kennzeichnen. Es wird deutlich, dass der Großteil der reinen Kesseltauscher im FeldtestsamplE Einsparungen im Bereich zwischen 20 und 30 Prozent erreicht. In nur einem Fall werden über 40 Prozent eingespart. Anders sieht dies bei der Kombination mit Solarthermie aus – hier erreichen gleich drei der fünf Feldtestteilnehmer die 40-Prozent-Marke.

Tabelle 8 am Ende des Abschnitts gibt einen Überblick über die untersuchten Gebäude im Bereich Heiztechnik und deren Datenauswertungen. Nachfolgend werden zwei Best-Practice-Beispiele aus dem FeldtestsamplE detaillierter vorgestellt.

Abb. 26 Sanierungstest: Einsparung bei Heiztechnik mit/ohne Solar



Gebäudebeispiele aus dem Feldtestsamplé Heiztechnik mit/ohne Solar

Anlagensteckbrief Erneuerung Heizanlage



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1995
Wohnfläche:	146,4 m ²
Bewohner:	2 Personen
Messstellen:	Gaszähler
Messzeitraum:	01.06.2010 bis 24.06.2015
Maßnahme:	Erneuerung Heizanlage, hydraulischer Abgleich (2013)

Allgemeine Anlagendaten

- Trinkwarmwasserbereitung
- Raumheizung (RH)
- Raumlufttechnische Anlage
- Zirkulation

Wärmeerzeuger

Typ:	Brennwert
Energieträger:	Erdgas
Fabrikat:	Buderus, GB 162-25 T40 S V3
Nennleistung:	23,8 kW

Art der Trinkwarmwasserbereitung

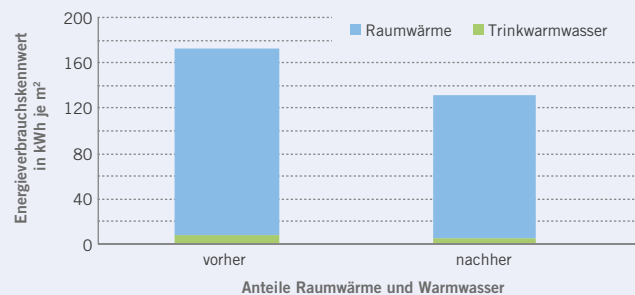
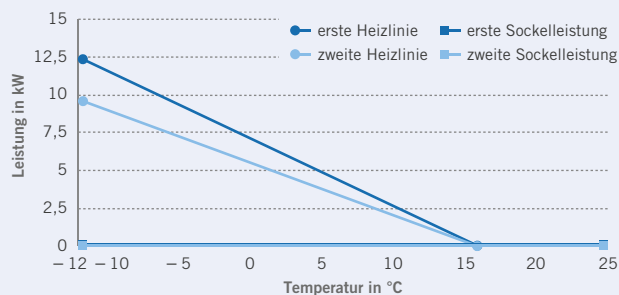
- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	
Dachdämmung:	
Kellerdeckendämmung:	keine Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle
Fensterqualität:	

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.06.2010 bis 28.11.2013	06.12.2013 bis 24.06.2015	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,439	0,334	–0,105 kW/K
Wärmeverlust:	2,5	1,9	–0,6 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	14,2	11,0	–3,2 kW
– entspricht	80,8	62,6	–18,2 W/m ²
Grundlast:	0,16	0,13	–0,04 kW
– entspricht	0,93	0,72	–0,22 W/m ²
Heizgrenze:	15,9	15,4	–0,5 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	164 kWh/m ² a	126 kWh/m ² a	–23 %
Trinkwarmwasser	8 kWh/m ² a	6 kWh/m ² a	–25 %
Gesamt	172 kWh/m ² a	132 kWh/m ² a	–23 %

Dieses Gebäude zeichnete sich, bezogen auf das Gebäudebaujahr 1995, durch einen überdurchschnittlichen Gebäudeverbrauch von 176 kWh/m² und Jahr aus. Es ist fraglich, ob der Mehrverbrauch auf den alten Kessel zurückzuführen ist. Durch die Heizungserneuerung bei gleichzeitig durchgeführtem hydraulischen Abgleich sank der Erdgasverbrauch um 23 Prozent. Das System zur Warmwasserbereitung wurde zudem von einem 100-Liter-Speicher auf einen Schichtenladespeicher (40 Liter) mit Plattenwärmetauscher umgestellt.

Dadurch sank der Wärmeverbrauch für Warmwasser in gleicher Größenordnung wie der Verbrauch für Raumheizung. Um den Leistungsbedarf des Wärmetauschers zu decken, wurde die Kesselleistung von 15 auf 24 kW erhöht. Das ist nicht zu beanstanden, da für eine Bereitstellung größerer Warmwassermengen eine Leistung von 18 bis 24 kW notwendig ist. Dem Nutzer wurden eine Vervollständigung der Rohr- und Armaturendämmung und eine regelmäßige Dokumentation des Zusatzheizungsverbrauchs empfohlen.

Anlagensteckbrief Erneuerung Heizanlage mit Solarthermie



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1992
Wohnfläche:	227 m ²
Bewohner:	4 Personen
Messstellen:	Gaszähler
Messzeitraum:	01.11.1994 bis 28.06.2015
Maßnahme:	Solaranlage mit Heizungsunterstützung, Erneuerung Heizanlage, hydraulischer Abgleich, Dämmung Verteilleitung (2012)

Allgemeine Anlagendaten	
<input checked="" type="checkbox"/>	Trinkwarmwasserbereitung
<input checked="" type="checkbox"/>	Raumheizung (RH)
<input type="checkbox"/>	Raumlufttechnische Anlage
<input checked="" type="checkbox"/>	Zirkulation

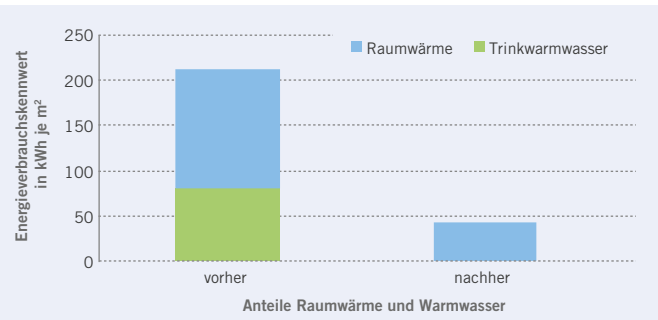
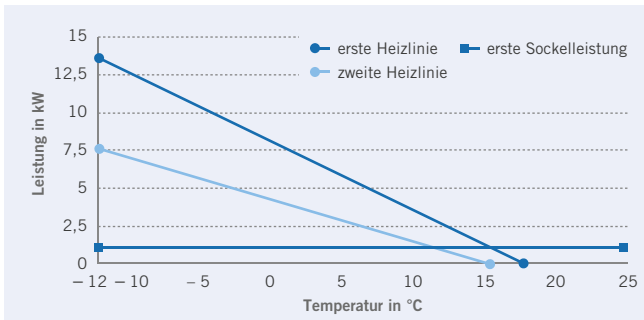
Wärmeerzeuger	
Typ:	Brennwert
Energieträger:	Erdgas
Fabrikat:	Solvis max SX-06 5-20
Nennleistung:	21,4 kW
Zusatzheizung:	Brennholzofen

Art der Trinkwarmwasserbereitung	
<input type="checkbox"/>	Durchlaufwasserheizer
<input checked="" type="checkbox"/>	Pufferspeicher
<input type="checkbox"/>	Wohnungsstation
<input checked="" type="checkbox"/>	Frischwasserstation

Gebäudehülle	
Fassadendämmung:	
Dachdämmung:	
Kellerdeckendämmung:	keine Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle
Fensterqualität:	

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.11.1994 bis 22.10.2012	23.10.2012 bis 28.06.2015	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,545	0,327	-0,218 kW/K
Wärmeverlust:	2,0	1,2	-0,8 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	14,5	8,9	-5,6 kW
– entspricht	53,2	32,7	-20,6 W/m ²
Grundlast:	1,09	0,00	-1,09 kW
– entspricht	4,00	0,00	-4,00 W/m ²
Heizgrenze:	15,8	15,8	0 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	132 kWh/m ² a	42 kWh/m ² a	-68 %
Trinkwarmwasser	81 kWh/m ² a	0 kWh/m ² a	-100 %
Gesamt	213 kWh/m ² a	42 kWh/m ² a	-80 %

Bei diesem Gebäude neueren Baujahres wurde im Jahr 2012 der vorhandene Niedertemperaturkessel durch eine moderne Brennwertanlage ersetzt. Dabei wurde zusätzlich eine Solarthermieanlage für Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitung mit 11 m² Kollektorfläche und 650-Liter-Pufferspeicher installiert. Im Rahmen des Projekts wurde eine sehr hohe Verbrauchsminderung von 213 auf 42 kWh pro m² festgestellt, die aber sicherlich nicht allein auf die neue Anlage zurückzuführen ist. Schwankungen bei der Nutzung des vorhandenen Brennholzofens, der 100 Tage im Jahr betrieben wird, sowie der Auszug eines Bewohners sind bei der Bewertung

der Minderung angemessen zu berücksichtigen. Gut erkennbar ist die Wirkung der Solaranlage, die den sommerlichen Warmwasserbedarf auf null reduziert. Die sich aus der EAV ergebende Minderung der Heizlast ist zum einen auf die Wirkungsgradverbesserung des Kessels, zum anderen auf eine Teilbedarfsdeckung durch den Brennholzofen zurückzuführen. Es ist sinnvoll, die Verbrauchsentwicklung über weitere Abrechnungsperioden zu verfolgen. Wie allen anderen Feldtestteilnehmern mit Öfen oder anderen Zusatzheizungen wurde eine Dokumentation dieses Verbrauchsanteils im Energie-sparkonto empfohlen.

Tab. 08 Sanierungstest: Mittlere Einsparungen nach Gebäudealter

Maßnahmenkategorie	Baujahr Gebäude	Nutzfläche Gebäude in m ²	EVKW kWh/m ² aus ABR/ESK	Einsparung kWh/m ² , klimabereinigt
nur Heizung	1989	132	204	-102
nur Heizung	1910	240	206	-78
nur Heizung	1991	168	190	-70
nur Heizung	1984	171	161	-56
nur Heizung	1951	144	186	-63
nur Heizung	1980	240	162	-56
nur Heizung	1980	120	199	-61
nur Heizung	1989/1990	216		
nur Heizung	1990	269	97	-26
nur Heizung	1930	161	195	-51
nur Heizung	1936	108	188	-47
nur Heizung	1962	156		
nur Heizung	1988	132	120	-29
nur Heizung	1996	186	99	-24
nur Heizung	1998	130	57	-13
nur Heizung	1995	176	148	-34
nur Heizung	1959	198	159	-36
nur Heizung	1976	182	213	-62
nur Heizung	1985	4.539	124	-18
nur Heizung	1989	160	71	-11
nur Heizung	~ 1900/1902	394	118	-15
nur Heizung	1928	312	102	-14
nur Heizung	1982	120	139	-16
nur Heizung	1994	144	75	-6
nur Heizung	1993	168	66	
nur Heizung	1921 KG-EG; 1964 1. OG-DG	312	197	
nur Heizung	1993 Sanierung + Umbau Gewerbe in Wohngebäude	726	105	
nur Heizung	1996	137	86	-14
nur Heizung	1953	156	93	
nur Heizung	1996	264	76	
nur Heizung	1993	192	150	
nur Heizung	1904	214	125	
nur Heizung, eigentlich keine Bewertung möglich, Zusatzhei- zung, Teilbeheizung	1912	396	104	
nur Heizung	1973	264	59	
nur Heizung	1953	156	77	
nur Heizung	1996	298	74	
nur Heizung	1988	169		
nur Heizung	1984	132		
nur Heizung	1875	146		
nur Heizung, Umstellung auf Nahwärme	1967	293	69	
Heizung und Solar	1992	193	233	-153
Heizung und Solar	1992	186	165	-92
Heizung und Solar	1991	136	143	-57
Heizung und Solar	1988	192	125	-45
Heizung und Solar	1990	215	115	-18

Einsparung aus ABR/ESK %	EVKW kWh/m ² aus EAV	Einsparung aus EAV kWh/m ²	Einsparung aus EAV %	Anmerkung
-50				Einsparung sehr hoch
-38				
-37				
-35				
-34				
-34				
-31				
	137	-38	-28	
-27				
-26				
-25				
	134	-32	-24	
-24				
-24				
-24				
-23	172	-40	-23	
-23				
-29	163	-36	-22	
-15				
-15				
-13				
-13				
-12				
-8				geringe Einsparung
				keine Einsparung
				keine Einsparung
				keine Einsparung
-16				
	98			keine Einsparung
				keine Einsparung
				keine Daten 2015
				keine Daten 2015
				keine Daten 2015
	100			keine Daten 2015
				keine Daten 2015
				keine Daten
				vorher keine Daten
				vorher keine Daten, nachher nur 2014 mit 50% Zusatzheizung
				2015 keine Daten
-65				Einsparung sehr hoch
-56				
-40				
-36				
-16				geringe Einsparung

Gebäudehülle und Fenster

Wie oben für die Heiztechnik werden in diesem Abschnitt die Ergebnisse für Maßnahmen an der Gebäudehülle und den Fenstern dokumentiert. Zunächst werden wiederum die Auswertungen der einfachen Wirkungsanalyse aus dem Energiesparkonto dargestellt, die im Rahmen des Sanierungstests aktualisiert wurden. Da für die Kellerdecken- bzw. die Dämmung der Bodenplatte nicht genügend aussagekräftige Fälle im Energiesparkonto nachgewiesen werden konnten, werden diese Maßnahmen im Folgenden ausgelassen.

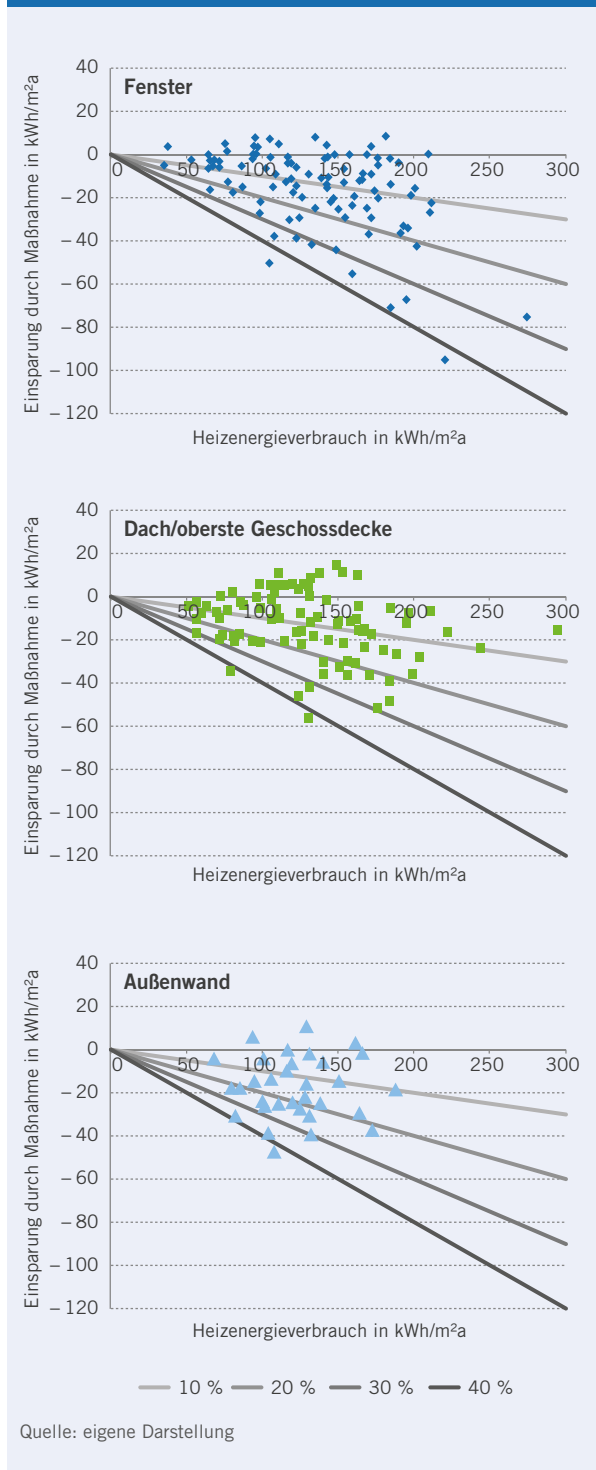
Die Analyse verläuft nach dem gleichen Prinzip wie für den Heizkesseltausch. Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse der einfachen Wirkungsanalyse aus dem Energiesparkonto jeweils für den Fenstertausch, die Dämmung des Dachs bzw. der obersten Geschossdecke sowie die Dämmung der Außenwand. Im Energiesparkonto konnten 101 Gebäude identifiziert werden, an denen die Fenster getauscht wurden und für die ausreichend Verbrauchswerte hinterlegt wurden. Für die Dämmung des Dachs bzw. der obersten Geschossdecke waren es 95 Gebäude und für die Außenwanddämmung 32 Gebäude mit entsprechenden Datensätzen, die eine Berechnung der Sanierungswirkung mithilfe der einfachen Wirkungsanalyse ermöglichten.

Für die Bewertung der Ergebnisse wurden auch hier prozentuale Trennlinien eingezeichnet, um die Spreizung der Einsparungen sichtbar zu machen. Für die Maßnahme Fenstertausch liegt die mittlere Einsparung zwischen 10,9 und 18,5 kWh/m²_{[AN]a} für ein Gebäude mit mittlerem Verbrauch (95 Prozent Konfidenzintervall). Dies entspricht einer durchschnittlichen Einsparung von 10 Prozent. Die Dämmung des Dachs bzw. der obersten Geschossdecke brachte eine durchschnittliche Einsparung zwischen 11,2 und 20,2 kWh/m²_{[AN]a}. Im Schnitt wurden in den getesteten Gebäuden aus dem Energiesparkonto somit etwa 11 Prozent Heizenergie eingespart.

Wie bereits erwähnt wurde im Laufe des Sanierungstests festgestellt, dass an vielen der untersuchten Gebäude Maßnahmen in Kombination durchgeführt wurden, so auch bei den Dämmmaßnahmen.

Tabelle 9 fasst zunächst die Ergebnisse der im Feldtest untersuchten Dämmmaßnahmen im Bereich Gebäudehülle und Fenster zusammen. Dabei wurde unterschieden zwischen Einzelmaßnahmen, Kombinationen von zwei Dämmmaßnahmen und Kombinationen von drei oder vier Maßnahmen an Gebäudehülle und Fenstern.

Abb. 27 Energiesparkonto: Einfache Wirkungsanalyse Gebäudehülle



Tab. 09 Sanierungstest: EVKW und Einsparung bei Gebäudehülle und Fenstern

	Einheit	Einzelmaßnahme	2 Maßnahmen	3 oder 4 Maßnahmen
mit Bewertung		19	11	9
keine Bewertung		7	6	8
mittlerer EVKW	kWh/m ² a	118	113	109
mittlere Einsparung	kWh/m ² a	-22	-31	-38
Einsparung min.	Prozent	-5	-6	-21
Einsparung max.	Prozent	-51	-49	-48

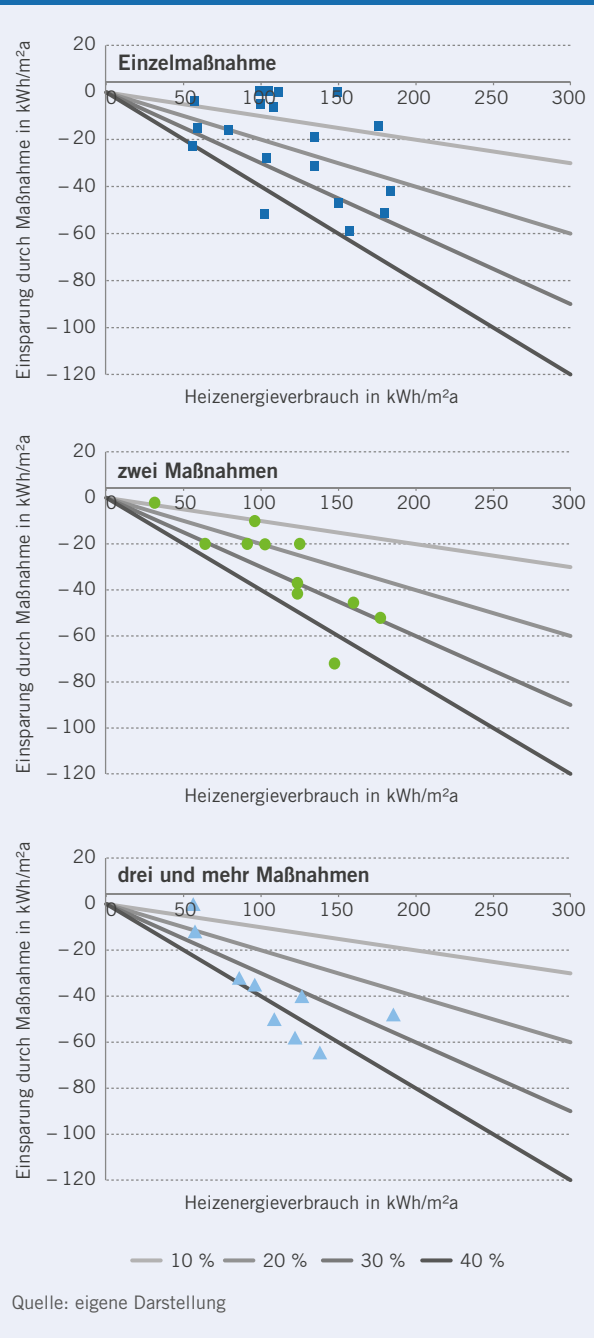
Unter den 60 Fällen, in denen Dämmmaßnahmen am Gebäude seit 2006 durchgeführt wurden, waren nur 26 Fälle reine Einzelmaßnahmen. In den übrigen 34 Fällen wurden mindestens zwei Maßnahmen miteinander kombiniert. Die Spannweite der Einsparungen bei den Einzelmaßnahmen liegt zwischen 5 Prozent beim Fenstertausch und 51 Prozent für eine Außenwanddämmung.

Bezüglich der Dämmkombinationen lässt sich festhalten, dass auch hier erhebliche Spannweiten bei den Einsparungen zu verzeichnen sind. So konnten bei den Gebäuden im Sanierungstest mit der Maßnahmenkombination Dach-Außenwand-Fenster Einsparungen zwischen 21 und 48 Prozent nachgewiesen werden. Auch hier wurden die einzelnen Einsparergebnisse in einer Punktwolke abgebildet. Zur Bewertung der Ergebnisse dienen wiederum die Vergleichslinien in Intervallen von zehn Prozentpunkten. Deutlich wird, dass Dämmkombinationen häufiger die 40-Prozent-Einsparmarke knacken als Einzelmaßnahmen.

Zudem ist hier nochmals zu bemerken, dass insbesondere bei Fenstern und der Außenwand Maßnahmen häufiger nur teilweise, das heißt nicht am gesamten Bauteil, umgesetzt wurden. Tabelle 10 und Tabelle 11 am Ende dieses Abschnitts fassen die Ergebnisse der Auswertungen der Einzelmaßnahmen und für die übrigen Dämmkombinationen zusammen. Nur teilweise durchgeführte Maßnahmen sind mit „(tw)“ gekennzeichnet.

Es sei an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, dass für die betrachteten Dämmmaßnahmen die Datenlage zur Durchführung einer EAV vor und nach Sanierung deutlich schlechter war als für die Heiztechnik. Nur drei Fälle waren mithilfe der EAV auswertbar. Es werden jedoch auch nach Abschluss des Feldtests Daten erfasst, so dass umfangreichere Auswertungen zu einem späteren Zeitpunkt möglich sind. Auch hier werden mit zwei ausgewählten Feldtestgebäuden die Ergebnisse vertiefend dargestellt.

Abb. 28 Sanierungstest: Einsparung bei Gebäudehülle



Quelle: eigene Darstellung

Gebäudebeispiele aus dem Feldtestsampl Gebäudehülle und Fenster

Anlagensteckbrief Dämmkombination Gebäudehülle



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1920
Wohnfläche:	220 m ² , ab 01.05.2014 253 m ²
Bewohner:	6 Personen
Messstellen:	Gaszähler
Messzeitraum:	01.01.2010 bis 21.06.2015
Maßnahme:	Fassade, Dach, Fenster, Rollladenkästen, Verteilleitungen

Allgemeine Anlagendaten

- Trinkwarmwasserbereitung
- Raumheizung (RH)
- Raumlufttechnische Anlage
- Zirkulation

Wärmeerzeuger

Typ:	Brennwert
Energieträger:	Erdgas
Fabrikat:	Vaillant VC 267 (2006)
Nennleistung:	26,6 kW

Art der Trinkwarmwasserbereitung

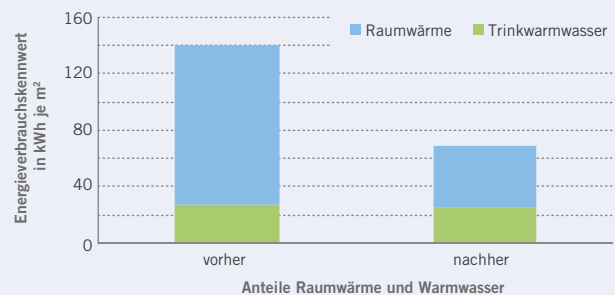
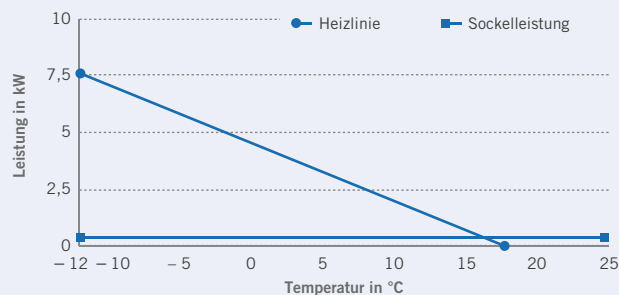
- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	160 mm EPS 035 (2013)
Dachdämmung:	200 mm Mineralwolle 035 (2013)
Kellerdeckendämmung:	
Fensterqualität:	3-fach-Wärmeschutzverglasung $U_w = 0,85$ (2013)

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.08.2013 bis 21.06.2015	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,241	– kW/K
Wärmeverlust:	0,8	– W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	8,2	– kW
– entspricht zu wenig Daten	27,2	– W/m ²
Grundlast: vorhanden	0,39	– kW
– entspricht	1,28	– W/m ²
Heizgrenze:	16	– °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	113 kWh/m ² a	44 kWh/m ² a	–61 %
Trinkwarmwasser	27 kWh/m ² a	25 kWh/m ² a	–7 %
Gesamt	140 kWh/m ² a	69 kWh/m ² a	–51 %

Das Beispiel stellt eine gelungene Sanierung dar. Die auf Basis des Jahresverbrauchs ermittelte Verbrauchsminderung liegt bei 51 Prozent. Der Endenergieverbrauch nach der Sanierung liegt mit 69 kWh/m² und Jahr in einem Bereich, den nur wenige Gebäude erreichen. Es ist daher davon auszugehen, dass der Sanierungserfolg auch auf einen sparsamen Umgang mit Heizenergie zurückzuführen

ist, der typisch ist für die ersten Jahre nach der Sanierung. Zur Absicherung der Einsparung wurde dem Feldtestteilnehmer die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs und eine Reduzierung der Kesselleistung empfohlen, die derzeit deutlich über dem Gebäudewärmebedarf liegt.

Anlagensteckbrief Erneuerung Fenster



Nutzung: EFH
Baujahr: 1979
Wohnfläche: 230 m²
Bewohner: 3 Personen
Messstellen: Gaszähler
Messzeitraum: 01.07.2000 bis 27.07.2015
Maßnahme: Erneuerung Fenster

Allgemeine Anlagendaten

- Trinkwarmwasserbereitung
- Raumheizung (RH)
- Raumluftheizungsanlage
- Zirkulation

Wärmeerzeuger

Typ: Brennwert
Energieträger: Erdgas
Fabrikat: Brötje BWG 35 (1998)
Nennleistung: 35 kW
Solaranlage: für TWW 4 m²
Zusatzheizung: Brennholzofen, Thermosolaranlage (Warmwasser)

Art der Trinkwarmwasserbereitung

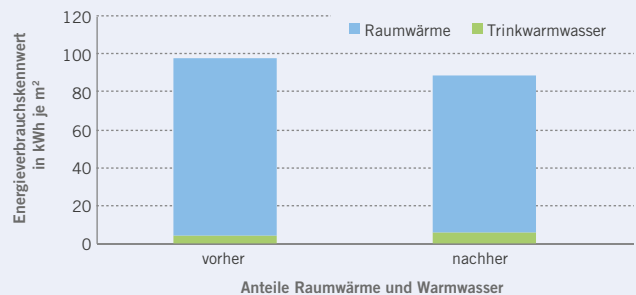
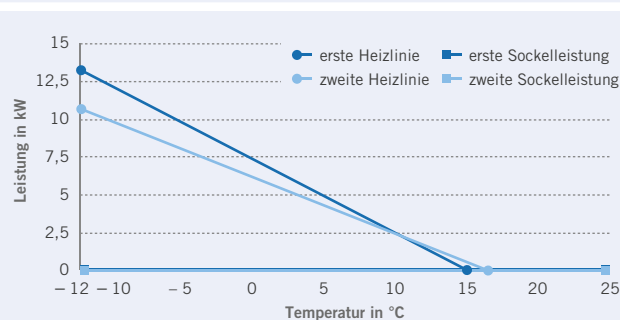
- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

Gebäudehülle

Fassadendämmung:
Dachdämmung:
Kellerdeckendämmung:
Fensterqualität: 3-fach-Wärmeschutzverglasung $U_w = 0,85$ (2013)

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.07.2000 bis 25.11.2013	25.11.2013 bis 27.07.2015	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,386	0,331	-0,055 kW/K
Wärmeverlust:	1,4	1,2	-0,2 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	13,4	11,9	-1,5 kW
– entspricht	48,6	43,1	-5,4 W/m ²
Grundlast:	0,13	0,20	0,08 kW
– entspricht	0,46	0,73	0,27 W/m ²
Heizgrenze:	16,4	16,3	-0,1 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	94 kWh/m ² a	83 kWh/m ² a	-12 %
Trinkwarmwasser	4 kWh/m ² a	6 kWh/m ² a	50 %
Gesamt	98 kWh/m ² a	89 kWh/m ² a	-9 %

Dieses Beispiel stellt eine reine Einzelmaßnahme dar: die Erneuerung der Fenster. Die Verbrauchsminderung im Bereich Raumwärme von 12 Prozent korrespondiert sehr gut mit der nach Abschnitt „Exkurs: Verbrauch-Bedarfs-Vergleich“ vorgenommenen Bedarfsminderungsschätzung. Der Verbrauch des nur sporadisch genutzten Holzofens blieb bei der Betrachtung außen vor und wurde über die Jahre als konstant angenommen, weil keine

Verbrauchsaufzeichnungen vorliegen. Dies stellt eine Fehlerquelle bei der Bewertung des Einsparerfolgs dar, die auch auf viele andere Feldtestteilnehmer zutrifft. Auch bei diesem Gebäude wurde der Teilnehmer auf die Sinnhaftigkeit der Reduzierung der Heizkesselleistung hingewiesen. Zu prüfen ist in diesem Fall auch der beobachtete Anstieg des Warmwasserverbrauchs.

Tab. 10 Sanierungstest: Sample Dämmung und Fenster (Einzelmaßnahme)

Maßnahmen	Baujahr Gebäude	Nutzfläche Gebäude in m ²	EVKW kWh/m ² aus ABR/ESK	Einsparung kWh/m ² , klimabereinigt
AW	1926	169	134	-31
AW	1956	240	55	-23
AW	1924	156	104	-28
AW (tw)	1932	187	102	-52
AW (tw)	1850	174	128	
AW (tw)	1876	1.236	108	-6
D	2006	162		
D	1979	150	99	
D	1981	322	149	-47
D	1886	491	59	-15
D	2008	144	57	-4
D	1982	293	80	
D	1972	1.124	75	
D	1979	155	130	
D	1970	150	150	
Fe	1975	360	111	
Fe	1979	270	134	-19
Fe	1979	396	79	-16
Fe	1996	138	183	-42
Fe	1994	216	100	-5
Fe	1973	216	157	-59
Fe (tw)	1981	156		
K	1993	451	104	
OGD	1964	144	180	-51
OGD	1974	270	176	-14

Einsparung aus ABR/ESK %	EVKW kWh/m ² aus EAV	Einsparung aus EAV kWh/m ²	Einsparung aus EAV %	Anmerkung
-23				
-42				
-27				
-51				
				2015 keine Daten
-6				geringe Einsparung
				keine Bewertung (überwiegende Nutzung der Zusatzheizung)
				keine Einsparung
-32				
-26				
-7				geringe Einsparung
				2015 keine Daten
				2015 keine Daten
				2015 keine Daten
	114			keine Einsparung
				keine Einsparung
-14	126	-16	-13	
-20				
-23				
-4				geringe Einsparung
-37				
				keine Bewertung
				keine Einsparung
-28				
-8	192	-11	-6	geringe Einsparung

Tab. 11 Sanierungstest: Sample Dämmung und Fenster (Kombination)

Maßnahmen	Baujahr Gebäude	Nutzfläche Gebäude in m ²	EVKW kWh/m ² aus ABR/ESK	Einsparung kWh/m ² , klimabereinigt
AW (tw), Fe (tw)	1908	168	64	-20
AW, Fe	1985	216	124	-37
AW, Fe	1904	179	147	-72
AW, Fe	1958	228	92	-20
D (tw), AW (tw)	1983	307		
D, AW	1957	182	177	-52
D, AW (tw)	1922	126	124	-41
D, AW (tw), Fe (tw)	1927	136	135	
D, AW, Fe	~ 1870	240	58	-12
D, AW, Fe	1920	301	122	-58
D, AW, Fe	1902	324	126	-40
D, AW, Fe	1890	186	97	-35
D, AW, Fe	1910	312	57	
D, AW, Fe	1977	130	186	-48
D, AW, Fe (tw)	1968	312		
D, AW, Fe (tw)	1985	174		
D, AW, Fe, K	1978	192	139	-64
D, AW, Fe, K	1976	261	87	-32
D, AW, K	1956	192	110	-50
D, Fe (tw)	1965	289	96	-10
D, Fe (tw)	~ 1968	168	138	
D, Fe (tw)	1936	180		
D, OGD	1990	162	236	
D, OGD (tw), Fe (tw)	1958	186		
D, OGD, AW	1969	190		
D, OGD, Fe	1971	204		
Fe (tw), K	1980	180	99	
Fe, K (tw)	1976	221	125	-20
OGD, AW	1931	148	102	-20
OGD, AW (tw), Fe (tw)	1973	282	107	
OGD, AW (tw), Fe (tw)	1976	257	79	
OGD, AW, Fe	1980	120		
OGD, AW, Fe, K (tw)	1975	144		
OGD, Fe	1973	228	160	-45
OGD, Fe, AW, K (tw)	1965	216		

Einsparung aus ABR/ESK %	EVKW kWh/m ² aus EAV	Einsparung aus EAV kWh/m ²	Einsparung aus EAV %	Anmerkung
-32				
-30				
-49				
-22				
				keine Bewertung
-30				
-33				
				2015 zu wenig Daten
-21				
-48				
-32				
-36				
				keine Einsparung
-26				
				vorher keine Daten
				wegen Neueinzug kein Vergleich möglich
-46				
-37				
-46				keine Bewertung
-10				
				2015 keine Daten
				keine Bewertung
				2015 keine Daten
				vorher keine Daten
				keine Bewertung
	32	-2	-6	geringe Einsparung
				keine Bewertung
-16				
-19				
				2015 zu wenig Daten
				Datenbasis nicht ausreichend
				keine Bewertung
				vorher keine Daten
-28				
				vorher keine Daten

Kombination Heiztechnik und Dämmung

Zu den untersuchten Maßnahmen zählten nicht nur Dämmkombinationen, sondern auch umfassende Maßnahmenkopplungen von Heiztechnik mit Dämmmaßnahmen. Nach demselben Schema werden auch hier die Ergebnisse der Maßnahmenkombination aus Gebäudehülle, Fenstern und Heiztechnik dargestellt. Zunächst liefert Tabelle 12 eine Zusammenfassung der ausgewerteten Daten der Feldtestgebäude in diesem Subsample.

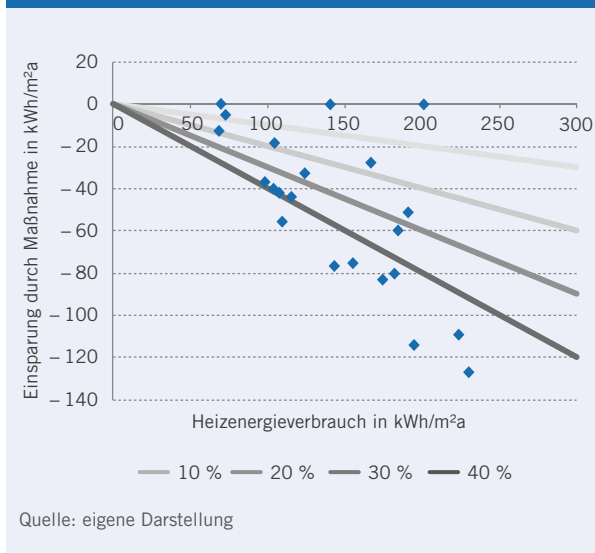
Tab. 12 Sanierungstest: EVKW und Einsparung bei Kombination Heiztechnik und Dämmung

		Sonderfälle	kombinierte Maßnahmen
mit Bewertung		0	22
keine Bewertung		6	4
mittlerer EVKW	kWh/m ² a		144
mittlere Einsparung	kWh/m ² a		-50
Einsparung min.	Prozent		-8
Einsparung max.	Prozent		-58

Es wurden hier sechs Sonderfälle identifiziert, die aufgrund der vorliegenden Besonderheiten bzw. der Geringfügigkeit der durchgeführten Maßnahmen nicht ausgewertet wurden (siehe dazu auch Tabelle 13). Die Spannbreite der Einsparungen der übrigen 22 auswertbaren Maßnahmenkombinationen liegt hier zwischen 8 und 58 Prozent. Nicht verwunderlich ist hier, dass die Kombinationsmaßnahmen sehr oft die 40-Prozent-Einsparmarke überschreiten.

Die Einzelergebnisse der Maßnahmenkombinationen zeigt Tabelle 13. Zudem soll wiederum an einem Best-Practice-Beispiel eine detaillierte Auswertung eines Feldtestgebäudes gezeigt werden, an dem umfangreiche Maßnahmen an Gebäudehülle und Heiztechnik durchgeführt wurden.

Abb. 29 Sanierungstest: Einsparung bei Kombination Heiztechnik und Dämmung



Gebäudebeispiel aus dem Feldtestsampl Kombinationen

Anlagensteckbrief Kombination Heiztechnik und Gebäudehülle

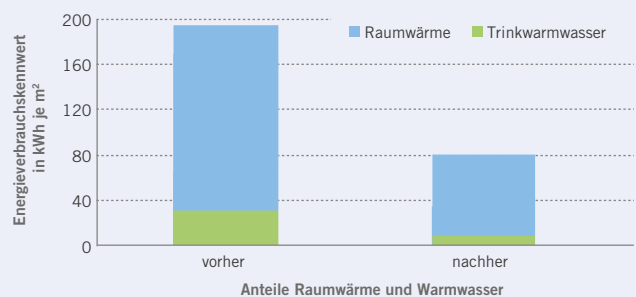
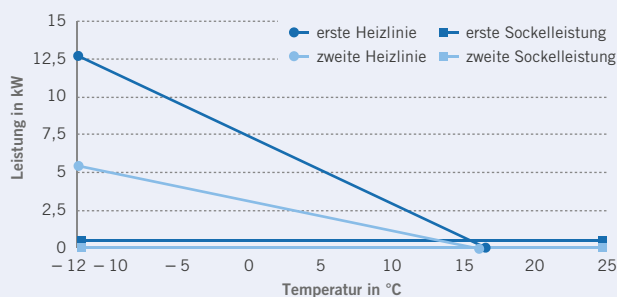


Nutzung:	EFH
Baujahr:	1936
Wohnfläche:	148 m ²
Bewohner:	4 Personen
Messstellen:	Gaszähler
Messzeitraum:	01.01.2008 bis 01.06.2015
Maßnahme:	Thermosolaranlage (für Warmwasser) und Dachdämmung, Fassadendämmung, Kellerdeckendämmung (2011)

Allgemeine Anlagendaten	Wärmeerzeuger
<input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserbereitung	Typ: Brennwert
<input checked="" type="checkbox"/> Raumheizung (RH)	Energieträger: Erdgas
<input type="checkbox"/> Raumluftheizungsanlage	Fabrikat: Brötje Eco Therm WGB Plus Pro 20C
<input checked="" type="checkbox"/> Zirkulation	Nennleistung: 20 kW
Art der Trinkwarmwasserbereitung	Gebäudehülle
<input type="checkbox"/> Durchlaufwasserheizer	Fassadendämmung: 160 mm EPS WLK = 032 (2011)
<input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserspeicher	Dachdämmung: 220 mm MW- und Holzfasern WLK = 040 (2011)
<input type="checkbox"/> Wohnungsstation	Kellerdeckendämmung: 100 mm EPS WLK = 035 (2011)
<input type="checkbox"/> Frischwasserstation	Fensterqualität: Kunststofffenster mit Isolierverglasung ($U_w = 1,7$)

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.01.2008 bis 30.05.2011	22.06.2011 bis 01.06.2015	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,463	0,196	-0,267 kW/K
Wärmeverlust:	2,6	1,1	-1,5 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	14,2	6,1	-8,1 kW
– entspricht	79,8	41,2	-38,6 W/m ²
Grundlast:	0,53	0,18	-0,35 kW
– entspricht	3,0	1,2	-1,8 W/m ²
Heizgrenze:	15,6	15,4	-0,2 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	166 kWh/m ² a	71 kWh/m ² a	-57 %
Trinkwarmwasser	30 kWh/m ² a	9 kWh/m ² a	-70 %
Gesamt	196 kWh/m ² a	81 kWh/m ² a	-59 %

Bei diesem Feldtestgebäude wurde eine hohe Verbrauchsminderung um 115 auf 81 kWh/m² festgestellt. Der Verbrauch nach Sanierung liegt um 14 % über dem berechneten Bedarf von 71 kWh/m² nach Sanierung, der im Rahmen einer Energieberatung festgestellt wurde. Solch eine Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch erscheint noch plausibel. Auch in diesem Beispiel ist sehr gut die Wirkung

der Solaranlage bei der Reduzierung des sommerlichen Wärmeverbrauchs erkennbar. Weitere Optimierungspotenziale sind möglich: Dem Feldtestteilnehmer wurde eine Vervollständigung der Dämmung der Verteilungen, eine Überprüfung der Einstellungen des Kessels und ein erneuter hydraulischer Abgleich empfohlen.

Tab. 13 Sanierungstest: Sample Kombination Heiztechnik und Dämmung

Maßnahmenkategorie	Baujahr Gebäude	Nutzfläche Gebäude in m ²	EVKW kWh/m ² aus ABR/ESK	Einsparung kWh/m ² , klimabereinigt
Hz, OGD, AW, Fe (tw)	1953	262	236	-142
Hz, AW	1938	128	224	-109
Solar, AW, Fe (tw)	1958	230	155	-75
Hz, Solar, AW, Fe	1965	240	175	-83
Hz, AW (Verstärkung)	1995	132	104	-40
Solar, D, AW, Fe, K	1972	296	115	-44
Hz, Fe (tw)	1989	180	99	-37
Hz, Fe (tw)	1957	168	192	-51
Hz, Solar, D, AW, Fe	1978	338	69	-13
Solar, D	1934	197	167	-28
Hz, Fe	1960	270	105	-18
Hz, AW (Anbau nach EnEV)	1990	156	124	-33
Hz, Da, AW (tw), Fe, K	1978	223	143	-77
Solar, D, AW, K	1934	178	178	-114
Solar, D, AW, Fe, K	1933	233	182	-80
Hz, OGD, K (tw)	1856	259	73	-5
Hz, K	1985	162	69	
Hz, OGD, Fe	1925	156		
Hz, Solar, AW, Fe, K	1959	673		
Hz, Da, AW (tw), Fe (tw), K	1870	187	201	
Hz, OGD, Fe	1981	696		
Hz, D, Fe (tw)	1956	125	141	
Solar, AW	1964	180	110	-56
Hz, D	1950	106		
Hz, Solar, AW (innen, tw), Fe (tw)	1957	120	185	-60
Hz, D, K (tw)	1950	144	107	-42
Sonderfall BHKW, keine Bewertung	1904, Aufstockung 1964	240	142	
Sonderfall 90% Zusatzbehei- zung, keine Bewertung	1963	112		
Sonderfall nur HA, keine Bewertung	1961	126		
Sonderfall nur PV, keine Bewertung	1958	186		
Sonderfall nur Solar, keine Bewertung	1870	180		
Sonderfall Schwimmbad, keine Bewertung	1978	272		

Exkurs: Verbrauch-Bedarfs-Vergleich

Im Rahmen des Sanierungstests waren die Teilnehmer aufgefordert, Unterlagen über ihre Modernisierungsmaßnahmen bereitzustellen (Angebote bzw. Rechnungen zu Modernisierungsmaßnahmen, vorliegende Energieberatungsberichte, Energieausweise, Nachweise für Fördergeber). In einigen Fällen waren diese Unterlagen so umfangreich, dass es möglich ist, eine Endenergiebedarfsminderung für die durchgeführten Maßnahmen abzuschätzen. Darauf aufbauend ist ein Vergleich der tatsächlichen Heizenergieverbrauchsminde rung und der berechneten Endenergiebedarfsminde rung möglich. Hierzu werden die bei den Begehungen erhobenen Bauteilkennwerte (U-Werte) herangezogen.

Für Gebäude, für die eine Endenergiebedarfsberechnung für den Zustand nach der Sanierung vorliegt, kann der Endenergiebedarf nach der Sanierung mit dem Verbrauchskennwert nach der Sanierung verglichen werden.

Der Vergleich wurde für Dämmfälle bei entsprechender Datenlage und ausgewählten Kombifällen (gleichzeitige Verbesserung von Wärmeschutz und Heiztechnik) durchgeführt. Reine Heizungsfälle wurden nicht betrachtet.

Vergleich auf Basis der Bauteilflächen

Die Minderung des Endenergiebedarfs (ΔQ_E) ergibt sich für Wärmedämmmaßnahmen aus der Änderung des Transmissionswärmebedarfs (ΔQ_T) und der Anlagenaufwandzahl (e_p) für den Prozessbereich „Wärmeerzeugung Heizung“. ¹⁶ Lüftungswärmeverluste und Verteilungsverluste können in Näherung als konstant betrachtet werden. Der Einfluss von Wärmebrücken wurde ebenfalls vernachlässigt. ¹⁷

$$\Delta Q_E \sim \Delta Q_T \cdot e_p$$

Die Minderung des Transmissionswärmebedarfs (ΔQ_T) einer Dämmmaßnahme ergibt sich aus der Verbesserung des U-Wertes des Bauteils ($U_{alt} - U_{neu}$), der Bauteilfläche ($A_{Bauteil}$) und der mittleren Heizgradtagszahl (G_{15} , Ansatz 59,1 kKd/a für den bundesweiten Durchschnitt Potsdam). Berücksichtigt wird zusätzlich der Faktor F_{xi} ¹⁸ für die Temperaturkorrektur zu unbeheizten Gebäudeteilen.

$$\Delta Q_T = F_{xi} \cdot (U_{alt} - U_{neu}) \cdot A_{Bauteil} \cdot G_{15}$$

Insgesamt wurden 25 Gebäude, für die detaillierte Angaben vorlagen, ausgewertet. Das Ergebnis ist in Tabelle 14 dargestellt. Bei der Auswertung wurde wie folgt klassifiziert:

- Abweichungen zwischen der berechneten und der tatsächlichen Minderung werden als plausibel angesehen, soweit diese nicht mehr als 20 Prozent betragen.
- Fälle, bei denen die Abweichung mehr als 40 Prozent beträgt, werden als unplausibel eingestuft.

Insgesamt ergab die Auswertung, dass in der Mehrheit der Fälle die Abweichungen extrem in die eine oder die andere Richtung schwanken. Nur bei vier Fällen zeigt sich eine gute Übereinstimmung.

Tab. 14 Sanierungstest: Vergleich von Bedarfsminde rung und Verbrauchsminderung

Art des Falls	Klasse	Dämmung
gesamt		60
davon mit Bedarfsdaten		25
davon keine ausreichenden Verbrauchsdaten		6
plausibel	±20%	4
Verbrauchsminderung > Bedarfsminde rung	> 20...40%	2
Verbrauchsminderung < Bedarfsminde rung	< 20...40%	0
Verbrauchsminderung >> Bedarfsminde rung	> 40%	4
Verbrauchsminderung << Bedarfsminde rung ¹⁹	< 40%	9

Es bleibt unklar, wie die Ursachen für diese Abweichungen auf die bereits beschriebenen Faktoren (Mängel bei Planung/Umsetzung, fehlende Optimierung der Heizungs technik, Nutzerverhalten) verteilt sind. Hier sind weitere Untersuchungen, Datenmessungen und -auswertungen notwendig, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Fehler beim Ansatz der Baustoffkennwerte können hingegen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Vergleich auf Basis des Zustands nach der Sanierung

Für die Fälle, in denen ein Energieausweis nach der Sanierung vorliegt, ein KfW-Antrag einen Nachweis auf Basis des berechneten Wärmebedarfs forderte oder die Wirkung von Sanierungsmaßnahmen durch Energieberatungsberichte vorab ermittelt wurde, können tatsächlicher Energieverbrauch und prognostizierter Endenergiebedarf miteinander verglichen werden. Eine solche Auswertung ist auch deshalb interessant, da vielen Sanierungsfällen ein Eigentumsübergang vorangeht, der mit einer weitgehenden Nutzungsänderung verbunden ist.

Ein Beispiel: Eine Familie mit Kindern übernimmt das Haus eines alleinstehenden Rentners und lässt es sanieren. Solche Fälle fanden sich auch im untersuchten Sample. In diesem Fall ist es nicht sinnvoll, Verbrauchsdaten zu vergleichen, selbst wenn solche Daten in Ausnahmefällen vom Vornutzer vorliegen. Umso interessanter scheint eine

Erfolgskontrolle des prognostizierten Endenergiebedarfs mit dem tatsächlichen Verbrauch zu sein. Das Ergebnis der Auswertung zeigt Tabelle 15. In der Abbildung wird zwischen reinen Dämm- und Kombifällen differenziert, bei denen sowohl Maßnahmen am Wärmeschutz als auch an der Heiztechnik durchgeführt wurden.

Insgesamt lagen für elf Fälle Bedarfsangaben nach der Sanierung vor. Bei drei Fällen ergibt sich eine gute Übereinstimmung. In sechs Fällen finden sich gravierende Abweichungen.

Auch wenn für diesen Teil der Untersuchung die Anzahl der plausiblen Fälle größer ist als in der vorangegangenen Teiluntersuchung, sind auch hier ohne weitere Daten keine sinnvollen Aussagen ableitbar. Die Verbrauchswerte oder Bedarfsansätze unterliegen Störungen, die auf die bereits dargestellten Ursachen zurückzuführen sein dürften.

Tab. 15 Sanierungstest: Vergleich von Endenergiebedarf und Verbrauch nach Sanierung

Art der Fälle	Kriterium	Kombination	Dämmung	gesamt
gesamt		24	60	84
davon mit Bedarfsdaten		5	6	11
davon keine Verbrauchsdaten		1	1	2
plausibel	±20%	2	1	3
Verbrauch > Bedarf	> 20...40%	1	1	2
Verbrauch < Bedarf	< 20...40%		1	1
Verbrauch >> Bedarf	> 40%		1	1
Verbrauch << Bedarf	< 40%	1	1	2



5

5 EXKURS: MESSUNG DER SANIERUNGS- UND KESSELEFFIZIENZ MIT WÄRMEMENGENZÄHLERN (EOS OSTFALIA)

Als Werkzeug zur Abschätzung von Energieeinsparpotenzialen für konkrete Maßnahmen an einem Gebäude und der Anlagentechnik wird das seit mehr als zehn Jahren bewährte Verfahren der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) eingesetzt.

Die EAV mit unterjähriger Verbrauchserfassung mit Wärmemengenzählern eröffnet neue Wege zur Erfolgskontrolle von Energiesparmaßnahmen:

- an der Gebäudehülle und/oder
- am Wärmeerzeuger und/oder
- bei Ergänzung eines Heizsystems durch solare Trinkwarmwasserbereitung.

Die wesentlichen Kennwerte sowohl des Gebäudes als auch des Wärmeerzeugers, die mit der EAV sowohl für den Ist-Zustand des Gebäudes vor einer Maßnahme als auch zur Erfolgskontrolle nach der Maßnahme getrennt mit Brennstoff- und Wärmemengenzählern ermittelt werden, sind zusammengefasst

- der Wärmeverlustkoeffizient H des Gebäudes für die Dämmqualität der Hüllflächen und für die auch vom Nutzer abhängigen Lüftungswärmeverluste,
- der anlagenspezifische Kesselwirkungsgrad (η_k),
- der Kesselnutzungsgrad (η_a),
- die spezifischen Kesselbereitschaftsverluste (q_b),
- die mittlere Auslastung β für die Energieeffizienz des Kessels und
- der „Sommersockel“ für die Grundlast der Trinkwarmwasserbereitung.

Der Wärmeverlustkoeffizient H wird im Kontext der EAV als entscheidender Kennwert identifiziert. Je nachdem, ob die EAV mit den Werten des Gaszählers oder der Wärmemengenzähler erstellt wird, sind die Bereitschaftsverluste des Kessels als auch der Kesselnutzungsgrad in die Steigung inkludiert. Für quantitative Bewertungen ist die Betrachtung der Anlagenverluste von entscheidender Bedeutung, die sich aus dem Vergleich von Gas- und Wärmemengen ergeben.

Relevanz von Wärmemengenzählern bei der Verbrauchserfassung am Beispiel Kesseltausch

In vorangegangenen Abschnitten wurde an mehreren Stellen beschrieben, dass allein durch installierte Wärmemengenzähler (WMZ) im Heiz- und Trinkwarmwasserkreis eine Aufteilung der Endenergie als Input nachvollziehbar erfolgen kann. Hier kann die Unterscheidung zwischen Heizwärmeverbrauch, Warmwasserverbrauch und Erzeugerverlusten anhand aufgezeichneter Werte erfolgen. Messwerte für die einzelnen Energieanteile erlauben Aussagen nicht nur zur Sanierungswirkung, sondern auch zur Sanierungseffizienz.

In Abbildung 30 werden zwei fiktive Anlagen parallel betrachtet. Für beide wird ein Kesseltausch angenommen, allerdings mit unterschiedlichen Voraussetzungen.

Im Beispiel 1 (linke Spalte) hat der Bestandskessel einen Nutzungsgrad von 70 Prozent, im Beispiel 2 (rechte Spalte) beträgt dieser nur 60 Prozent. Die Nutzwärmeabnahme bleibt über alle betrachteten Fälle konstant: Der Heizwärmeverbrauch liegt bei $130 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, der Wärmeverbrauch zur Trinkwarmwasserbereitung liegt bei $45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der jeweilige Unterschied liegt im Input, also im Brennstoffverbrauch, sowie folglich auch auf der Outputseite in den Verlusten.

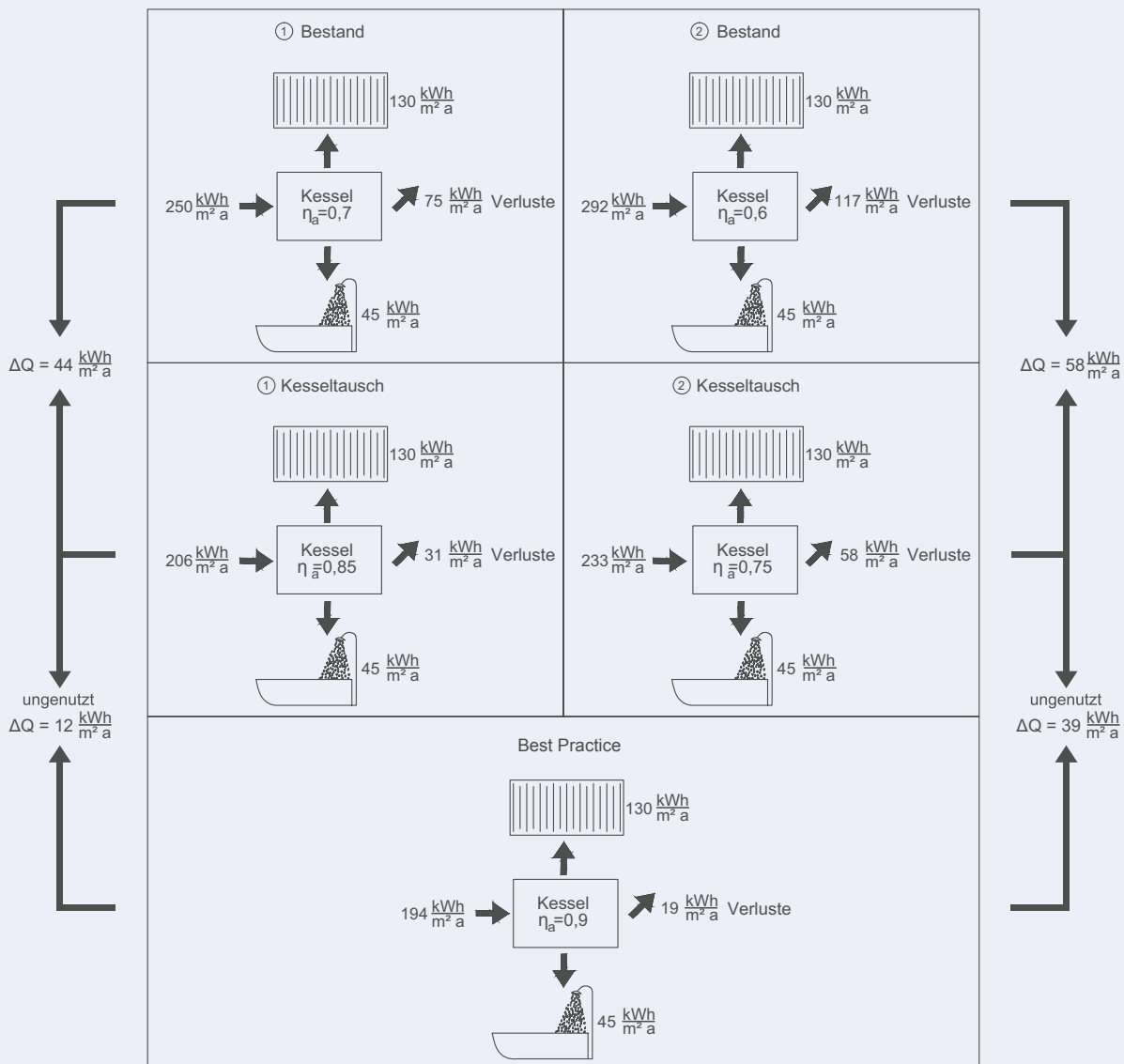
Der Endenergieverbrauch im Anlagenbeispiel 1 liegt für den Bestandskessel bei $250 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, die Verluste ergeben $75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Nach der Kesselerneuerung liegt der Endenergieverbrauch bei $206 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, die Verluste damit nur bei $31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der Nutzungsgrad des neuen Kessels beträgt 85 Prozent.

Anlage 2 weist dagegen bei einem Bestandskessel mit $\eta_a=60$ Prozent einen Endenergieverbrauch von $292 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf, also deutlich höher als im Anlagenbeispiel 1. Hier betragen die Verluste $117 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, nach der Kesselerneuerung belaufen sich diese auf $58 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der neue Kessel weist im zweiten Beispiel einen Nutzungsgrad von 75 Prozent auf, so dass der Endenergieverbrauch bei $233 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ liegt.

Bei einer vergleichenden Betrachtung beider Beispiele fällt auf, dass im zweiten Anlagenbeispiel eine deutlich höhere Endenergieeinsparung erreicht wird als im Beispiel 1. Da beide Anlagenbeispiele aber noch Einsparpotenziale im Vergleich zu einem Best-Practice-Beispiel mit einem Kesselnutzungsgrad von 90 Prozent aufweisen, ist es für die Bewertung der Sanierungseffizienz entscheidend, welche Anlage effizienter ist und damit näher am Optimum liegt. Hier weist die Anlage 1 noch ungenutzte Einsparpotenziale in Höhe von $12 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf, die Anlage 2 jedoch $39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Höhere Endenergieeinsparungen bedeuten somit nicht zwingend einen gelungenen Kesseltausch. Zur Bewertung der Effizienz sind stets sowohl Endenergiemesswerte (zum Beispiel Gaszähler) als auch Nutzenergiemesswerte (Wärmemengenzähler) erforderlich. Andernfalls kann nur eine Aussage hinsichtlich der Einsparung getroffen werden. Der wahre Erfolg der Maßnahme kann nicht beurteilt werden.

Abb. 30 Ostfalia: Vergleich Sanierungswirkung und Sanierungseffizienz am Beispiel Kesseltausch



Quelle: Ostfalia

Ergebnisse der untersuchten Ostfalia-Feldobjekte

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an das Vorhandensein unterjähriger Verbrauchswerte über einen längeren Zeitraum wurden zusätzlich ausgewählte Feldobjekte aus vorangegangenen Untersuchungen der Ostfalia zur quantitativen Auswertung hinzugezogen. Die detaillierten Auswertungen sind in einem eigenständigen Bericht von EOS Ostfalia nachzulesen. Der Bericht steht zum Download auf www.wirksam-sanieren.de und unter www.delta-q.de zur Verfügung.

Die Einschätzung der Verbrauchswerte in den einzelnen Bereichen Heizung, Trinkwarmwasserbereitschaft und Kesselverlust weist große Spannbreiten auf, wie aus nachstehender Abbildung 31 ersichtlich wird. Hier sind die Bandbreiten des Kesselverlusts (QKesselverlust), der Energie für die Trinkwarmwasserbereitung (QTWW) und der Raumwärme (QH) in Abhängigkeit der jeweiligen Baualtersklasse für die von Ostfalia ausgewerteten Objekte dargestellt.

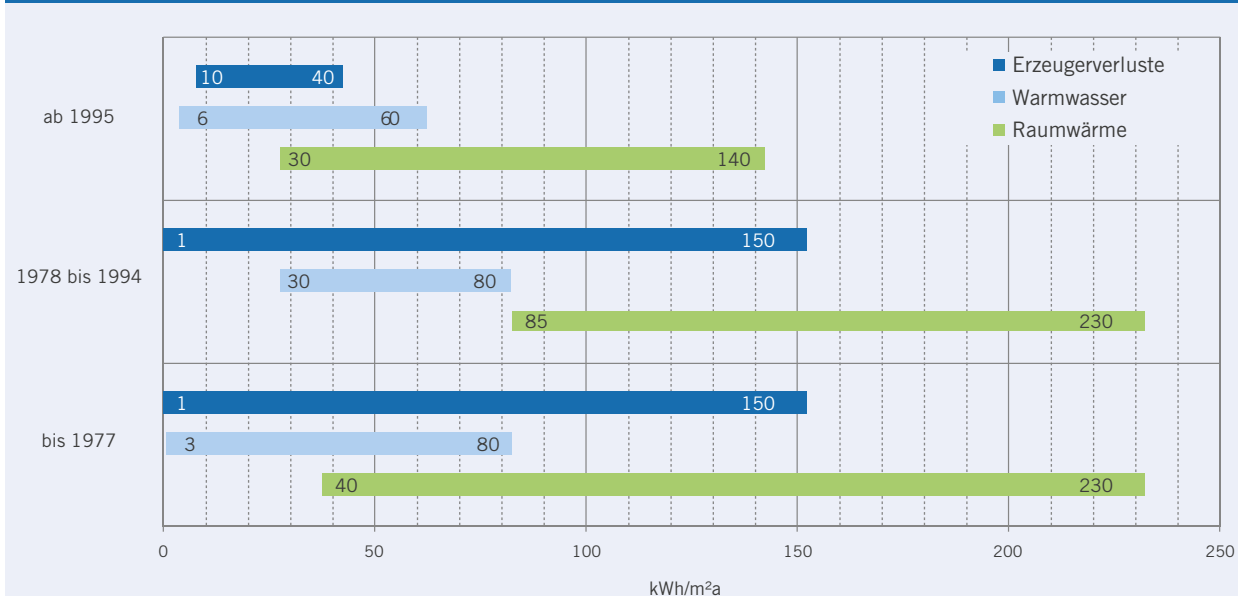
Aufgrund der teilweise sehr hohen Bandbreiten für die Anlagenverluste ist es nicht ausreichend, allein den gesamten Energieverbrauch als Kennzahl für eine energetische Bewertung heranzuziehen. Nur eine Interpretation

von Nutzwärme und Anlagenverlusten erlaubt qualitative Aussagen über die Effizienz der Sanierung/Sanierungswirkung und zeigt gegebenenfalls vorhandene Optimierungspotenziale auf. Diese sind nur zu heben, wenn die Nutzwärme mithilfe von Wärmehäzählern erfasst und dem Endenergiebedarf gegenübergestellt wird.

Beispielobjekte

Im Folgenden werden zwei Beispiele präsentiert, die dem Ostfalia-Sample entstammen und die zusätzlich mögliche Aussagen veranschaulichen. Das Beispiel „Hofgrefestraße“ zeigt deutlich, dass nach einer wärmetechnischen Verbesserung an der Gebäudehülle in der Regel Optimierungsmaßnahmen an der Heizanlage nötig sind, um den Anlagennutzungsgrad aufrechtzuerhalten. Weiterhin wird hier der Einfluss des Nutzerverhaltens sichtbar, der sich nach Sanierungen oft in einer Erhöhung der Komforttemperatur äußert. Anlage „Sachsen-Anhalt“ zeigt einen Best-Practice-Fall einer Heizungserneuerung. Die zuvor fiktiv betrachteten Anlagen machen deutlich, dass eine hohe Effizienz von Neuanlagen nicht immer gewährleistet ist und nur beim Einsatz von Wärmehäzählern überprüft werden kann. Entsprechend wichtig ist es, dass künftig Wärmehäzähler, wie schon bei BHKW üblich, standardmäßig in jeden Heizkessel integriert werden.

Abb. 31 Ostfalia-Feldobjekte: Verbrauchswerte nach Baualtersklasse



Quelle: Ostfalia

Anlagensteckbrief Wärmedämmung Mehrfamilienhaus



Nutzung:	MFH
Baujahr:	1954
Wohnfläche:	837,38 m ²
Wohneinheiten:	18 WE
Bewohner:	24 Personen
Messstellen:	Gaszähler, Wärmemengenzähler Raumheizung
Messzeitraum:	01.01.2011 bis 31.12.2014
Maßnahme:	Fassadendämmung, Dämmung oberste Geschossdecke

Allgemeine Anlagendaten

- Trinkwarmwasserbereitung
- Raumheizung (RH)
- Raumlufthilfsanlage
- Zirkulation

Wärmeerzeuger

Typ:	Brennwert
Energieträger:	Erdgas
Fabrikat:	Buderus G224-X-44LP (Baujahr 1997)
Nennleistung:	2 x 44 kW
Wirkungsgrad:	93 %
Nutzungsgrad:	70 % nach, 72 % vor Sanierung

Art der Trinkwarmwasserbereitung

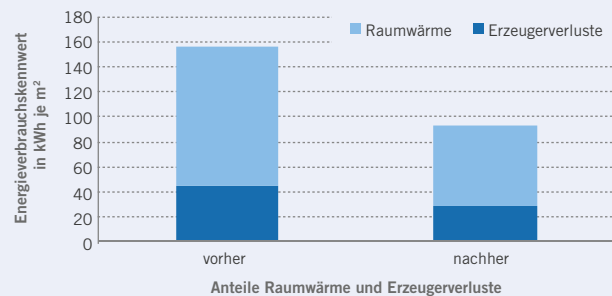
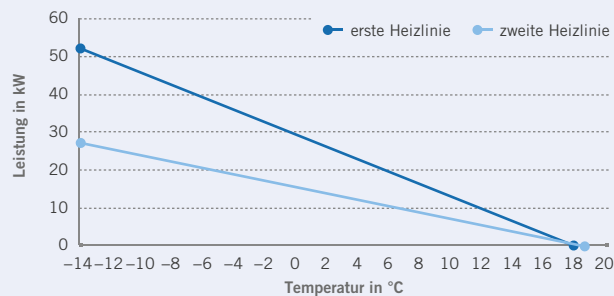
- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	160 mm WDVS
Oberste Geschossdämmung:	10 cm Zwischensparrendämmung
Kellerdeckendämmung:	nicht vorhanden
Fensterqualität:	3-fach-Wärmeschutzverglasung, Kunststoffrahmen

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.01.2011 bis 31.12.2012	01.01.2014 bis 31.12.2014	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	1,618	0,834	-0,784 kW/K
Wärmeverlust:	1,9	1,0	-0,93 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	55	28,4	-26,6 kW
– entspricht	54,7	28,3	-26,5 W/m ²
Heizgrenze:	18,2	18,6	0,4 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	112 kWh/m ² a	65 kWh/m ² a	-42 %
Erzeugerverluste	45 kWh/m ² a	28 kWh/m ² a	-37 %
Gesamt	157 kWh/m ² a	93 kWh/m ² a	-41 %

In Hannovers Stadtteil Stöcken hat die Gesellschaft für Bauen und Wohnen mbH (GBH) die Gebäudehülle einiger Mehrfamilienhäuser im Sommer 2013 mit einem Wärmedämmverbundsystem mit 160 mm Dämmschichtdicke und WLG 035 ertüchtigt. Darüber hinaus wurde die alte Verglasung durch Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt in jedem dieser Gebäude dezentral über elektrische Durchlaufwasserheizer (nicht betrachtet). Sowohl vor als auch nach der Modernisierungsmaßnahme wurden kontinuierlich die Heizenergieverbräuche über einen Wärmemengenzähler direkt hinter dem jeweiligen Kessel erfasst. Es ist zu erkennen, dass sich der Heizenergieverbrauch im Vergleich zur Bestandssituation deutlich verringert hat. Durch die Maßnahme wurde der Dämmstandard von einem Gebäude

der WSV 95 auf ein Niedrig-EH verbessert. Es wird aber auch deutlich, dass sich der Wärmeverlust um etwa 50 Prozent verringert hat, der reale Verbrauch hat sich demgegenüber nur um etwa 40 Prozent reduziert. Dies manifestiert sich zum einen in den geringer gesunkenen Erzeugerverlusten, zum anderen in geändertem Nutzerverhalten. Kennzeichnend dafür ist auch die Erhöhung der Heizgrenztemperatur. Die mögliche Sanierungseffizienz wurde somit nicht erreicht, so dass durch die Optimierung der Kesselregelung (Abschaltzeiten) ein weiteres Potenzial von etwa 3 kWh/m²a gehoben werden könnte. Durch kollektive Verhaltensänderungen könnten 7 kWh/m²a erschlossen werden. Durch nachfolgende Optimierungen wie beispielsweise einen hydraulischen Abgleich dürften weitere maßnahmenbedingte Minderungen möglich sein.

Anlagensteckbrief Heizkesselerneuerung Mehrfamilienhaus

Nutzung:	MFH
Baujahr:	1968
Wohnfläche:	360 m ²
Wohneinheiten:	4 + 1 Gewerbe
Bewohner:	9 Bewohner
Messstellen:	Gaszähler, Wärmemengenzähler
Messzeitraum:	01.01.2008 bis 31.12.2013
Maßnahme:	Kesseltausch (2010)

Allgemeine Anlagendaten

- Trinkwarmwasserbereitung
- Raumheizung (RH)
- Raumluftechnische Anlage
- Zirkulation

Wärmeerzeuger

Typ:	Brennwert
Energieträger:	Erdgas
Fabrikat:	Buderus GB 162-45
Nennleistung:	43,5 kW
Nutzungsgrad:	89% nach, 72% vor Sanierung

Art der Trinkwarmwasserbereitung

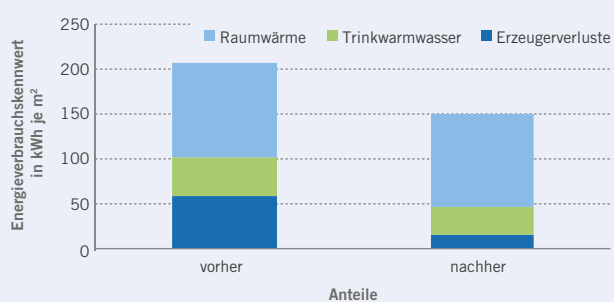
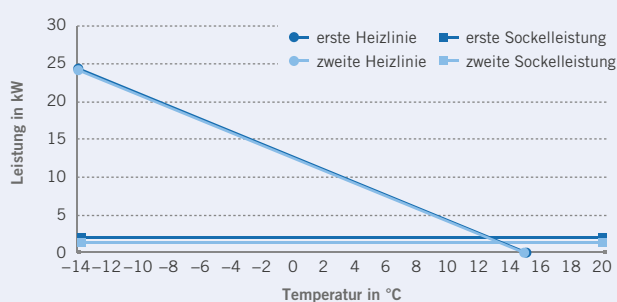
- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	keine Angabe
Oberste Geschossdämmung:	keine Angabe
Kellerdeckendämmung:	keine Angabe
Fensterqualität:	keine Angabe

Energieanalyse basierend auf Gaszählermessständen, alle Werte auf Nutzfläche A_N bezogen

	01.01.2008 bis 31.12.2009	01.01.2011 bis 31.12.2013	Differenz nachher – vorher
Steigung H:	0,852	0,844	-0,008 kW/K
Wärmeverlust:	2,4	2,3	-0,024 W/(m ² ·K)
Gebäudeheizlast:	29,0	28,7	-0,3 kW
– entspricht	67,1	66,4	-0,7 W/m ²
Grundlast:	2,1	1,5	-0,6 kW
– entspricht	5,0	3,4	-1,5 W/m ²
Heizgrenze:	12,5	13,0	0,5 °C



Energiebilanz	EVKW vorher	EVKW nachher	Einsparung
Raumwärme	105 kWh/m ² a	105 kWh/m ² a	-1 %
Trinkwarmwasser	43 kWh/m ² a	30 kWh/m ² a	-30 %
Erzeugerverluste	59 kWh/m ² a	16 kWh/m ² a	-73 %
Gesamt	207 kWh/m ² a	150 kWh/m ² a	-27 %

Für ein Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten und einem Gewerbetrieb mit einer beheizten Wohnfläche von 360 m² im Bundesland Sachsen-Anhalt wurde im Zuge einer Sanierung im Jahr 2010 ein Kesseltausch durchgeführt. Dabei wurde in dem Wohnhaus aus den späten 60er Jahren ein Niedertemperaturkessel durch einen Brennwertkessel ersetzt. Es liegen keine weiteren Angaben zur Gebäudequalität vor. Es ist erkennbar, dass sich der Wärmeverlust

nur unwesentlich verringert hat, der Aufwand für die Trinkwarmwasserbereitung jedoch deutlich reduziert wurde. Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine gelungene Sanierung, bei dem die Erzeugerverluste um 73 Prozent vermindert wurden und der Kesselnutzungsgrad infolge der Sanierung um 20 Prozent stieg. Die Minderung beim Warmwassernutzen muss auf flankierende Maßnahmen am Warmwasserspeicher bzw. an der Warmwasserverteilung zurückzuführen sein.



6

6 EXKURS: QUALITÄTSSICHERUNG BEIM EINSATZ VON WÄRMEPUMPEN (FRAUNHOFER ISE)

Im Folgenden wird die Qualitätssicherung beim Einsatz elektrisch angetriebener Kompressionswärmepumpen beleuchtet, wobei zu erwähnen ist, dass sich die Ausführungen sowohl auf den Sanierungsfall als auch auf den Neubau beziehen können. Damit wird auch der aktuellen Realität auf dem Wärmeerzeugermarkt Rechnung getragen. Denn einerseits ist die Wärmepumpe mit Anteilen zwischen 8,3 und 10,1 Prozent seit 2007²⁰ eine insgesamt konstante Größe, andererseits entfällt davon ein Großteil auf den Neubaubereich. Laut Branchenstudie²¹ lag der Marktanteil im Sanierungsbereich 2012 bei ca. 4 Prozent, im Neubaubereich bei etwa 30 Prozent. Der Anteil bei den Neubauten von 29 bis 32 Prozent in den Jahren 2010 bis 2014²² macht deutlich, dass sich in beiden Bereichen ein konstantes Niveau eingestellt hat.

Hauptgrund ist der thermodynamische Zusammenhang zwischen Effizienz und Betriebstemperaturen beim Wärmepumpenprozess. Im Neubau werden die Maßnahmen für geeignete Betriebstemperaturen von vornherein berücksichtigt, im Sanierungsfall kann der Aufwand wesentlich größer sein.

Die nachfolgenden Abschnitte adressieren daher zwei Themen: einerseits dass Wärmepumpen auch im Sanierungsfall geeignete Lösungen sein können, andererseits die Bedeutung der Qualitätssicherung.

Grundlagen zur Effizienz und Fehlererkennung

Wird im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme der bestehende Wärmeerzeuger durch eine Wärmepumpe ersetzt, verspricht sich der Anlagenbetreiber, den nach etwaigen Sanierungsmaßnahmen am Gebäude verringerten Heizwärmebedarf mit möglichst geringen Kosten zu decken. Nicht minder wichtig sind der Primärenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen. Über das jeweilige Ausmaß dieser Kriterien entscheidet letztlich die Effizienz der Anlage. Zur Bewertung der Effizienz einer Wärmepumpe, also zur Angabe des Verhältnisses von Nutzen zu Aufwand, sind Leistungszahl und Arbeitszahl (AZ) die wichtigsten Kennwerte.

- Die Leistungszahl, auch als „coefficient of performance“ (COP) bezeichnet, wird im stationären Betrieb, also unter konstanten Betriebsbedingungen, ermittelt. Sie gibt das Verhältnis der abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen elektrischen Leistung wieder.
- Die Arbeitszahl beschreibt das Verhältnis der über einen längeren Zeitraum (zum Beispiel ein Jahr) abgegebenen thermischen Energie zur aufgenommenen elektrischen Energie.

Zur Ermittlung ökonomischer, energetischer oder ökologischer Kennwerte ist somit, neben dem Heizwärmebedarf, die Jahresarbeitszahl (JAZ) entscheidend. Die zu erwartende Jahresarbeitszahl ist damit eine wichtige Information bei der Anlagenplanung. Für eine etwaige Förderung, reguliert durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), muss sie ohnehin ermittelt werden. Beispielsweise müssen für eine Basisförderung, die im Gegensatz zur Innovationsförderung nur für Anlagen im Sanierungsfall gezahlt wird, Sole/Wasser-Wärmepumpen (Luft/Wasser-) im Vorfeld eine Jahresarbeitszahl von 3,80 (3,50) rechnerisch nachweisen. Die Berechnung erfolgt auf Basis der VDI 4650. Ferner muss die messtechnische Erfassung des Stromverbrauchs sowie der erzeugten thermischen Energie für Raumheizung und Trinkwassererwärmung durch geeignete Wärmemengenzähler nachgewiesen werden.

Effizienz und Betriebsbedingungen

Die Effizienz der Wärmepumpe hängt stark von den Betriebsbedingungen ab, insbesondere den Temperaturen. Der COP steigt mit Verringerung der Temperaturdifferenz, also mit steigender Quellentemperatur (beispielsweise der Außenluft oder der Sole bei Erdreichanlagen) bzw. mit Reduzierung der Senktemperatur (hier der Heizkreistemperatur). Die Verbesserung des COP liegt im Bereich zwischen 1,5 und 4 Prozent pro Kelvin Verringerung der Temperaturdifferenz im üblichen Wärmepumpenbetrieb.

Einflüsse auf Energiebedarf und Arbeitszahl

Die Einflussparameter auf die Arbeitszahl können grundsätzlich drei Gruppen zugeordnet werden. In der ersten Gruppe geht es um Einflüsse auf den COP, also der Effizienz bei bestimmten Betriebsbedingungen. Dieser

unterscheidet sich bereits von Fabrikat zu Fabrikat. Dass der im Datenblatt dokumentierte COP nicht erreicht wird, kann beispielsweise auf Probleme im Kältekreis zurückzuführen sein. Diese können abrupt wie beim Defekt des Verdichters oder schleichend wie bei kontinuierlichem Kältemittelverlust oder bei Ablagerungen auf der Heizkreisseite des Kondensators auftreten. Zur zweiten Gruppe gehören Faktoren mit Einfluss auf die Betriebstemperaturen der Wärmepumpe. Sie bestimmen, ob sich vorgesehene oder möglicherweise noch günstigere Betriebsbedingungen (beispielsweise bei konservativer Planung) einstellen. Die dritte Gruppe der Einflussfaktoren wirkt sich auf den Hilfsenergieeinsatz aus, zum Beispiel den Energieverbrauch der Pumpen im System.

Eine weitere Kategorisierung der oben genannten Einflussfaktoren ermöglicht die Abgrenzung von Verantwortungsbereichen. Hierfür werden in Abbildung 32 die Einflussfaktoren der zweiten und dritten Gruppe den drei Phasen Planung, Installation und Inbetriebnahme sowie Betrieb zugeordnet. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Reglereinstellungen auch bereits in der Planungsphase definiert werden können.

Grundsätzlich bestimmt der Planer mit der Auswahl und Dimensionierung des Heizsystems – in dem Rahmen, den der Heizwärmebedarf und die räumlichen Gegebenheiten bieten – die erforderlichen Heizkreistemperaturen. Eine

sorgfältige Installation, die fachmännische Inbetriebnahme und ein entsprechendes Nutzerverhalten tragen dazu bei, die geplanten Betriebstemperaturen einzuhalten und die kalkulierten Ergebnisse zu erzielen. Anhand der Schriftfarbe soll verdeutlicht werden, mit welchem Aufwand man den Fehler beheben könnte, würde man ihn während der Betriebsphase feststellen. Im Bereich rot gekennzeichnete Einflussparameter wären nachträgliche Änderungen in der Regel kapitalintensiv und erfordern einen gravierenden Eingriff in das hydraulische System. Bei den blau gekennzeichneten Einflussparametern können ebenfalls weitere Investitionskosten anfallen sowie Eingriffe in die Hydraulik notwendig werden, jedoch beides auf tendenziell geringerem Niveau. Der geringste Aufwand in der Fehlerbehebung fällt bei den grün gekennzeichneten Einflussparametern an. Hierfür wären Änderungen der Reglereinstellungen oder die Aufklärung des Nutzers über sein Verhalten notwendig. Hinsichtlich des Nutzers wird angenommen, dass eine Änderung prinzipiell möglich ist und auch durchgeführt wird.

Fehlererkennung in der Betriebsphase

Wird zur Fehlererkennung eine messtechnische Untersuchung (nachfolgend: Monitoring) durchgeführt, ist vorab das Messziel zu definieren. Dieses kann beispielsweise von der Ermittlung der eingesetzten End- oder Nutzenergie

Abb. 32 Wärmepumpen: Einflüsse auf die Effizienz, wobei die Schriftfarbe den Aufwand einer Fehlerbehebung von hoch (rot) über mittel (blau) bis hin zu gering (grün) bewertet



über die Bestimmung der Betriebsparameter bis hin zur exakten Betriebsanalyse reichen. Ausschlaggebend für das Messziel sind letztlich die vorhandenen Vergleichsgrößen, denen die Messergebnisse gegenübergestellt werden können. Im einfachsten Fall sind das Planungswerte, wie der Heizenergiebedarf oder die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Ferner könnte ein Benchmarking mit vergleichbaren Systemen vorgenommen oder auf Forschungsergebnisse zurückgegriffen werden. Im Mittelpunkt kann auch die Messung von Größen stehen, die für die Anwendung von Bewertungsmethoden notwendig sind, wie sie zum Beispiel in Kapitel 4 erläutert werden. Weiterhin gehört zum Messziel, ob nur die „Wirkung“ (beispielsweise zu hoher Endenergieverbrauch) oder auch mögliche Ursachen (etwa zu hohe Heizkreistemperaturen) detektiert werden sollen.

Auf Basis des Messziels ist ein Monitoring-Konzept zu erstellen, was grundsätzlich durch folgende Hauptgesichtspunkte charakterisiert werden kann:

- Platzierung der Messpunkte
- Zeitschritt der Messwertaufnahme
- Messdauer und -zeitraum
- Fehlergrenzen der Messtechnik
- Aufwand bei der Datenanalyse

Für eine etwaige flächendeckende Qualitätssicherung effizienten Wärmepumpenbetriebs wäre aus ökonomischer Sicht ein eher einfaches Konzept zu erwarten. Dieses könnte sich bei den Messstellen an den bisherigen Gegebenheiten orientieren. So verfügen Wärmepumpen beispielsweise ohnehin über einen separaten Elektrozähler für die Bilanzierung des nach Wärmepumpentarif abgerechneten Stroms. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass durch die technischen Anschlussbedingungen des Versorgers sowie die vielfältigen elektrischen Verschaltungsmöglichkeiten in der Wärmepumpen-Heizungsanlage unterschiedliche Komponenten auf diesem Zähler erfasst werden können. Eine zweite Messpunktconfiguration entspricht der laut BAFA erforderlichen Ausrüstung für die Förderfähigkeit der Anlage. Hierfür ist neben dem Elektrozähler ein Wärmemengenzähler zur gemeinsamen Bilanzierung der von der Wärmepumpe bereitgestellten thermischen Energie zur Raumheizung oder Trinkwassererwärmung zu installieren.

Welchen Einfluss das Monitoring-Konzept auf die möglichen Ergebnisse hat, wird nachfolgend sowie im Kapitel 1 (Abschnitt „Fraunhofer-ISE-Feldtests zu Wärmepumpen“) für unterschiedliche Feldstudien beispielhaft dargestellt.²³

Ergebnisse der untersuchten Fraunhofer-ISE-Feldobjekte

Im Rahmen des Sanierungstests wurden acht Objekte vom Fraunhofer ISE mit Messtechnik ausgestattet und sechs Monate lang untersucht.

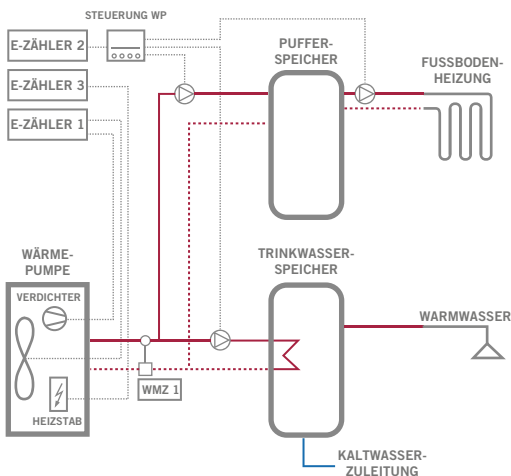
Das Messkonzept basierte auf der Vorgabe, mit geringem Aufwand möglichst viele Informationen zu gewinnen. Für die elektrischen Verbraucher bedeutet dies, dass meist ein Zähler die Hauptkomponenten Verdichter und Ventilator bzw. Solepumpe sowie ein Zähler in unterschiedlichem Ausmaß die übrigen Komponenten (zumeist die Pumpen) im System erfasste. Auf der thermischen Seite wurden entweder ein Wärmemengenzähler für die gemeinsame oder zwei Wärmemengenzähler für die getrennte Erfassung der Energien zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung installiert. Die Planung der Messstellen erfolgte auf Basis der hydraulischen und elektrischen Schemata, die durch die Installateure bereitgestellt oder mit deren Hilfe erstellt wurden.

Zur Erfassung der Wärmeströme wurden Ultraschallwärmemengenzähler der Firma Elster eingesetzt. Die elektrischen Energien wurden mit Elektrozählern erfasst. Die Wärmemengenzähler sind nach EN 1434, die Elektrozähler nach EN 50470 zu Abrechnungszwecken zugelassen. Beide Zählertypen verfügen über eine M-Bus-Kommunikationsschnittstelle, was ein automatisiertes, minutliches Abfragen der Zählerstände ermöglicht. Nachdem die Installation durch die lokalen Handwerker abgeschlossen war, wurden alle Objekte von Mitarbeitern des Fraunhofer ISE besucht.

Bei dieser Begehung wurde zunächst überprüft, ob die Messtechnik von den Fachhandwerkern an den zuvor vorgesehenen Messstellen installiert wurde. Im Anschluss sind die Wärmemengen- und Elektrozähler mit dem Fraunhofer-ISE-Messdatenerfassungssystem verbunden und auf ihre korrekte Funktion hin überprüft worden.

Bei sieben der acht Systeme wurde die Wärmepumpe sowohl für die Raumheizung als auch für die Trinkwassererwärmung eingesetzt. Von diesen sieben Anlagen sind drei bivalent (zwei mit Gastherme und eine mit Ölkessel) ausgeführt, mit jeweils sehr unterschiedlicher Einbindung der bivalenten Erzeuger. Unter den übrigen vier Anlagen befinden sich drei monoenergetisch betriebene Außenluft-Wärmepumpen sowie eine monovalente Erdreich-Wärmepumpe. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse (ähnliche Anlagen und Bilanzgrenzen) liegt der Fokus der Auswertung auf drei Anlagen aus dieser Gruppe. Bei der Einordnung der Arbeitszahlen, beispielsweise aus den ISE-Feldtests, ist auf die jeweils zugrundeliegende Bilanzgrenze sowie die unterschiedlichen Messzeiträume zu achten.

Anlagensteckbrief Außenluft-Wärmepumpe 1



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1956 und 2005
Wohnfläche:	332 m ² , davon 66 % beheizt
Bewohner:	nicht bekannt
Messstellen:	3 Elektrozähler, 1 Wärmemengenzähler
Messzeitraum:	01.02.2015 bis 31.07.2015
Maßnahme:	Fassade, Dach, Fenster, Wärmerezeuger

Wärmerezeuger

Typ:	Außenluft-Wärmepumpe (2009)
Zusatzheizung:	Holzofen und Elektroheizstab
Betriebsart:	–
Nennleistung:	14,8 kW _{th} , COP 3,5 (A2/W35)

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	300 mm Zellulose 040 (2009)
Dachdämmung:	240 mm Zellulose 040 (2009)
Kellerdeckendämmung:	–
Fensterqualität:	3-fach-Wärmeschutzverglasung U _w = 0,85 (2009)

Ergebnisse der Messung 01.02.2015 bis 31.07.2015

$$AZ1 = (Q_{WMZ1} - Q_{EZ3}) / W_{EZ1}$$

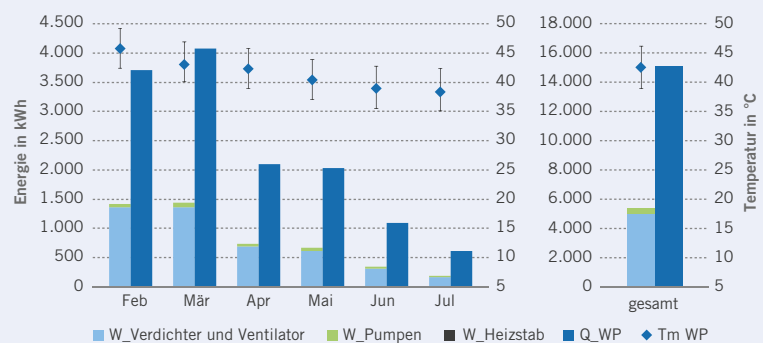
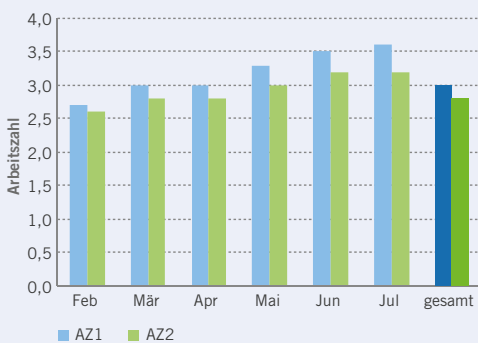
$$AZ2 = Q_{WMZ1} / (W_{EZ1} + W_{EZ2} + W_{EZ3})$$

WMZ1: Raumheizung vor Pufferspeicher (PS) u. Trinkwarmwasserspeicher (TWS)

EZ1: Verdichter und Ventilator

EZ2: Steuerung, Ladepumpe TWS, Ladepumpe PS

EZ3: Heizstab



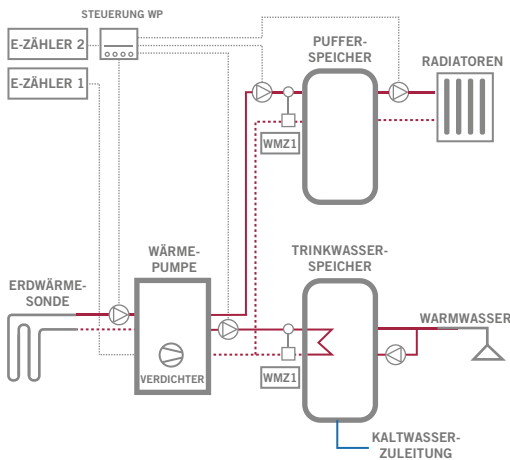
Ergebnisse

Bei diesem Untersuchungsobjekt werden im Februar durchschnittlich 46 Grad Celsius und im Juli 39 Grad Celsius gemessen (T_m). Sofern die Heizkurve und die Trinkwarmwassersolltemperatur im Messzeitraum nicht verändert wurden, ist davon auszugehen, dass die Heizkreistemperatur oberhalb des Planungswertes von 40 Grad Celsius liegt und die Trinkwarmwassertemperatur ungewöhnlich gering ist. Letzteres scheint aber ausreichend zu sein, sonst wäre das von den Nutzern sicherlich reklamiert worden. Bei der Heizkreistemperatur kann man im einfachsten Fall die Heizkurve nach unten anpassen. Unter Berücksichtigung der Betriebstemperaturen wurde dennoch eine relativ hohe Arbeitszahl von 3,0 und 2,8 ermittelt. Auch bei dieser Anlage zeigt sich der hohe Stand-by-Anteil im Sommer. Ein Betrieb des Heizstabes wurde nicht gemessen.

Einschätzung zum Monitoring-Konzept

Ein Wärmemengenzähler entspricht den Anforderungen des BAFA. Drei Elektrozähler werden zukünftig eher nicht zu einem Standard-Messkonzept gehören. Unter Annahme einer einmaligen Ablesung erlaubt dieses Konzept die Ermittlung des gesamten Stromverbrauchs, der thermischen Energie und der Jahresarbeitszahl (Vergleich mit Planungs- oder Benchmarkwerten). Die zusätzlichen E-Zähler ermöglichen einen Vergleich der komponentenbezogenen Verbräuche mit Benchmarkwerten. Der Energieverbrauch des Heizstabes könnte etwaige Fehlbetriebe oder Abweichungen zur geplanten Dimensionierung aufzeigen. Speziell im vorliegenden Fall konnte Kenntnis über die Heizkreistemperaturen nur erlangt werden, weil die Temperaturen im Betrieb mitgeloggt und für separate Zeiträume in der Heizperiode und im Sommer gemittelt wurden.

Anlagensteckbrief Erdreich-Wärmepumpe



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1933
Wohnfläche:	125 m ²
Bewohner:	3 Personen
Messstellen:	2 Elektrozähler, 2 Wärmemengenzähler
Messzeitraum:	12.02.2015 bis 31.07.2015
Maßnahme:	Fassade, Dach, Fenster, Wärmeerzeuger

Wärmeerzeuger

Typ:	Erdreich-Wärmepumpe (2009)
Zusatzheizung:	–
Betriebsart:	monovalent
Nennleistung:	6,2 kW _{th} , COP 4,5 (B0/W35)

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	100 mm Hartschaum (2013–15)
Dachdämmung:	100 mm Hartschaum (2011)
Kellerdeckendämmung:	–
Fensterqualität:	3-fach-Wärmeschutzverglasung U _w = 0,85 (2013)

Ergebnisse aus der Messung 12.02.2015 bis 31.07.2015

$$AZ1 = (Q_{WMZ1} + Q_{WMZ2}) / W_{EZ1}$$

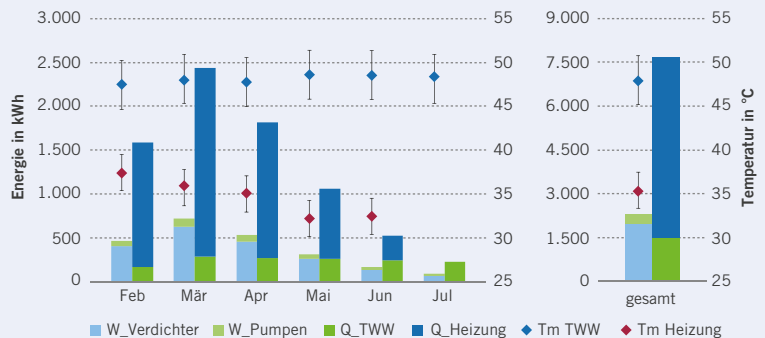
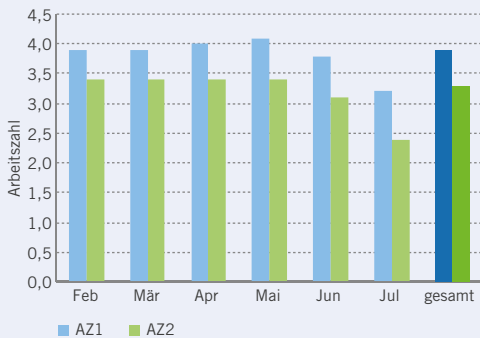
$$AZ2 = (Q_{WMZ1} + Q_{WMZ2}) / (W_{EZ1} + W_{EZ2})$$

WMZ1: Raumheizung vor Pufferspeicher (PS)

WMZ2: Beladung Trinkwarmwasserspeicher (TWS)

EZ1: Verdichter

EZ2: Steuerung, Solepumpe, Ladepumpe TWS, Ladepumpe PS, Heizkreispumpe



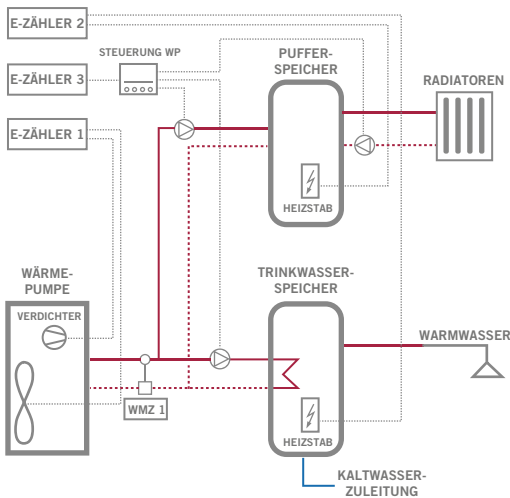
Ergebnisse

Wie die Messergebnisse zeigen, schlagen sich die Sanierungsmaßnahmen äußerst positiv im Wärmepumpenbetrieb nieder. Der verringerte Heizwärmebedarf führte dazu, dass mittlere monatliche Heizkreistemperaturen von maximal 37 Grad Celsius ausreichten (35 Grad Celsius im gesamten Zeitraum). Das Trinkwarmwasser wurde auf Temperaturen von durchschnittlich 48 Grad Celsius erwärmt. Im Untersuchungszeitraum lag der Anteil an der thermischen Energie für die Trinkwassererwärmung bei 19 Prozent (3 Bewohner). Letztlich wurde im Untersuchungszeitraum eine Arbeitszahl von 3,9 (Verdichter) bzw. 3,3 (+ Solepumpe, Steuerung, Pumpen in Wärmenutzungsanlage) ermittelt. Mit Blick auf die Monatswerte wird der Unterschied zwischen Heiz- und Sommerperiode deutlich. Im Juli arbeitet die Wärmepumpe nur noch im Trinkwarmwassermodus. Die erforderlichen Temperaturen schlagen sich in der Effizienz nieder. Anhand der Unterschiede beider Arbeitszahlen wird deutlich, dass im Sommer die Hilfsenergien einen größeren Anteil am Gesamtverbrauch ausmachen.

Einschätzung zum Monitoring-Konzept

Die installierte Messtechnik mit zwei Elektrozählern sowie zwei Wärmemengenzählern übertrifft die Anforderungen des BAFA und ist nicht als Standardlösung im Hinblick auf eine flächendeckende Qualitätssicherung für effizienten Wärmepumpenbetrieb zu erwarten. Auf Basis einer Ablesung pro Jahr können mit dieser Zählerkonfiguration der gesamte Stromverbrauch, die bereitgestellte thermische Energie sowie die Jahresarbeitszahl ermittelt und Planungs- oder Benchmarkwerten gegenübergestellt werden. Der zweite E-Zähler würde einen Vergleich der komponentenbezogenen Verbräuche mit Benchmarkwerten erlauben; Planungswerten liegen in der Regel andere Bilanzgrenzen zugrunde. Die Aufteilung der thermischen Energien erlaubt wiederum den Vergleich mit Planungswerten. Die Ermittlung von getrennten Effizienzwerten wäre nicht möglich.

Anlagensteckbrief Außenluft-Wärmepumpe 2



Nutzung:	EFH
Baujahr:	1965
Wohnfläche:	380 m ² , davon 80 % beheizt
Bewohner:	2 Personen
Messstellen:	3 Elektrozähler, 1 Wärmemengenzähler
Messzeitraum:	01.02.2015 bis 31.07.2015
Maßnahme:	Dach, Fenster, Wärmeerzeuger

Wärmeerzeuger

Typ:	Außenluft-Wärmepumpe (2010)
Zusatzheizung:	Holzofen und Heizstäbe
Betriebsart:	–
Nennleistung:	14,9 kW _{th} , COP 3,0 (A2/W35)

Gebäudehülle

Fassadendämmung:	–
Dachdämmung:	160 mm Steinwolle 035 (1990)
Kellerdeckendämmung:	100 mm Styropor 040 (2010)
Fensterqualität:	2-fach-Wärmeschutzverglasung (2005)

Ergebnisse aus der Messung 01.02.2015 bis 31.07.2015

$$AZ1 = Q_{WMZ1} / W_{EZ1}$$

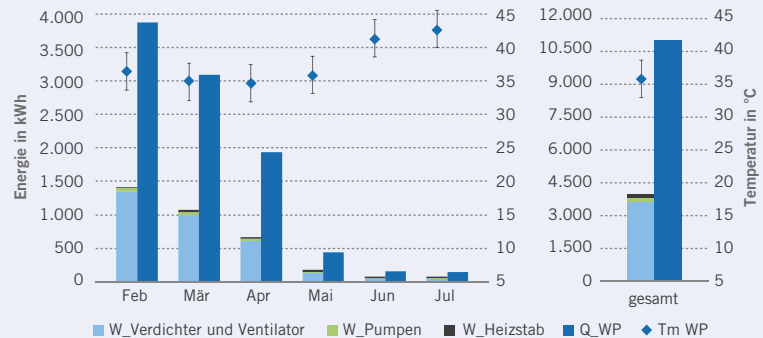
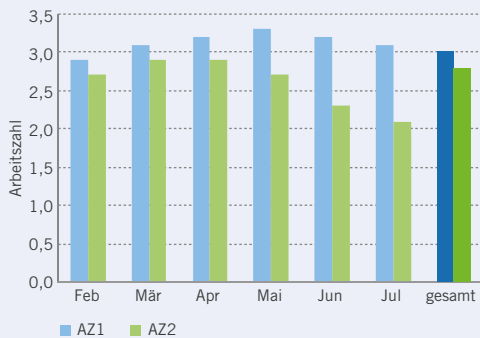
$$AZ2 = (Q_{WMZ1} + Q_{EZ3}) / (W_{EZ1} + W_{EZ2} + W_{EZ3})$$

WMZ1: Raumheizung vor Pufferspeicher (PS) u. Trinkwarmwasserspeicher (TWS)

EZ1: Verdichter und Ventilator

EZ2: Steuerung, Ladepumpe TWS, Ladepumpe PS

EZ3: Heizstäbe



Ergebnisse

Bei den Messergebnissen stechen vor allem die geringen Heizkreistemperaturen hervor. Hierzu tragen vor allem die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs bei. Gleichzeitig können aber auch die Radiatoren bereits überdimensioniert gewesen sein. Der Einfluss durch den Trinkwarmwasserbetrieb mit mittleren Temperaturen um 43 Grad Celsius ist relativ gering. Im Juli wurden nur knapp 150 kWh benötigt, was auch auf den kleinen 2-Personen-Haushalt zurückgeführt werden kann. Bemerkenswert ist außerdem der scheinbar konstante Strombedarf für den Heizstab. Dieser ist auf ein wöchentliches Aufheizen des Trinkwarmwasserspeichers zur Vermeidung von Legionellen zurückzuführen. Die Arbeitszahlen für den gesamten Messzeitraum sind auf einem durchschnittlichen Niveau. Der Einfluss des Heizstabes auf die Effizienz zeigt sich deutlich in den Monatsarbeitszahlen (AZ2) und steigt mit abnehmendem Heizenergiebedarf.

Einschätzung zum Monitoring-Konzept

Das Messkonzept entspricht jenem der Außenluft-Wärmepumpe 1 und wird dort grundlegend beschrieben. Zusätzlich zu erwähnen ist der Vorteil bei der aktuellen Anlage, dass durch die geringeren Temperaturen im Heizbetrieb die einzelnen Betriebsmodi prinzipiell aufgeteilt werden könnten. Speziell für diese Anlage kann auf die Detektierung des Legionellenbetriebs eingegangen werden. Dieser könnte beispielsweise standardmäßig eingestellt sein, obwohl er nicht notwendig ist. Da beide Heizstäbe gemeinsam vermessen werden, die Nennleistung nicht bekannt ist und der Wärmemengenzähler sich vor den Heizstäben befindet, könnte dieser Betrieb prinzipiell keinem Betriebsmodus zugeordnet werden. Wäre nur ein Stromzähler installiert, würde dieser Verbrauch auch nicht auffallen. Festzustellen und zuzuordnen ist dieser Betrieb durch die Ermittlung der Effizienz im Sommer oder durch eine kontinuierliche Messwertaufnahme und entsprechende Auswertung.

Best Practice für Wärmepumpen im Sanierungsfall

Im Folgenden werden zwei Beispiele für den erfolgreichen Einsatz von Wärmepumpen im Sanierungsfall vorgestellt. Die Untersuchungsobjekte haben gemeinsam, dass Verbesserungen lediglich im Bereich der Anlagentechnik erfolgten und keine Maßnahmen zur Minderung des Heizenergiebedarfs durchgeführt wurden. Die Untersuchung beider Anlagen erfolgte unter anderem im Rahmen des „WP Monitor“-Projekts.

Die Bilanzgrenzen zur Ermittlung der Arbeitszahlen (AZ) wurden so gewählt, dass sie besser mit den Ergebnissen der Feldtestanlagen vergleichbar sind. In beiden Fällen wird die thermische Energie für beide Arbeitszahlen direkt nach der Wärmepumpe bilanziert. Die AZ1 berücksichtigt jeweils Verdichter und Quellenpumpen, die AZ2 zusätzlich die Steuerung, die Heizstäbe sowie die gemessenen Pumpen.

Best-Practice-Anlage 1

Das Untersuchungsobjekt befindet sich in Illerkirchberg in Baden-Württemberg.

Gebäude und Nutzung

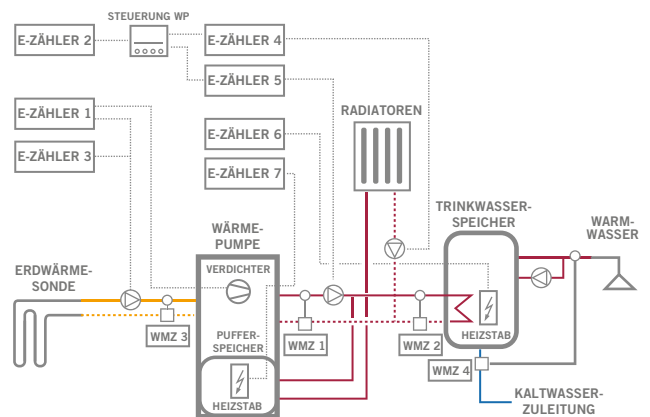
Das von zwei Personen bewohnte Einfamilienhaus wurde im Jahr 1973 erbaut. Es handelt sich um ein am Ende

stehendes Reihenhaus mit einer Gebäudenutzfläche von 170 m². Die Heizlast wird mit 11 kW angegeben. Im Jahr 2010 ist der bestehende Ölkessel gegen eine erdgekoppelte Wärmepumpe ausgetauscht worden, was gleichzeitig den Startschuss für die messtechnische Untersuchung der Anlage bedeutete. Der Ölverbrauch lag vor dem Tausch bei ca. 3.000 Litern pro Jahr für Heizung und Trinkwarmwasser. Neben dem Tausch des Wärmeerzeugers (weitere sind nicht vorhanden) wurden keine weiteren Sanierungsmaßnahmen am Gebäude durchgeführt.

Wärmepumpen-Heizungsanlage und Messtechnik

Wie im Anlagenschema dargestellt, versorgt die Wärmepumpe über einen seriell eingebundenen 100-Liter-Pufferspeicher den Heizkreis. Die Wärmeübertragung an den Raum erfolgt ausschließlich über Radiatoren. Sowohl im Puffer- als auch im Trinkwarmwasserspeicher (300 Liter) wurden Elektroheizstäbe als Backup installiert. Die Trinkwarmwasserleitung verfügt über eine Zirkulation.

Die Wärmepumpe hat nach EN 14511 bei B0/W35 (bei B0/W45) eine Heizleistung von 10,9 kW (10,3 kW) sowie einen COP von 4,5 (3,5). Die Wärmequellenanbindung besteht über zwei mit einem Wasser-Ethylglykol-Gemisch (25 Prozent) befüllte Doppel-U-Erdwärmesonden mit einer Gesamtlänge von 200 Metern. Als Antrieb wird eine hocheffiziente Solepumpe eingesetzt. Gleiches gilt für die Umwälzpumpe im Heizkreis, während im Ladekreis zum Trinkwarmwasserspeicher eine Standard-Pumpe eingesetzt wird.



Die vier Wärmemengenzähler ermöglichen die Bilanzierung der Wärmequelle, der von der Wärmepumpe bereitgestellten Energie (gesamt und nach Betriebsmodus) sowie des gezapften Trinkwarmwassers. Neben den Energien werden die Temperaturen und Volumenströme erfasst. Zur separaten Bilanzierung aller elektrischen Verbraucher (außer der Zirkulationspumpe) inklusive Steuerung wurden sieben Elektrozähler eingesetzt. An der Nordwand des Gebäudes wurde zudem ein Außentemperaturfühler angebracht.

Ergebnisse

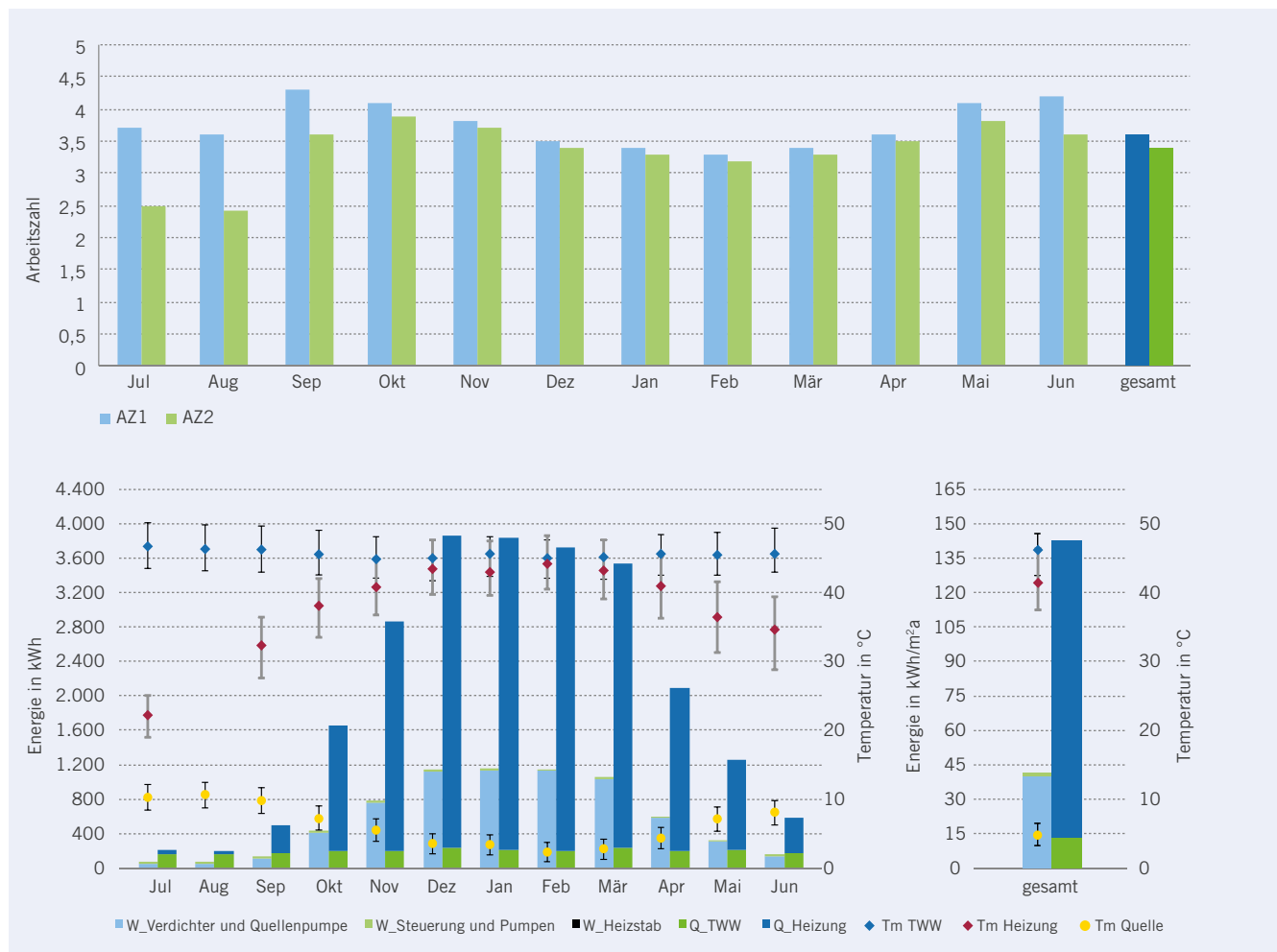
Zwischen 2011 und 2014 lag der jährliche Energiebedarf zur Raumheizung zwischen 82 und 124 kWh/m² sowie zwischen 14 und 17 kWh/m² für die Trinkwassererwärmung. Die Jahresarbeitszahlen (Bilanzgrenze 2) wurden zwischen 3,5 und 3,8 ermittelt. Nachfolgend werden die Ergebnisse beispielhaft anhand der Messdaten des Zeitraumes Juli 2012 bis Juni 2013 erläutert. Hierfür zeigen die folgenden Abbildungen die wichtigsten Messwerte und Arbeitszahlen für die eingangs erläuterten Bilanzgrenzen auf Monats- sowie Jahresbasis.

Die Monatswerte veranschaulichen deutlich den Zusammenhang zwischen Effizienz und Betriebstemperaturen.

Quellenseitig liegen diese im Jahresverlauf, maßgeblich vom Wärmeentzug beeinflusst, zwischen 2 und 11 Grad Celsius. Senkenseitig sind die energetischen Anteile für Raumheizung und Trinkwassererwärmung sowie die Heizkreistemperaturen, die sich nach Heizkurve im Mittel zwischen 32 und 45 Grad Celsius bewegen, ausschlaggebend. Die Temperaturen zur Trinkwassererwärmung sind, mit Werten zwischen 45 und 47 Grad Celsius, vergleichsweise konstant.

Die letztlich zu überwindende mittlere Differenz der Quellen- und Senkentemperaturen sorgt in der Kernheizperiode und in den Sommermonaten für geringere Arbeitszahlen. Die höchsten Arbeitszahlen werden in Phasen mit geringem Heizenergiebedarf erreicht. In diesen Übergangsphasen stellen sich hohe Quellentemperaturen ein und es sind nur geringe Heizkreistemperaturen erforderlich. Diese Kombination wurde im konkreten Fall sogar im Juni beobachtet.

Weiterhin zeigt sich, dass mit Erweiterung der Bilanzgrenze die Abhängigkeit vom Temperaturhub abnimmt. Die betrifft beispielsweise den anteilig hohen Stand-by-Verbrauch im Sommer. Ferner kann zu den Elektroverbrauchern festgestellt werden, dass die Heizstäbe (zwischen



2011 und 2014) nicht eingesetzt wurden und vor allem der Antrieb in der Wärmequelle einen vergleichsweise geringen anteiligen Energieverbrauch verursachte.

Zusammenfassend handelt es sich bei dieser Anlage um ein gutes Beispiel dafür, wie bereits bestehende Voraussetzungen für effizienten Wärmepumpenbetrieb im Bestandsgebäude gut ausgenutzt werden. Hierfür spricht vor allem, dass die Wärmeübergabe an den Raum mit geringen Temperaturen erfolgt. Dies spricht für eine bereits vorherige Überdimensionierung der Radiatoren. Ebenfalls positiv auf die Arbeitszahl wirken sich der geringe Trinkwarmwasserbedarf, die effizienten Pumpen, die nicht in Betrieb genommenen Heizstäbe und eine ausreichend dimensionierte Wärmequelle aus.

Best-Practice-Anlage 2

Die Anlage befindet sich in Gengenbach in Baden-Württemberg.

Gebäude und Nutzung

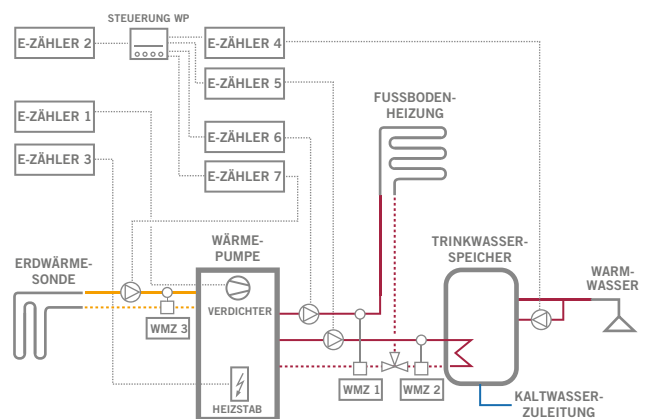
Bei diesem Untersuchungsobjekt ist die Wärmepumpe in einem vergleichsweise großen Einfamilienhaus mit einer Gebäudenutzfläche von 320 m² installiert. Die Heizlast wird mit 13 kW angegeben und das Gebäude wurde im Untersuchungszeitraum von fünf Personen bewohnt. Die erdreichgekoppelte Wärmepumpe wurde 2008 in Betrieb genommen und die messtechnische Untersuchung startete im November 2009.

Wärmepumpen-Heizungsanlage und Messtechnik

Das Anlagenschema zeigt, dass die Wärmepumpe den Heizkreis direkt (ohne Zwischenspeicher) belädt und die Wärmeübertragung an den Raum über Fußbodenheizungen erfolgt. Das Trinkwasser erwärmt die Wärmepumpe in einem konventionellen Speicher mit einem Volumen von 500 Litern. Die Trinkwarmwasserleitung verfügt über eine Zirkulation. Für beide Betriebsmodi kann ein Elektroheizstab (3/6/9 kW), der sich im gemeinsamen Vorlauf befindet, zugeschaltet werden. Weitere Wärmeerzeuger sind nicht vorhanden. Die eingesetzte Wärmepumpe erzielt nach EN 14511 bei B0/W35 eine Heizleistung von 12,1 kW bei einem COP von 4,7. Die Wärmequellenanbindung erfolgt über eine Doppel-U-Erdwärmesonde mit einer unüblichen Tiefe von 300 Metern. Vor allem aufgrund genehmigungsrechtlicher Vorgaben sind Erdwärmesonden in der Regel maximal bis 100 Meter Tiefe in das Erdreich eingebracht.

Die Tiefe der hier betrachteten Erdwärmesonde wirkt sich in erster Linie auf höhere Quellentemperaturen aus. Diese ermöglichen gleichzeitig den Einsatz von Wasser ohne zusätzlichen Frostschutz. Hierdurch werden die Wärmeleitfähigkeit, die Wärmekapazität sowie die Viskosität, die sich auf den Druckverlust auswirkt, positiv beeinflusst. Weiterhin verfügt die Anlage über eine Hocheffizienzpumpe in der Quelle sowie über Standard-Pumpen in der Wärmenutzungsanlage.

Mit den drei im Anlagenschema dargestellten Wärmemengenzählern (WMZ) werden die Wärmequelle sowie



die von der Wärmepumpe bereitgestellte Energie (gesamt und nach Betriebsmodus) bilanziert und zusätzlich die Betriebstemperaturen sowie die Volumenströme erfasst. Durch den Einsatz von sieben Elektrozählern werden die Energieverbräuche des Verdichters, der Steuerung, des Heizstabs sowie der Pumpen im Quellenkreis, in den Ladekreisen und im Zirkulationskreis separat bilanziert. Zusätzlich wurde ein Sensor zur Ermittlung der Außentemperatur installiert.

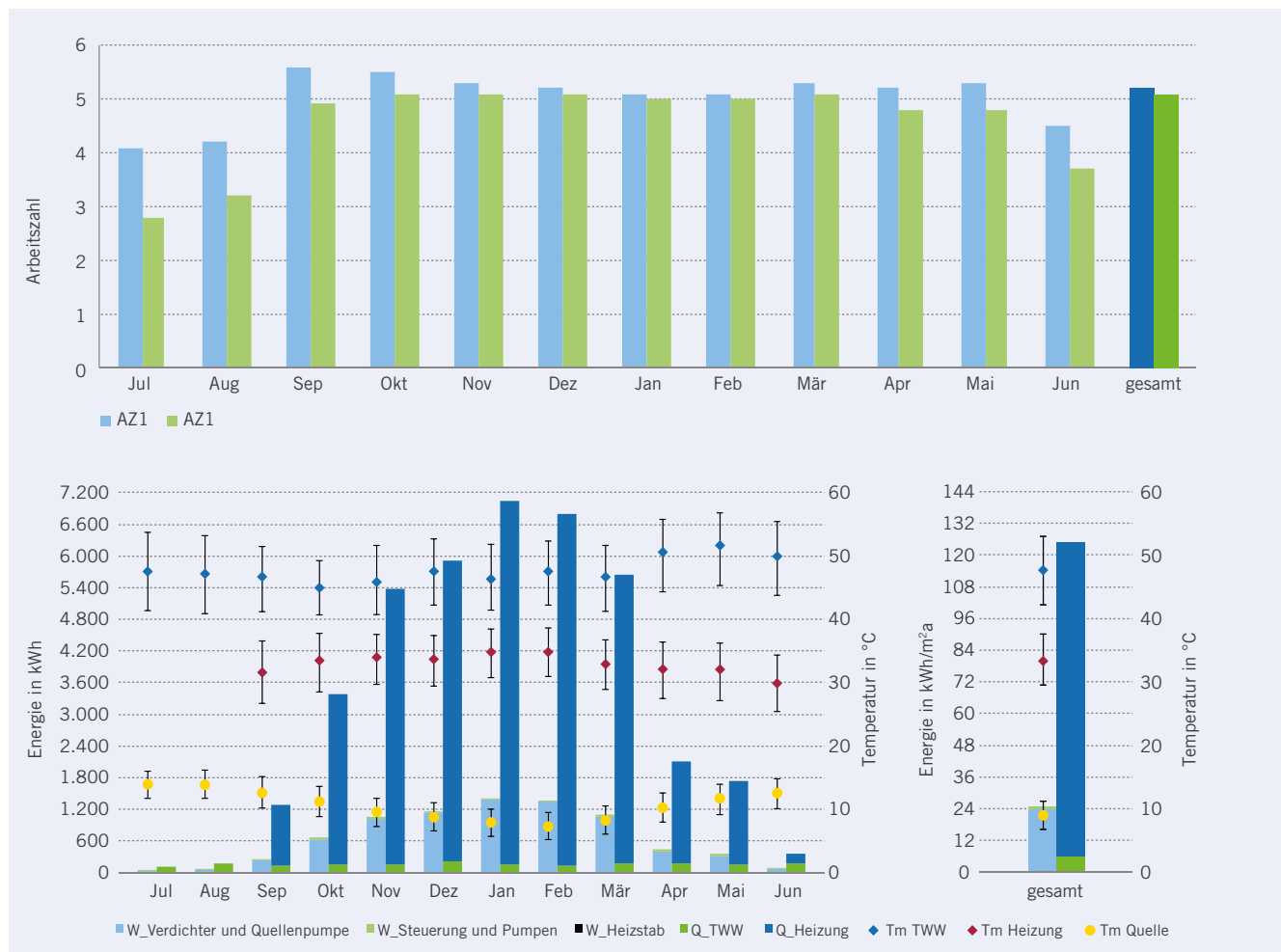
Ergebnisse

In den Jahren 2010 bis 2014 hat die Wärmepumpe jährlich zwischen 81 und 122 kWh/m² für die Raumheizung und jeweils um 7 kWh/m² für die Trinkwassererwärmung bereitgestellt. Die Jahresarbeitszahlen (Bilanzgrenze 2) lagen dabei zwischen 5,0 und 5,2. Nachfolgend werden diese Effizienzwerte anhand der Messdaten für den Zeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 erläutert.

Die mittlere monatliche Wärmequellentemperatur bewegt sich zwischen 7 Grad Celsius im Februar und 14 Grad Celsius im Juli. Damit ist sie einerseits höher und andererseits konstanter als bei konventionell dimensionierten Wärmequellenanlagen zur Nutzung des Erdreichs. Die

Fußbodenheizung ermöglicht eine mittlere monatliche Heizkreistemperatur von lediglich 30 bis 35 Grad Celsius. Die Temperaturen zur Erwärmung des Trinkwassers bewegen sich von Juli bis März zwischen 45 und 48 Grad Celsius. Anschließend kam es zu einer Änderung der Solltemperatur, woraufhin mittlere Temperaturen von 50 Grad Celsius gemessen wurden. Infolge der geringen energetischen Anteile für die Trinkwassererwärmung hat dieser Betriebsmodus nur in der Übergangsphase sowie den Sommermonaten signifikanten Einfluss auf die Arbeitszahl, was sich in entsprechend geringeren Werten im Juni, Juli und August widerspiegelt. In diesen Monaten zeigen die unterschiedlichen Bilanzgrenzen auch den Einfluss des Stand-by-Anteils am Gesamtenergieverbrauch.

Für die im Sanierungsfall extrem hohen Arbeitszahlen sind somit vor allem zwei Aspekte entscheidend. Erstens ermöglichen die bereits vorhandene Fußbodenheizung und die unkonventionelle Wärmepumpendimensionierung einen sehr geringen Temperaturhub im Heizbetrieb. Zweitens führt der unverändert hohe Heizenergiebedarf dazu, dass die Wärmepumpe überwiegend in diesem vergleichsweise effizienten Betriebsmodus arbeiten kann.



Fazit und Empfehlungen für einfache Monitoring-Konzepte

Sowohl die Ergebnisse der ISE-Feldtests als auch jene der drei im Detail vorgestellten Einzelanlagen machen deutlich, dass ein Teil der installierten Wärmepumpen aufgrund verschiedenster Einflussmöglichkeiten nicht die zu erwartenden Effizienzwerte erzielt. Der dadurch erhöhte Stromverbrauch sollte primär den Anlagenbetreiber zum Handeln bewegen. Dies ist nach den bisherigen Erfahrungen kaum der Fall, was insofern nachvollziehbar ist, als dass der Komfort nicht beeinflusst wird und bei Ersatz eines Heizkessels die Stromkosten immer noch unter den vorherigen für Gas oder Heizöl liegen können.

Mit geeigneten Monitoring-Konzepten und Auswertungsmethoden könnten etwaige Probleme detektiert und die Effizienzwerte verbessert werden. Mögliche Monitoring-Konzepte wurden in den vorherigen Kapiteln bereits vorgestellt. Aufgrund des geringen Kostenrahmens (Einsparpotenzial bei einer einzelnen Anlage) ist für ein flächendeckendes Monitoring jedoch von einem einfachen Konzept auszugehen. Dieses kann beispielsweise auf Messstellen beruhen, die vom BAFA für eine Förderung bereits vorgeschrieben sind. Wie anhand der Beispielanlagen beschrieben, bieten diese Messstellen-Konfigurationen nicht nur die Möglichkeit, Energiebilanzen aufzustellen und sie Planungswerten gegenüberzustellen. Es wären prinzipiell tiefer gehende Analysen der Betriebsparameter möglich, wofür jedoch weitere Entwicklungsschritte notwendig wären. Dies betrifft vor allem eine systematische Untersuchung der Aussagekraft der ermittelbaren Größen bei unterschiedlichen Zeitschritten sowie möglicher Vergleichswerte (wie Kennlinien, Benchmarks). Gleichzeitig müssen einfache Bewertungsmethoden die Vielzahl unterschiedlicher Systemkonzepte berücksichtigen. Eine entscheidende Rolle können dabei auch innovative Features von Elektro- und Wärmemengenzählern spielen.



7

7 EMPFEHLUNGEN UND AUSBLICK

Die Ergebnisse des Sanierungstests und vorangegangene Studien zeigen, dass der Bereich Sanierungswirkung nicht ausgeschöpfte Potenziale für den Klimaschutz und die Energieeffizienz bietet, die kosteneffizient genutzt werden können. In Deutschland könnten jährlich mindestens 4,7 bis 6,2 Mio. Tonnen CO₂ zusätzlich eingespart werden, wenn geltende Qualitätsstandards (unter anderem zur Heizungsoptimierung) bei erfolgten Sanierungsmaßnahmen und begleitendes Monitoring bei Gebäuden mit Baujahr nach 1978 nachträglich angewendet würden.

Zusätzliches Minderungspotenzial besteht, wenn bei aktuell anstehenden Dämmmaßnahmen und Kesselerneuerungen eine Qualitätssicherung und eine Optimierung durch hydraulischen Abgleich konsequent umgesetzt würden.

Maßgeblich für die ungenutzten Klimaschutzpotenziale ist die fehlende Qualitätssicherung vor, während und nach der Sanierung, begleitet von einer mangelnden Ausschöpfung bestehender Beratungs- und Förderangebote. So nimmt nur jeder Dritte eine Energieberatung/Maßnahmenbegleitung in Anspruch, weniger als die Hälfte (40 Prozent) nutzt Förderprogramme. Auch gesetzliche Anforderungen werden unzureichend erfüllt und nicht ausreichend nachverfolgt.

Die Autoren der Studie empfehlen, neben der Thematisierung von Sanierungsquote und Sanierungstiefe den Aspekt der Sanierungswirkung stärker in den Fokus zu rücken. Qualifizierte Energieberatung, geschultes Handwerk im Bereich der Qualitätssicherung und die regelmäßige Nutzung von Monitoring- und Feedback-Instrumenten für den Verbraucher sind die Stellschrauben für mehr Sanierungswirkung. Sowohl in der Ordnungs- als auch in der Förderpolitik gibt es sinnvolle Ansatzpunkte, die durch feedbackbasierte Kommunikationsmaßnahmen begleitet werden sollten.

Geltende Qualitätsstandards in Ordnungspolitik und Aus- und Weiterbildung von Energieberatern und Handwerkern fester verankern

Der hydraulische Abgleich sollte als bedingte Nachrüstungs-pflicht bei Veränderung an Wärmehülle oder Wärmeerzeugung sowie für den Neubau in die EnEV aufgenommen werden. Des Weiteren bietet die mögliche Zusammenführung der EnEV und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) die Chance, sich überschneidende Bedingungen zu beseitigen. In diesem Zuge sollte die umweltrelevante Bewertung von Primärenergiebedarf auf Endenergie und CO₂-Emissionen umgestellt werden²⁴. So könnte die Qualität in der Ausführung auf Seiten des Handwerks gesteigert werden. Die Qualitätssicherung sowie das Grundlagenverständnis der Zusammenhänge sollten wieder fester Bestandteil der Aus- und Weiterbildung in der Energieberatung und des Handwerks sein.

Erfolgsnachweise bei Förderinstrumenten einführen

Förderinstrumente der KfW und des BAFA sollten mit einem Erfolgsnachweis auf Basis der Bewertungsmethode EAV und eines onlinebasierten Monitorings, zum Beispiel durch das Energiesparkonto, verknüpft werden (Vorbild: proKlima Hannover). Dies liefert den notwendigen Anreiz für die Nachfrage nach Qualitätssicherung auf Seiten der Verbraucher und ermöglicht eine Steigerung der Wirksamkeit von eingesetzten Fördermitteln. Perspektivisch sollte eine stärkere Verankerung von Monitoring-Instrumenten für Energieberatung in Pilotprojekten getestet werden.

Wärmemengenzähler und Smart Meter für Feedback nutzen

Voraussetzung für die Bewertung anstehender oder erfolgter Sanierungsmaßnahmen ist die Messung des Energieverbrauchs. Für eine deutliche Steigerung der Sanierungseffizienz ist ein automatisches, unterjähriges Monitoring mit begleitendem Feedback unabdingbar. Eine stärkere Marktdurchdringung von Wärmemengenzählern könnte erzielt werden, indem bestehende Förderinstrumente mit dem Einbau von Wärmemengenzählern verbunden werden.

Eine weitere Möglichkeit bietet die EU-Ökodesign-Richtlinie 2018, die den werkseitigen Einbau von Wärmemengenzählern fordern könnte und somit die Kosten für einen nachträglichen Einbau reduzieren würde. Des Weiteren sollte die flächendeckende Einführung von Smart Metern für Erdgas und Fernwärme vorangetrieben werden.

Nachfrage nach Förder- und Beratungsangeboten sowie Feedback-Instrumenten steigern

Verbrauchern, aber auch Experten, fehlt es an Transparenz, um den Erfolg von Sanierungsmaßnahmen bewerten zu können. Die Angebote, beispielsweise der vom Bundesumweltministerium geförderten Klimaschutzkampagne (Energiesparkonto, Heizenergiemonitor), ermöglichen die Bewertung anstehender und erfolgter Maßnahmen und liefern eine wichtige Motivation für einen Handlungsimpuls. Es gilt, diese Ansätze besser mit bestehenden Förder- und Beratungsangeboten zu verknüpfen. Durch eine zielgruppendifferenzierte Ansprache und dauerhafte Dialogangebote kann die Nachfrage und somit die Qualitätssicherung weiter gesteigert werden. Parallel sollte durch Öffentlichkeitsarbeit mehr Wissen über Potenziale im Bereich der Sanierungswirkung vermittelt werden.

Anmerkungen

- ¹ Die hier ermittelten Energieverbrauchskennwerte (EVKW) des Heizenergieverbrauchs enthalten Raumwärme und Warmwasser und sind bezogen auf die Nutzfläche A_N . Zudem wurde eine Witterungsbereinigung nach EnEV durchgeführt.
- ² <http://www.wp-smart-im-bestand.de>
- ³ <http://www.wp-im-gebaeudebestand.de>
- ⁴ <http://www.wp-effizienz.ise.fhg.de>
- ⁵ <http://www.wp-monitor.de>
- ⁶ Die Anforderungen der EnEV stehen grundsätzlich unter dem Vorbehalt der „unbilligen Härte“. Auf Antrag können die nach Landesrecht zuständigen Behörden von den Anforderungen befreien.
- ⁷ Ausnahmen bei technischer Begrenzung der Einbaudicke oder bei Kerndämmung
- ⁸ Ausnahmen bei technischer Begrenzung der Glasdicke
- ⁹ Ausnahmen bei Zwischensparrendämmung infolge technischer Begrenzung der Dämmstoffdicke
- ¹⁰ Ausnahme: höchstmögliche Dämmstoffdicke ohne Anpassung der Türen
- ¹¹ Bei Ein- und Zweifamilienhäusern, wie den hier überwiegend untersuchten, sind die Nachrüstverpflichtungen jeweils erst innerhalb zweier Jahre nach Eigentumsübergang umzusetzen.
- ¹² <http://www.ratioservice.com/anlagen-ekg.aspx>
- ¹³ Zum Beispiel Förderbedingungen von proKlima Hannover: Untere Modulationsgrenze muss kleiner sein als die halbe Gebäudeheizlast.
- ¹⁴ Auswertbar heißt in diesen Fällen, dass eine ausreichende Datenbasis für die Auswertung vorhanden war. Für viele Maßnahmen, die in 2014 durchgeführt wurden, fehlen dagegen noch Daten aus 2015, um eine Berechnung der Einsparungen durchführen zu können.
- ¹⁵ siehe gesonderter Bericht der EOS Ostfalia: http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/bmub_sanierungswirkung
- ¹⁶ entsprechend „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“ vom 7. April 2015: http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Bekanntmachungen/Download/WGDatenaufnahme2013.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- ¹⁷ Eine Wärmebrückenbetrachtung könnte im Einzelfall Einfluss auf die berechnete Minderung haben, sowohl in die eine als auch andere Richtung.
- ¹⁸ Der Faktor F_{xi} beträgt 0,6 für den Wärmestrom zum unbeheizten Keller bzw. 0,8 für den Dachboden.
- ¹⁹ davon zwei Fälle mit Verbrauchssteigerung
- ²⁰ Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie; 10-Jahres-Verlauf Absatz Wärmeerzeuger Deutschland; Download von <http://www.bdh-koeln.de/presse/daten-fakten.html>; 16.08.2015
- ²¹ Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.; BWP-Branchenstudie 2013 – Szenarien und politische Handlungsempfehlungen; August 2013
- ²² Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.; Anteil der Wärmepumpen im Neubau in Deutschland 2007 bis 2014; auf Basis Statistisches Bundesamt – Baufertigstellungen bei Wohngebäuden nach vorwiegend verwendeter primärer Heizenergie
- ²³ Weitere Informationen zu den Möglichkeiten und Grenzen der messtechnischen Untersuchung von Wärmepumpen im Kapitel „Die Effizienz der eigenen Anlage testen“ in M. Miara u. a.; Wärmepumpen, Heizen – Kühlen – Umweltenergie nutzen; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart; ISBN 978-3-8167-9046-4.
- ²⁴ Infolge des Atomausstiegs wird es in Deutschland in absehbarer Zeit keine Stromerzeugung aus Kernenergie mehr geben. Die Primärenergiebewertung, die einst verwendet wurde, um die weitestgehend CO₂-neutrale Stromerzeugung aus Kernenergie nicht „besserzustellen“, ist hinfällig geworden.

co2online



Die gemeinnützige co2online GmbH (www.co2online.de) setzt sich für die Senkung des klimaschädlichen CO₂-Ausstoßes ein. Seit 2003 helfen die Energie- und Kommunikationsexperten privaten Haushalten, ihren Strom- und Heizenergieverbrauch zu reduzieren. Mit onlinebasierten Informationskampagnen, interaktiven EnergiesparChecks und Praxistests motiviert co2online Verbraucher, mit aktivem Klimaschutz Geld zu sparen. Die Handlungsimpulse, die die Aktionen auslösen, tragen nachweislich zur CO₂-Minderung bei. Unterstützt wird co2online dabei von der Europäischen Kommission, dem Bundesumweltministerium sowie einem Netzwerk mit Partnern aus Medien, Wissenschaft und Wirtschaft.

www.co2online.de

www.co2online.de/facebook

www.co2online.de/twitter