

# Abschlussbericht 2015



**Studie zur Wirkungsanalyse von Sanierungsmaßnahmen - Entwurf Stand: 09/2015**

## Klimaschutzkampagne "Sanierungswirkung"

Der Bericht wurde erstellt von:

Ostfalia – EOS-Institut  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff  
Wiss. Mitarbeiter

Die Verantwortung für den Inhalt  
dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

gefördert vom



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages

KI I 5 – 42230-1/0

**Projektnehmer:**



EOS – Institut für Energieoptimierte Systeme  
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

**Bezugsmöglichkeiten für den Bericht:**

als Datei  
im Internet

<http://www.delta-q.de>

**Verantwortlichkeiten für den Inhalt dieses Berichtes:**

Ostfalia

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Übersicht</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Potenziale erhöhter Sanierungseffizienz</b> .....	<b>7</b>
2.1	Energieeinsparpotenziale.....	7
2.2	Exkurs: Kurzfristige Potenziale zur CO <sub>2</sub> -Minderung .....	9
2.3	Äquivalenter Energiepreis.....	11
<b>3</b>	<b>Empfehlungen für Politik und Energiewendepartner</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Zusammenführung von EnEV und EEWärmeG</b> .....	<b>15</b>
3.1.1	CO <sub>2</sub> -Bezug.....	15
3.1.2	Endenergiebezug anstelle des Wärmeenergiebedarfs nach EEWärmeG .....	16
<b>3.2</b>	<b>Verbrauch statt Bedarf</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>Steigerung der Aussagekraft zur energetischen Qualität im Bestand</b> .....	<b>18</b>
3.3.1	Zielsetzung Energieeffizienz in Gebäuden .....	18
3.3.2	Vom deduktiven Weg der Energieberatung zum induktiven Weg mit der EAV.....	19
<b>3.4</b>	<b>Förderstrukturen wirtschaftlicher Sanierungsmaßnahmen</b> .....	<b>21</b>
3.4.1	Erfolgsnachweis als Grundforderung .....	21
3.4.2	Best-Practice-Beispiele als Grundlage für Förderprogramme.....	22
<b>3.5</b>	<b>Angepasster Energieausweis als Grundlage für eine Grundsteuer</b> .....	<b>22</b>
3.5.1	Umsetzungsvorschlag an einem konkreten Beispiel .....	22
<b>3.6</b>	<b>Zukünftige Schritte mit einer Balance zwischen Markt und Regulierung</b> .....	<b>25</b>
<b>3.7</b>	<b>Sanierungswegweiser</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Ausgangssituation</b> .....	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Zielsetzung der Studie und Rahmen der Untersuchung</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Erkenntnisse und Ergebnisse</b> .....	<b>40</b>
<b>6.1</b>	<b>Auswertungsmethoden</b> .....	<b>40</b>
6.1.1	Einfache Wirkungsanalyse zur Sanierungseffizienz .....	41
6.1.2	Berechnungsverfahren der EAV-Methode.....	42
6.1.3	H Werte als wesentlicher Kennwert zur Bewertung.....	46
6.1.4	Genauigkeitsbetrachtung der EAV.....	48
6.1.5	Relevanz von Wärmemengenzählern bei der Verbrauchserfassung.....	50
<b>6.2</b>	<b>Durchführung der Auswertungen</b> .....	<b>51</b>
6.2.1	Übersicht aller ausgewählten Feldobjekte in einer Auswertungsmatrix.....	52
6.2.2	Ausgewählte Beispielobjekte .....	55
6.2.3	Best-Case einer Dämmmaßnahme.....	55
6.2.4	Best-Case für Kesseffizienz.....	57
6.2.5	Best-Case für Optimierungsmaßnahmen.....	61
6.2.6	Best-Case für Kombimaßnahmen.....	63
6.2.7	Worst-Case Gesamtsystem.....	66
<b>7</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>70</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>73</b>

<b>8</b>	<b>Anhänge .....</b>	<b>79</b>
<b>A1</b>	<b>Energieausweise für EFH Albertstraße/ Braunschweig .....</b>	<b>79</b>
<b>A2</b>	<b>Anwendungsbeispiel Sanierungswegweiser .....</b>	<b>81</b>
<b>A3</b>	<b>Anhang zur Fehlerbetrachtung der EAV .....</b>	<b>85</b>
A3.1	Grundformeln .....	85
A3.2	Absoluter Fehler (Fehlerfortpflanzung (linear)).....	85
A3.3	Ableitungen .....	85
A3.4	Relativer Fehler.....	85
A3.5	Kürzen .....	86
A3.6	Einzusetzende Zahlen.....	86
<b>A4</b>	<b>Konzeptpapier zur Beschreibung der Nachweismethodik hinsichtlich einer Sanierungswirkung im Rahmen der Sanierungsfeldtests .....</b>	<b>87</b>
a)	Einleitung .....	88
b)	Einflussgrößen und Parameter .....	89
c)	Verbrauchs-Bedarfs-Abgleich .....	93
d)	Nachweismethodik innerhalb der Felduntersuchungen .....	93
e)	Grundlagen E-A-V .....	95
f)	Rückwärts-E-A-V.....	98
g)	Nachweis von Maßnahmenwirksamkeit und Nutzereinfluss .....	100
g)	Quellen zu Anhang 4 .....	102

# 1 Einleitung und Übersicht

Zielsetzung der vom BMUB geförderten Klimaschutzkampagne mit dem Teilprojekt "Sanierungswirkung" ist die Ausnutzung zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch konsequente Qualitätssicherung in Planung und Ausführung sowie einem Erfolgsnachweis von Maßnahmen im Gebäudebereich mit den Schwerpunkten Gebäudehülle und Kesselerneuerung. Alle zukünftigen Maßnahmen sollten wirtschaftlich und technisch mit bestmöglichen Standards ausgeführt werden.

Schwerpunkt bei der Bearbeitung des Forschungsprojekts liegt dabei in der Auswertung ausgewählter Feldobjekte. Sie wurden im Zuge des Projekts gesammelt, analysiert und hinsichtlich der energetischen Qualität erfolgter Sanierungsmaßnahmen validiert. Dabei werden alle vorliegenden Feldobjekte in vier Kategorien eingeteilt:

- Ein-/Zweifamilienhäuser ↔ Mehrfamilienhäuser
- Erneuerung des Wärmeerzeugers ↔ Maßnahmen an der Gebäudehülle

Anhand der Feldobjekte des co2online-Energiesparkontos, sowie weiterer Feldmessungen, lassen sich zusätzliche Einsparpotenziale zwischen 10 bis zu 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergie ermitteln. Dies gilt zusätzlich gegenüber einer heute typischen Modernisierung ohne Qualitätssicherung von Planung und Ausführung und ohne einen Erfolgsnachweis durch unterjährige Verbrauchsauswertung mit eventuellen Nachbesserungen nach der Maßnahmenumsetzung.

Zwischen rechnerisch ermittelten Bedarfswerten und gemessenen Verbrauchswerten für Endenergien wie Erdgas oder Fernwärme bestehen meist große Differenzen, z. B. in Energieausweisen und in Energieberatungsberichten. Der Witterungseinfluss führt bei gleichem Nutzerverhalten zu Schwankungen der Jahresverbräuche von bis zu 30% zwischen maximalen und minimalen Werten.

Das übliche Wohngebäude im Bestand weist heute einen Endenergiekennwert von rund 170 kWh<sub>Hs</sub>/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf den Brennwert auf. Bedarfsrechnungen in Energieausweisen ergeben dann typisch Werte, die bei 250 kWh<sub>Hs</sub>/(m<sup>2</sup>a) liegen.

Die Zusammensetzung dieses Kennwertes von 170 kWh<sub>Hs</sub>/(m<sup>2</sup>a) aus Nutzen Raumwärme, Nutzen Trinkwarmwasser (incl. Speicherung und Verteilung) und anlagentechnischen Verlusten variiert nach der Auswertung einer großen Zahl bisher untersuchter Gebäude zwischen typisch:

- 30 bis 120 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Nutzen Raumwärme
- 8 bis 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) für den Nutzen Trinkwarmwasser incl. Speicher und Zirkulation
- 3 bis 60 kWh<sub>Hs</sub>/(m<sup>2</sup>a) für die anlagentechnischen Verluste, primär des Wärmeerzeugers

Aus jährlichen Energieabrechnungen eines Gas- oder Fernwärmeversorgungsunternehmens lassen sich die oben beschriebenen Anteile nicht unterscheiden. Eine Evaluation der Sanierungswirkung von Modernisierungsmaßnahmen lässt sich auf Basis von Jahresabrechnungen der eingesetzten Endenergie mit weit streuenden Annahmen nicht oder nur unbefriedigend abschätzen.

Eine unterjährige monatliche oder wöchentliche Erfassung allein der Endenergien (Input-Energie z. B. Erdgas) gestattet 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. Eine Unterscheidung in die oben beschriebenen Einzelanteile für den Nutzen Raumwärme, Nutzen Trinkwarmwasser (incl. Speicherung und Verteilung) und die anlagentechnischen Verluste ist ohne einen zusätzlichen Wärmemen-

genzähler nach dem Wärmeerzeuger mit weit streuenden Annahmen im Rahmen einer Bedarfsberechnung nicht oder nur unbefriedigend möglich und nach den Analysen der Ostfalia nicht ausreichend für belastbare Aussagen.

Eine unterjährige Verbrauchserfassung der Input- und Output-Energien wird zukünftig für alle Neubauten und für alle geförderten Modernisierungen (KfW, BAFA) als sinnvoll und notwendig gesehen, um einen Erfolgsnachweis der durchgeführten Maßnahmen in Form eines zukünftig erweiterten Energieausweises zu geben. Die unterjährige Verbrauchserfassung dient als Nachweis der Effizienz des Gebäudes und der Anlagentechnik gegenüber einer Referenz nach EnEV bzw. KfW-Effizienzstandards und wird bereits heute für geförderte Wärmepumpen und BHKW gefordert.

Hier setzt der Vorschlag für die unterjährige (monatliche oder wöchentliche) Verbrauchsauswertung und Analyse von Endenergiemengen (z. B. Erdgas) **und** Nutzenergiemengen (Nutzwärmeabgabe eines Wärmeerzeugers mit Wärmemengenzählern) als Ergebnis dieses Projektes an.

Das Instrument der Energieanalyse aus dem Verbrauch EAV wird seit 2004 systematisch in Projekten des EOS – Institut für energieoptimierte Systeme der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel eingesetzt und ist durch Mitarbeit der Ostfalia an Normen und VDI-Richtlinien seit mehreren Jahren in diesen verankert. Seit 2014 wird das Verfahren schrittweise in das Energiesparkonto ESK von co2online als optionales Analyseverfahren integriert. Es wird teilweise auch bereits von anderen Anwendern, u. a. von einzelnen Energieberatern, Contracting-Unternehmen sowie in der Wohnungswirtschaft, erfolgreich eingesetzt.

Mit den beiden EAV-Varianten "Fingerabdruck des Gebäudes und der Nutzung" sowie "Fingerabdruck des Kessels" lassen sich sowohl die Effizienz des Gebäudes und der Nutzung als auch des Wärmeerzeugers mit nachvollziehbaren Kennwerten vor und nach einer Modernisierungsmaßnahme eindeutig beschreiben.

Weiter können durch Einbau eines Brennstoffzählers und eines zusätzlichen Wärmemengenzählers in jedem Objekt die Voraussetzungen für eine Energieanalyse aus dem Verbrauch geschaffen werden: als Voraussetzung für Transparenz in einer Energieberatung, als Analysewerkzeug für die Modernisierungsplanung und für einen Erfolgsnachweis nach der Umsetzung. Der nachgewiesene Zielkennwert kann zur Grundlage einer erfolgsabhängigen Förderung, eines auf realen Werten basierenden Energieausweises und zur Bemessungsgrundlage für eine vom Verbrauchskennwert abhängige Grundsteuer werden.

Gleichzeitig wird an Hersteller von Wärmeerzeugern die Forderung gestellt, die beiden Messfunktionen (Input, Output) für geförderte Geräte sofort zu integrieren. Die Mehrkosten zu heutigem Preisstand werden auf 60 bis 100 € geschätzt. Dieser Wunsch wurde seitens der Gutachter bereits mehrfach an Hersteller herangetragen.

Aufgabe und Zielsetzung der hier vorgestellten Studie "**Sanierungstest und Sanierungswirkung**" ist daher mit erster Priorität, Werkzeuge und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, um die Lücke zwischen realistisch, d.h. technisch und wirtschaftlich erreichbaren Standards von etwa 50 bis 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser im Jahr 2050 anstelle nach heutigen Trends zu erwartenden ca. 85 – 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) mit einem zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial von 30 bis 35 Mio. t CO<sub>2</sub>/a beschleunigt zu schließen, so dass sowohl das 40%-Minderungsziel für 2020 kurzfristig, als auch das 80 bis 95%-Ziel für 2050 erreicht werden können. Dazu sind sowohl das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 als auch der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz NAPE im Gebäudebereich mit den Schwerpunkten Modernisierung der Gebäudehülle (Dämmung) und der Anlagentechnik (Kesseltausch) in ihren Zielsetzungen gemeinsam zu erfüllen.

## 2 Potenziale erhöhter Sanierungseffizienz

Die Energieanalyse aus dem Verbrauch EAV mit unterjähriger Verbrauchserfassung eröffnet neue Wege zur Erfolgskontrolle von Energiesparmaßnahmen:

- am Gebäude und/oder
- am Wärmeerzeuger und/oder
- beim Ersatz eines Öl-/Gas-Kessels durch eine Elektrowärmepumpe und/oder
- bei Ergänzung eines Heizsystems durch solare Warmwasserbereitung.

An dieser Stelle wird auf eine ausführliche Erläuterung der Funktionsweise der Energieanalyse aus dem Verbrauch verzichtet und auf ein entsprechendes Dokument im Anhang A4 verwiesen.

In den Felduntersuchungen zu diesem Projekt "Sanierungswirkung" wird untersucht, wie groß die Diskrepanz zwischen dem technischen Potenzial einer Modernisierungsmaßnahme und der tatsächlichen Energieeinsparung ist. Es wird herausgearbeitet, welche Faktoren für eine erfolgreiche Modernisierung entscheidend sind.

In diesem Zuge werden zur Erweiterung der Vergleichswerte dieser Feldstudie die Ergebnisse aus früher durchgeführten Studien und Projekten herangezogen. Diese Kennwerte beziehen sich je nach Studie auf unterschiedliche Komponenten der Gebäudehülle, Lüftungstechnik, Anlagentechnik oder Wärmeerzeuger. Wesentlich war dies bereits das Thema früherer Studien und wissenschaftlicher Arbeiten der Ostfalia mit der gleichen Zielsetzung.



Qualitätssicherung Anlagentechnik

### 2.1 Energieeinsparpotenziale

Für die gesamte Raumwärmebereitstellung von Gebäuden werden in Deutschland jährlich etwa 230 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert, davon etwa 150 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> für Wohngebäude. Im Zuge des (Teil-)Forschungsprojekts Klimaschutzkampagne "Sanierungswirkung", dessen Ziel die Darstellung realer Energieeinsparpotenziale durch Sanierungsmaßnahmen im Wohngebäudebereich ist, können bisher nicht ausgeschöpfte Energieeinsparpotenziale bzw. CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale identifiziert werden. Besonderes Augenmerk wird dabei auf diejenigen Energieeinsparpotenziale gelegt, die durch die konsequente Qualitätssicherung in der Planung sowie während der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen entstehen.

Felduntersuchungen mit dem Werkzeug der Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) in früheren und im laufenden Projekt sowie Ergebnisse aus vorangegangenen Studien der Ostfalia zeigen, dass ohne hohen Aufwand mit geringinvestiven Maßnahmen ca. 25 bis 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergie im Bereich Raumwärme und Warmwasserbereitung allein durch konsequente Qualitätssicherung zusätzlich eingespart werden können.

Dies betrifft die Bereiche "Dämmung der Gebäudehülle" und "Erneuerung des Wärmeerzeugers" in Gebäuden ab Baustandard 1977 bis hin zu Neubauten sowie für modernisierte Gebäude aus älteren Baualtersklassen.

Im Einzelnen lassen sich durchschnittlich 15 bis 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizenergie im Bereich der Gebäudedämmung zusätzlich zu dem sowieso verminderten Heizenergieverbrauch, welcher mit den Sanierungsmaßnahmen oder im Neubau einhergeht, realisieren. Dazu gehört wesentlich die Umsetzung einer Optimierung mit hydraulischem Abgleich.

Bei einem Kesseltausch im Zuge von Sanierungsmaßnahmen können darüber hinaus durchschnittlich 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizenergie zusätzlich durch vorgenannte Qualitätssicherungsmaßnahmen eingespart werden. Diese Einsparungen konnten aus der vorliegenden belastbaren Datenbasis, welche eine Vielzahl an dokumentierten Wohnobjekten umfasst, mit Hilfe des Werkzeuges der EAV ermittelt werden. Hier lässt sich beispielsweise die DBU-Brennwertkesselstudie als Referenz anführen.



#### DBU Brennwertkesselstudie

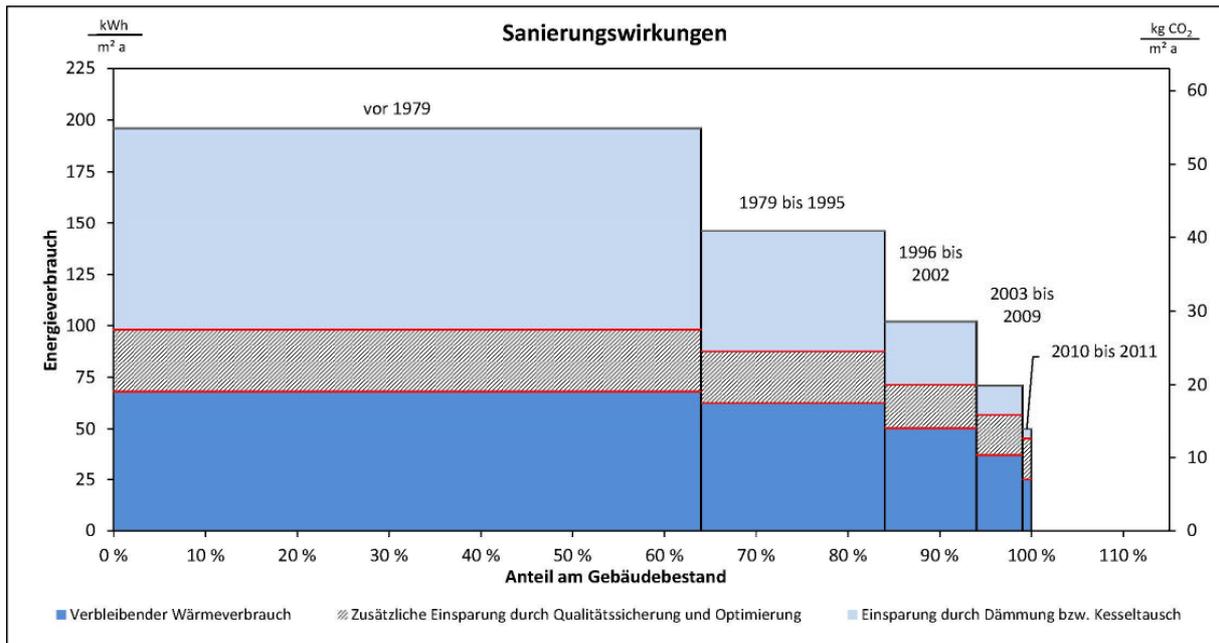
Ein vorgezogener Kesselaustausch ist nach einer Bestandsaufnahme mit der EAV gegeben für unsanierte kleinere Wohngebäude aus den 60er und 70er Jahren mit einem Heizenergieverbrauch von typisch 160 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder mehr sowie einem Kesselnutzungsgrad schlechter als 75 – 80% vor der Kesselerneuerung. In diese Kategorie fallen etwa 1,1 bis 1,2 Mrd. m<sup>2</sup> beheizter Wohnflächen von Ein- und Zweifamilienhäusern sowie 0,8 bis 1,0 Mrd. m<sup>2</sup> beheizter Wohnflächen von Mehrfamilienhäusern, letztere mit einem erhöhten Energieverbrauch von typisch 130 bis über 150 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle werden mit erster Priorität für bisher nicht modernisierte Wohngebäude mit einer Baualtersklasse vor 1978 als sinnvoll erachtet. Maßnahmen an der Gebäudehülle und/oder Erneuerungen älterer Standard- und Niedertemperaturkessel gegen neue optimiert ausgelegte Brennwertkessel oder Wärmepumpen (letztere bei gleichzeitiger Verbesserung des Gebäudedämmstandards) liefern hier die wirtschaftlichsten Ergebnisse.

Das langfristige Gesamteinsparpotenzial durch Kesselerneuerung, durch Maßnahmen an der Gebäudehülle und durch zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahmen für den Fall einer jeweils 10%igen Steigerung vorgezogen modernisierter Flächen mit einer Baualtersklasse vor 1978 liegt bei ca. 18 bis 25 TWh/a bzw. 4,6 bis 6,5 Mio. t CO<sub>2</sub>/a.

Unter optimalen Randbedingungen bzw. mit unterstützenden politischen Maßnahmen könnte dieses Potenzial kurzfristig bis 2020 wie folgt verdoppelt werden: wenn zusätzlich alle neueren Gebäude ab der Baualtersklasse 1978 (etwa 35% der Wohnflächen in Deutschland) durch eine nachträgliche Qualitätssicherung mit hydraulischem Abgleich optimiert werden, ergeben sich zusätzliche Einsparpotenziale von rund 18 bis 24 TWh/a bzw. 4,7 bis 6,2 Mio. t CO<sub>2</sub>/a. Dies stimmt mit den früheren Ergebnissen des Projektes OPTIMUS der Ostfalia überein, liegt hierbei konservativ geschätzt unter den Zahlen des Wuppertal-Instituts [62] und stellt damit einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende dar.

Ausgehend von einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 169 kWh/(m<sup>2</sup>a) als Mittelwert über alle Baualtersklassen der Wohngebäude in Deutschland kann ein zweistufiges Energieeinsparpotenzial identifiziert werden. Einerseits kann durch Sanierungsmaßnahmen ein wesentlicher Anteil des bisherigen Energieverbrauchs eingespart werden (hellblau in Abbildung 1). Dieser ist in Abhängigkeit der vorliegenden Baualtersklasse unterschiedlich hoch. Der Energieverbrauch lässt sich durch konsequente Qualitätssicherung mit Optimierungsmaßnahmen wie beispielsweise die Durchführung des hydraulischen Abgleichs (hellgrau in Abbildung 1) weiter reduzieren.



**Abbildung 1** Potenziale von Maßnahmen im Gebäude zur Endenergieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung [eigene Grafik]

Langfristig kann über alle Bestandswohngebäude ein durchschnittlicher Energieverbrauch von etwa 85 bis 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) ohne bzw. von 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) mit zusätzlicher Qualitätssicherung und Optimierung gegenüber heute 169 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreicht werden. Wird die Differenz dieser beiden Werte, welche die maximale Energieeinsparung (Best-Practice incl. Qualitätssicherung) darstellt, mit der insgesamt zu sanierenden Fläche multipliziert, ergibt sich ein Einsparpotenzial von 380 TWh/a bzw. 64% gegenüber dem heutigen Endenergieverbrauch.

## 2.2 Exkurs: Kurzfristige Potenziale zur CO<sub>2</sub>-Minderung

In einer Übergangsphase von ca. 20 bis 30 Jahren könnte sich prinzipiell ein zusätzlicher Doppeleffekt einer beschleunigten CO<sub>2</sub>-Minderung ergeben. Durch die sanierungsbedingte Verbrauchsreduzierung von Erdgas im Wohngebäudebestand und durch den gleichzeitigen Einsatz dieser eingesparten Erdgasmengen zum Ersatz von Steinkohle als Energieträger zur Stromproduktion könnten sehr hohe Reduzierungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt werden. Dies gilt v.a. in größeren Stadtwerken mit paralleler Strom- und Wärmeerzeugung aus vorhandenen Kohle- und Erdgas-Heizkraftwerken und ist den Autoren bekannt für die Stadtwerke in Hannover und Braunschweig und sicherlich auch typisch für viele andere Stadtwerke in größeren Städten. Die Problematik einer primärenergetischen Fehlbewertung von Kraft-Wärme-Kopplung (anstelle einer CO<sub>2</sub>-Bewertung) aus Kohle anstelle aus Erdgas wurde von den Autoren an einem konkreten Stadtquartier in Hannover, veröffentlicht im TGA-Fachplaner 01/2014, thematisiert und Anfang des Jahres 2015 an das BMUB weitergeleitet.



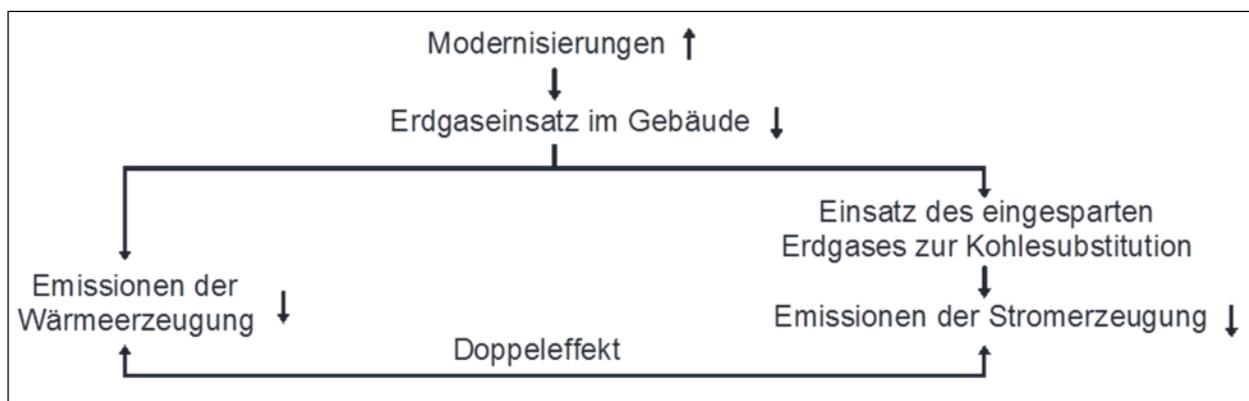
TGA Fachplaner - KWK Bewertung

In der [FAZ – Montag 13. Juli 2015 – Nr. 159 – S. 17] wurde im Rahmen der Veröffentlichung des BMWI "Weißbuch zur Weiterentwicklung des Strommarktes" zum Thema Kraft-Wärme-Kopplung berichtet:

"...Die Regierung erhofft sich von den Änderungen mehr Effizienz in der Strom- und Wärmeerzeugung und 4 Millionen Tonnen im Jahr weniger Kohlendioxidemissionen. Um das zu erreichen, sollen künftig teure und deshalb unwirtschaftliche gasbefeuerte KWK-Anlagen bezuschusst werden, die weniger CO<sub>2</sub> emittieren, wenn im Gegenzug preiswerte aber mit Kohle betriebene Anlagen abgeschaltet werden. KWK-Projekte, die Kohle als Brennstoff verwenden, sind zukünftig nicht mehr förderfähig" heißt es lapidar im Entwurf des Wirtschaftsministeriums...." (Zitat Ende).

Dies kann jedoch nur ein erster Schritt sein, wie nachfolgende weiterführende Überlegungen zeigen.

Würde die zukünftige Einsparmenge an Erdgas durch verstärkte Sanierung und Modernisierung im Gebäudebestand mit Qualitätssicherung erhöht und in gleichem Umfang als Ersatzenergieträger für Kohle in der Stromerzeugung eingesetzt, könnte ein beträchtlicher Doppelleffekt zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen eintreten, siehe Abbildung 2.



**Abbildung 2 Doppelleffekt durch zeitgleiche Verstärkung von Gebäudesanierung und gasbasierte Stromerzeugung [eigene Grafik]**

Eine gleichzeitige Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Gebäudeheizung und in der Stromerzeugung könnte erreicht werden. Eine eingesparte TWh Erdgas im Gebäudebereich führt hier zu Reduzierungen von ca. 0,240 Mio. t CO<sub>2</sub> und gleichzeitig zu mindestens einer Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Stromerzeugung bei Einsatz dieser eingesparten Erdgasmenge in Erdgaskraftwerke zum Ersatz von Kohlestrom.

Davon ausgehend, dass im Wohngebäudebestand der nächsten 20 Jahre mit heute ca. 580 TWh/a Endenergieeinsatz für Raumwärme und Trinkwarmwasser etwa die Hälfte der Versorgung mit Erdgas erfolgt, könnten bis zu einer rein regenerativen Energieversorgung kurz- und mittelfristig etwa 70 Mio. t CO<sub>2</sub> im Gebäudebereich und zusätzlich noch einmal die gleiche oder sogar doppelte Menge (400g CO<sub>2</sub> je kWh Strom aus Erdgaskraftwerken gegenüber 900g CO<sub>2</sub> Steinkohle- und 1200g CO<sub>2</sub> aus alten Braunkohlekraftwerken) bei der Stromerzeugung eingespart werden.

Dieser Doppelleffekt führt zu einer Reduzierung von mindestens 91,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen, werden diese allein auf den Emissionsfaktor von Erdgas bezogen. Geht man davon aus, dass heute etwa die Hälfte der eingesparten Heizenergie durch Erdgas und die andere Hälfte durch andere Energieträger bereitgestellt wird, könnte die Emissionsminderung sogar noch höher liegen.

Zur weiteren Verdeutlichung der Einsparpotenziale und zum Vergleich werden zwei kontraproduktive Beispiele der Gegenwart angeführt: alleine das neue Kohlekraftwerk Moorburg in Hamburg produziert bei Volllast 11 TWh/a elektrische Energie (ca. 2% der deutschen Stromerzeugung) mit Emissionen von 8,5 Mio. t CO<sub>2</sub>/a). Und: bei Ersatz der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohlekraftwerken durch vorhandene Gaskraftwerke könnten kurzfristig geschätzt mindestens weitere 50 Mio. t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden.

Durch das mildere Klima in 2014 und durch marktbedingte Verdrängung der Stromerzeugung aus Gas-Kraft- und Gas-Heizkraft-Werken durch die Energieträger Braun- und v. a. Steinkohle verminderte sich der Erdgasabsatz gegenüber dem zehnjährigen Mittel von 2004-2013 von 945 TWh/a auf 818 TWh/a.



Tuschek – Berliner Energietage 2015

Bei weiterem Ausbau regenerativer Energien primär zur Stromerzeugung könnte als primäre Brückentechnologie zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Ersatz von Kohle durch Erdgas in der Stromerzeugung (GUD-Kraftwerke) dienen. Dies muss nicht primär durch Einsatz von KWK erfolgen, wie dies von vielen Seiten gefordert wird. Die vorhandenen Leistungskapazitäten von Erdgaskraftwerken sind höher als die von Braunkohlekraftwerken und deshalb weitgehend vorhanden.

Es müsste politisch ein Weg gefunden werden, mit dem marktkonform durch Energieeinsparung im Gebäudebereich die hierdurch freigewordenen Erdgasmengen – dies gilt selbstverständlich auch für andere Endenergien wie Heizöl oder Fernwärme – bevorzugt in den Ersatz von Kohlestrom durch Strom aus Erdgaskraftwerken fließen. In den bei vielen großen Stadtwerken parallel installierten Gas- und Steinkohlekraftwerken und -heizkraftwerken könnte so kurzfristig eine Verschiebung der Energieträger für die Stromerzeugung erfolgen; v. a. von Steinkohle durch Erdgas, die beide Importenergien darstellen. Die Unterschiede der Strombörsenpreise zwischen Erdgas und Steinkohle müssten hierbei durch noch zu definierende politische Maßnahmen zur Förderung der dadurch vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen kompensiert werden.

### **2.3 Äquivalenter Energiepreis**

Ein entscheidender Gesichtspunkt bei der Verbesserung der Sanierungswirkung ist die Wirtschaftlichkeit der möglichen Maßnahmen am Gebäude und der Anlagentechnik mit und ohne zusätzliche Qualitätssicherung und Optimierung. Wohngebäudebesitzer werden Sanierungsmaßnahmen nur dann durchführen, wenn sie sich einen Vorteil versprechen. Häufig stehen der finanzielle Aspekt und der Wunsch im Vordergrund, die bisherigen Energie- und Instandhaltungskosten nach Möglichkeit deutlich zu senken. Weitere Aspekte wie eine Komfort- oder eine Wertsteigerung des Objekts sind zunächst eher sekundäre Entscheidungskriterien, letzter Punkt fällt vermehrt für vermietete Objekte ins Gewicht.

Als Kenngröße für die wirtschaftliche Bewertung wird im Rahmen des vorliegenden Projektberichtes der äquivalente Energiepreis genutzt. Er ergibt sich als Verhältnis zusätzlicher Kapitalkosten (gegebenenfalls zusätzliche Differenzkosten für Wartung und Instandhaltung in etwa der gleichen Größenordnung) zu den eingesparten Endenergiemengen.

Bei der Sanierung wird der sanierte Zustand mit dem Bestand oder mit einem Referenzsystem der Förderung verglichen. Beim Neubau erfolgt der Vergleich ebenfalls zwischen dem geplanten System gegenüber einem Referenzsystem. Im Sinne dieser Studie ergeben sich – aufgrund des Schwerpunktes "Qualitätssicherung" – Betrachtungen z. B. wie folgt:

- äquivalenter Energiepreis des Wärmeerzeugertausches ohne Qualitätssicherung
- äquivalenter Energiepreis des Wärmeerzeugertausches mit Qualitätssicherung
- äquivalenter Energiepreis allein der Qualitätssicherung beim Wärmeerzeugertausch
- dto. für bauliche Veränderungen

Die Größe "äquivalenter Energiepreis" hat die Einheit €/kWh und ist vergleichbar mit den aktuellen Energiepreisen, die für Brennstoffe derzeit bei ca. 0,075 €/kWh liegen, bzw. mit zu erwartenden mittleren Energiepreisen der nächsten 20 Jahre unter Berücksichtigung von Energiepreissteigerungen. Hier kann typisch das Doppelte des aktuellen Energiepreises angesetzt werden [35].



### Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energieeinsparmaßnahmen

Liegt der äquivalente Energiepreis unter oder in der Nähe des aktuellen Energiepreises, ist die Maßnahme höchst wirtschaftlich und zu empfehlen. Liegt der äquivalente Energiepreis bei einem zu erwartenden mittleren Energiepreis, kann die Maßnahme durch Förderung oder steuerliche Vorteile wirtschaftlich werden und ist zu befürworten.

Relevant sind in diesem Zusammenhang äquivalente Energiepreise für typische Sanierungsmaßnahmen, die im Folgenden dargestellt werden.

### Dämmung

Bei der umfassenden Dämmung der Fassade eines durchschnittlichen Einfamilienhauses mit herkömmlichen Dämmmaterialien kann von derzeitigen wohnflächenbezogenen Investitionskosten von 200 €/m<sup>2</sup> [22] ausgegangen werden. Diese Kosten verstehen sich als Komplettkosten, in denen alle erforderlichen Leistungen enthalten sind.

Wird davon ausgegangen, dass die Fassadendämmung eine Haltbarkeit (n) von 40 Jahren aufweist und für den Zeitraum ein entsprechend niedriger kalkulatorischer Zinssatz (p) von 2 %/a angesetzt wird, erzeugt diese Maßnahme über den Nutzungszeitraum jährliche Kosten von 7,31 €/m<sup>2</sup>a):

$$n = 40 \text{ a, } p = 2 \text{ \%/a} \rightarrow a_{p,n} = 0,036 \text{ 1/a}$$

$$\text{jährliche Kosten } K_i = 200 \text{ €/m}^2 \cdot 0,036 \text{ 1/a} = \underline{7,31 \text{ €/m}^2\text{a}}$$

Durch umfassende Maßnahmen an der Gebäudehülle und entsprechende Anpassung des Nutzerverhaltens werde beispielsweise von einer durchschnittlichen Energieeinsparung ( $\Delta q$ ) von 80 kWh/(m<sup>2</sup>a) ausgegangen.

Werden die jährlichen Kapitalkosten auf die jährliche Energieeinsparung bezogen, erhält man den äquivalenten Energiepreis der Dämmungsmaßnahme, der in dieser Betrachtung bei 0,091 €/kWh liegt und damit nur knapp über dem heutigen durchschnittlichen Energiebezugspreis.

$$K_{\text{äqu}} = K_i / \Delta q = 7,31 \text{ €/m}^2\text{a} / 80 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} = \underline{0,091 \text{ €/kWh}}$$

Allein auf den heutigen Zeitpunkt bezogen, wäre diese Sanierungsmaßnahme als gerade noch unwirtschaftlich einzuordnen. Unter Berücksichtigung der kontinuierlich steigenden Energiepreise, der verminderten Instandsetzungskosten vor und nach einer Modernisierung und der langen Nutzungs- und damit Betrachtungsdauer von 40 Jahren erweist sich die Maßnahme allerdings in wenigen Jahren als wirtschaftlich und ist daher schon heute zu empfehlen.

## Erzeugertausch

Als weiteres Beispiel wird der vorgezogene Austausch eines Wärmeerzeugers betrachtet. Häufig erfolgt ein Kesseltausch erst als "Sowieso-Maßnahme", da der Altkessel defekt ist (Instandsetzung). Für einen Kesseltausch in einem Einfamilienhaus kann mit durchschnittlichen Wohnflächenbezogenen Investitionskosten von 50 €/m<sup>2</sup> gerechnet werden. Im nachfolgenden Beispiel erfolgt keine Unterscheidung in Sowieso-Kosten und zusätzliche Kosten für Darüber-Hinausgehende-Maßnahmen.

Unter Berücksichtigung einer Nutzungsdauer (n) von 20 Jahren und einem kalkulatorischen Zins (p) von konservativ angenommen 4 %/a ergeben sich über den Nutzungszeitraum jährliche Kosten von 3,70 €/m<sup>2</sup>a):

$$n = 20 \text{ a, } p = 4 \text{ \%/a} \rightarrow a_{p,n} = 0,074 \text{ 1/a}$$

$$\text{jährliche Kosten } K_i = 50 \text{ €/m}^2 \cdot 0,074 \text{ 1/a} = 3,70 \text{ €/m}^2\text{a}$$

Für einen Kesseltausch werde als Beispiel mit einer durchschnittlichen jährlichen Energieeinsparung ( $\Delta q$ ) von 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) gerechnet. Werden die jährlichen Kapitalkosten auf die jährliche Energieeinsparung bezogen, erhält man den äquivalenten Energiepreis des Kesseltauschs, der in diesem Beispiel bei 0,106 €/kWh liegt.

$$k_{\text{äqu}} = K_i / \Delta q = 3,70 \text{ €/m}^2\text{a} / 35 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 0,106 \text{ €/kWh}$$

Diese Maßnahme liegt schon deutlicher über dem heutigen durchschnittlichen Energiebezugspreis. Ausgehend von einer jährlichen Energiepreissteigerung von 5 %/a wird der Kesseltausch spätestens nach 7 Jahren wirtschaftlich, da dann der Energiebezugspreis über dem errechneten äquivalenten Energiepreis des Kesseltauschs liegt.

## Hydraulischer Abgleich

Abschließend wird auch der hydraulische Abgleich als Optimierungsmaßnahme wirtschaftlich betrachtet. Beim hydraulischen Abgleich liegen die flächenbezogenen Investitionskosten bei beispielsweise 10 €/m<sup>2</sup> [57]. Ausgehend von einem Betrachtungszeitraum (n) von 20 Jahren und einem Kapitalzins (p) der Investitionssumme von 2 %/a ergeben sich folgende Jahreskosten:

$$n = 20 \text{ a, } p = 2 \text{ \%/a} \rightarrow a_{p,n} = 0,061 \text{ 1/a}$$

$$\text{jährliche Kosten } K_i = 10 \text{ €/m}^2 \cdot 0,061 \text{ 1/a} = 0,61 \text{ €/m}^2\text{a}$$

Durch einen hydraulischen Abgleich lassen sich konservativ geschätzt 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizenergie pro Jahr einsparen ( $\Delta q$ ) [59]. Damit ergibt sich ein äquivalenter Energiepreis von 0,061 €/kWh:

$$k_{\text{äqu}} = K_i / \Delta q = 0,61 \text{ €/m}^2\text{a} / 10 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 0,061 \text{ €/kWh}$$

Diese Maßnahme erweist sich bereits heute als wirtschaftlich, da der äquivalente Energiepreis unter dem heutigen Energiebezugspreis liegt.

Trotz unterschiedlicher Zeitpunkte der Erreichung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Sanierungs- und Optimierungsmaßnahmen lässt sich folgern, dass die Durchführung dieser Maßnahmen wirtschaftlich ist. Denn die Kosten für Sanierungsmaßnahmen liegen häufig in der gleichen Größenordnung wie der heutige Energiebezugspreis.

In einer Internetveröffentlichung werden Kostenfunktionen für die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs auf Basis von Daten der Ostfalia vorgestellt, die es ermöglichen, ohne großen Aufwand Durchschnittskosten zu ermitteln. Die Kostenfunktion bezieht sich auf die beheizte Fläche und gibt einen Bruttopreis pro Quadratmeter aus. Die Kostenfunktion für einen hydraulischen Abgleich ohne Komponenten ist für Gebäude bis 2.000 m<sup>2</sup> hinreichend genau.



#### Kostenfunktion hydraulischer Abgleich

"Für den hydraulischen Abgleich als Dienstleistung wurden folgende Kostenfunktionen entwickelt: "hydraulischer Abgleich ohne Komponenten" und "hydraulischer Abgleich mit Komponenten", wobei letzteres nochmals in Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) unterteilt wurde. Der Preisstand der hier vorgestellten Kostenfunktionen bezieht sich auf das Jahr 2009." [40]

## 3 Empfehlungen für Politik und Energiewendepartner

An dieser Stelle wird der Darstellung der Ergebnisauswertung in Kapitel 6 vorgegriffen. Allein aus den dargestellten Energieeinsparpotenzialen, die bereits in vorangegangenen Studien der Ostfalia aufgezeigt wurden und welche durch die Erkenntnisse des vorliegenden Projekts bestätigt werden, ergeben sich Empfehlungen der Gutachter.

Nachfolgend werden Vorschläge zur Unterstützung der beschleunigten Reduktion von Endenergieeinsatz und damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen dargelegt.

### 3.1 Zusammenführung von EnEV und EEWärmeG

Aus Sicht der Gutachter ist die Zusammenführung von EnEV und EEWärmeG in einem "Energiewendegesetz" auf Basis von Endenergie und CO<sub>2</sub>-Bewertung anstelle der heutigen Primärenergiebewertung ein notwendiger Schritt, um bereits eingetretene Fehlentwicklungen zukünftig zu vermeiden.

▷ Zukünftig sollte aus Sicht der Gutachter nur noch ein einziges Ziel konsequent verfolgt werden: die Reduktion des Endenergieeinsatzes und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Anforderungen an Gebäude und deren Anlagentechnik hinsichtlich ihrer energetischen Qualität, ihrer Umweltauswirkungen sowie des Ressourcenverbrauchs werden in Deutschland aktuell sowohl durch das EEWärmeG als auch durch die EnEV definiert. Die Parallelität verschiedener Vorschriften, welche dasselbe globale Themengebiet, nämlich die Energieeffizienz von Gebäuden, den damit verbundenen Klimaschutz, sowie die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen abdecken, führt zu einer von vielen Seiten kritisierten erhöhten Komplexität im Planungs- und Umsetzungsprozess und auch zu Fehlentwicklungen im Markt für Energieeffizienz.

Alleine durch das gleiche Themengebiet und Ziel "CO<sub>2</sub>-Minderung" bietet sich die Zusammenlegung von EnEV und EEWärmeG an – und wurde so auch vom Bundesrat in dessen Zustimmung zur EnEV 2014 gefordert.

Die Zusammenführung von EnEV und EEWärmeG auf Basis "Endenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionskennwerte der eingesetzten Endenergien" anstelle des bisherigen Ansatzes über die Hauptanforderung Primärenergie bietet die Chance, zusammen mit einer jährlichen Bilanz durch die AGEb, die vom BMUB formulierten Ziele nachvollziehbar und messbar zu erreichen. Vom Einzelobjekt (Ein- bzw. Mehrfamilienhaus) bis zu Stadtquartieren ist damit eine Quantifizierung von Energieverbräuchen und Einsparpotenzialen erzielbar.

#### 3.1.1 CO<sub>2</sub>-Bezug

Würde eine Zusammenlegung von EnEV und EEWärmeG erfolgen, könnte auch gleichzeitig die Bewertungsgröße Primärenergiebedarf durch eine CO<sub>2</sub>-Bewertung ersetzt werden. Dieser Vorschlag wird aktuell auch durch eine noch nicht veröffentlichte Studie des Deutschen Verbands für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung e.V. unter Federführung von Prof. Dr. Klaus Töpfer thematisiert.

Eine CO<sub>2</sub>-Bewertung bietet sich an, weil sowohl EnEV (nahezu klimaneutraler Gebäudebestand) als auch EEWärmeG (Ressourcenschonung im Interesse des Klimaschutzes) den Klimaschutz zum Ziel haben. So bedeutet "klimaneutral", dass bilanziell keine Treibhausgase emittiert werden. Und da CO<sub>2</sub> ein bedeutendes Treibhausgas ist, bieten sich für eine Bewertung der Gebäude auch die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen (bzw. entsprechende Äquivalente) an.

Ende der 1990er-Jahre gab es die politische Entscheidung, umweltrelevante Bewertungen in der EnEV über Primärenergie und nicht über Endenergie bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionen vorzunehmen. Geschuldet war dies der weitgehend CO<sub>2</sub>-neutralen Erzeugung von Strom in Kernkraftwerken, aus denen man nach dem Regierungswechsel 1998 bereits aussteigen wollte. Durch den 2011 beschlossenen und nicht mehr umkehrbaren Ausstieg aus der Kernenergie kann somit eine CO<sub>2</sub>-Bewertung eingeführt werden.

Denn heute führt die Primärenergiebewertung in vielen Fällen zu Fehlentscheidungen und damit auch zu Fehlentwicklungen. So kann unter Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung mit kohlebefeuerter Fernwärme ein sehr geringer Primärenergiefaktor erreicht werden – der errechnete Primärenergiebedarf ist entsprechend gering und Gebäudedämmung sowie Anlagentechnik können entsprechend minderwertig ausgeführt werden. Schlussendlich entsteht ein erhöhter Endenergiebedarf des Gebäudes in Verbindung mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kohlekraftwerks.



#### Bewertung von KWK-Anlagen

So unterschiedlich die verfügbaren Anlagentechniken heute sind, so unterschiedlich ist auch deren Primärenergie- / CO<sub>2</sub>-Charakter. Während eine Anlage z.B. einen geringeren Primärenergiebedarf aufweist als eine andere Anlage, kann sich dieses Bild bei einer Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen umkehren.

Aber: Der Klimawandel ist an die CO<sub>2</sub>-Emissionen gekoppelt und nicht an den Primärenergieverbrauch. Aussagen wie: "mit Reduktion des Primärenergieeinsatzes sinken in gleichem Maße die CO<sub>2</sub>-Emissionen" sind nach EnEV-Bewertung leider bei vielen Anwendungen (Nah- und Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, elektrische Wärmepumpen) nicht korrekt.



#### CO<sub>2</sub>-Bewertung statt Primärenergiebezug

### 3.1.2 Endenergiebezug anstelle des Wärmeenergiebedarfs nach EEWärmeG

Bei einer Novellierung der Gesetzgebung sollten auch die Bilanzgrenzen angepasst werden. Momentan fordert z.B. das EEWärmeG regenerativ zu deckende Anteile am sogenannten "Wärmeenergiebedarf" also dem vom Wärmeerzeuger abgegebenen Nutzwärmebedarf – die durch die zusätzlich notwendige Anlagentechnik entstehenden Verluste (z.B. Speicherverluste eines Solarpufferspeichers) werden damit als "Nutzen" einbezogen und in ihrer Wirkung als "zusätzliche Verluste" nicht beachtet.

Auch die Erzeugerverluste werden im EEWärmeG nicht einbezogen. Der ursprünglich für das EEWärmeG und ursprünglich auch für die EnEV 2000 (bis 1998) vorgesehene Endenergiebezug wäre aus Sicht der Gutachter besser gewesen. In Feldstudien wurden hinsichtlich dieser Problematik teilweise sogar Mehrverbräuche festgestellt – die zusätzlichen technischen Verluste haben den Solarertrag "aufgefressen". Es ist erkennbar, dass ein Bezug auf die Endenergie essenziell ist.

### 3.2 Verbrauch statt Bedarf

Verschiedene Studien (OPTIMUS, DENA-Gebäudereport, IWU Tabula-Verfahren) stellen fest, dass zwischen Bedarf und tatsächlichem Verbrauch oft große Unterschiede bestehen. Diese werden zum einen verursacht durch das Nutzerverhalten, zum anderen durch zahlreiche Berechnungsannahmen, welche nicht die Realität widerspiegeln.

Würde die Bedarfsberechnung durch eine nach Baufertigstellung durchgeführte Verbrauchsmessung mit einer EAV ergänzt, würden "geschönte" Berechnungsannahmen ausgeschlossen werden. Eine ehrlichere und einfachere Betrachtung wäre die positive Folge. Der oft genannte Nachteil des Nutzereinflusses auf die Verbrauchsmessung kann aus der EAV erkannt werden. Allerdings könnte auch der vorhandene Nutzereinfluss dargestellt und den Nutzern kommuniziert werden – eine Sensibilisierung dieses Einflusses wäre die Folge. So können weitere Einsparpotentiale gehoben werden.

Als zusätzliche Forderung sei die Aufnahme der Bewertung von Strom auch für Wohngebäude in EnEV und EEWärmeG bei der Bilanzierung genannt.

Bereits vor knapp 10 Jahren wurde vom Wuppertal-Institut eine Studie für die E.ON-AG zum Thema "Dienstleistungen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen" erstellt.



Wuppertal Institut Endenergieeffizienz

Es ergaben sich vor knapp 10 Jahren bereits ähnliche Aufgabenstellungen zur Prognose der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Vorschlägen für einen Maßnahmenkatalog. Interessant ist, dass in dieser Studie der E.ON AG empfohlen wurde, einen eigenen Dienstleistungsbereich Energieeffizienz auszulagern – seit Ende 2014 wird dies nun umgesetzt.

Diese Studie widmete sich ebenfalls den wesentlichen Themen des hier behandelten Projektes: Wirkung von Kesseltausch und Dämmmaßnahmen im Bestand.

Neben der Abschätzung von CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen wurden auch die dafür verantwortlichen Endenergie- und Brennstoffeinsparungen sowie die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten aus volkswirtschaftlicher Sicht und die Energieeinsparkosten aus Kundensicht quantifiziert.

Für alle in der WI-Studie untersuchten Maßnahmen ergaben sich abgeschätzte CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale bis zum Zeitraum 2015 von zusammen 150 Mio. t CO<sub>2</sub>/a. Allein für die Anwendungen im Bereich Wärmedämmung und Kesseltausch ergaben sich CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale von rund 19 Mio. t CO<sub>2</sub>/a und durch Heizungsoptimierung von rund 15 Mio. t CO<sub>2</sub>/a.

Diese Studie verstärkt die Bedenken der Gutachter dieses BMUB-Projektes "Sanierungswirkung und Sanierungstest", weiterhin verschiedene Ziele in der Energiewende parallel zu verfolgen.

▷ Es wird vorgeschlagen, alle Zielwerte allein auf den Kennwert "CO<sub>2</sub>-Äquivalente" nach KEA-BW bzw. auf das noch vorhandene "CO<sub>2</sub>-Budget" zum Einhalten des Zwei-Grad-Ziels zu reduzieren. Hierfür sind allein die jeweils eingesetzten Brennstoffe bzw. Endenergien einheitlich nach den Bilanzen der AGEB mit den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach KEA-BW oder IWU zu bilanzieren.



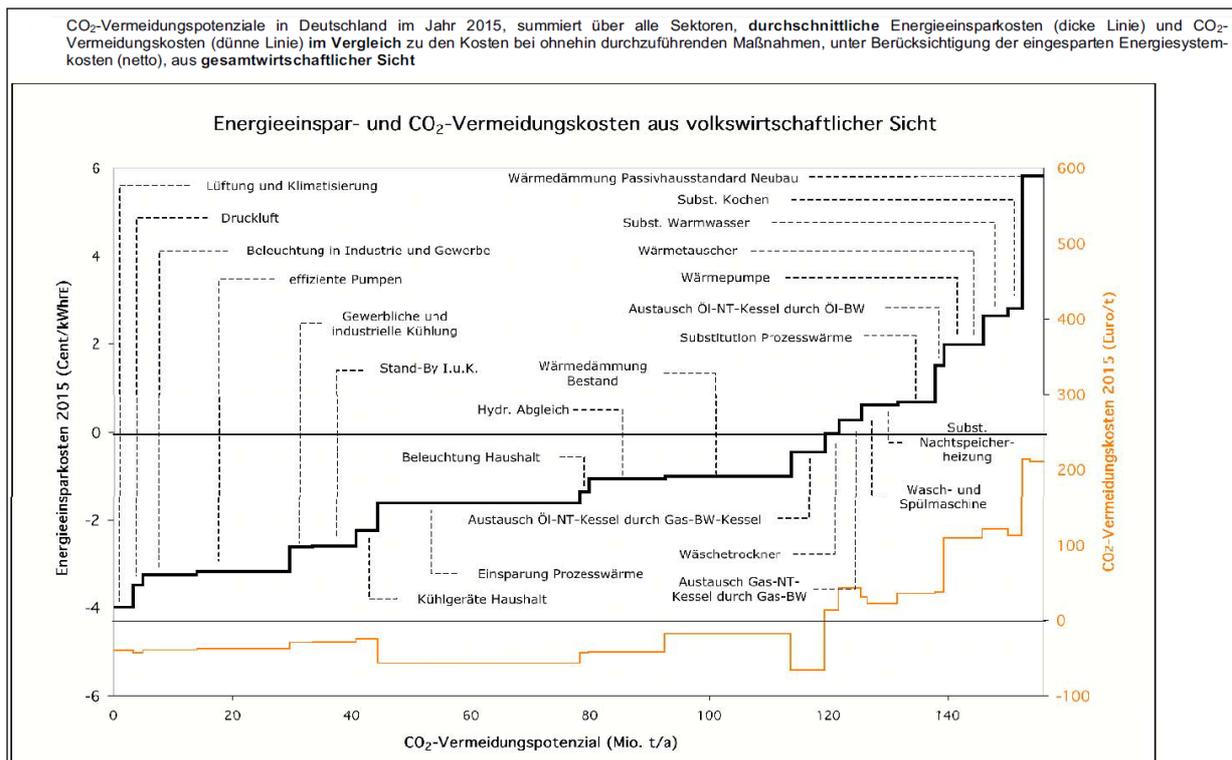
AG Energiebilanzen



KEA Emissionsfaktoren



IWU Emissionsfaktoren



**Abbildung 3 Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten für Deutschland**  
 Quelle: DENA-Gebäudereport 2012 [13]

### 3.3 Steigerung der Aussagekraft zur energetischen Qualität im Bestand

Durch Einbau eines Brennstoffzählers und eines zusätzlichen Wärmemengenzählers – beide mit heute bereits kostengünstig verfügbaren Speicherfunktionen – direkt am "Input" und am "Output" eines Wärmeerzeugers können in jedem Objekt die Voraussetzungen für eine Energieanalyse aus dem Verbrauch geschaffen werden.

Die EAV liefert dazu automatisch Hinweise für einen sinnvollen und durch Expertise von qualifiziert ausgebildeten Effizienzberatern erarbeiteten Sanierungsfahrplan oder sogar für eine umfassende Modernisierung. Bei entsprechend zu erwartendem Einsparpotenzial wird diese Maßnahme dann auch gefördert.

▷ Es wird vorgeschlagen, die Bestandaufnahme von Gebäuden und ihrer Anlagentechnik durch Messung von Endenergie-Input und Nutzenergie-Output und Auswertung mit einer Energieanalyse aus dem Verbrauch EAV als Grundlage für eine nachfolgende Energieberatung in eine entsprechende Förderung zu integrieren.

#### 3.3.1 Zielsetzung Energieeffizienz in Gebäuden

Primäres Ziel muss es stets sein, die Energieeffizienz im Gebäudebereich deutlich zu steigern, wie es als Forderung auch an verschiedenen Stellen im NAPE zu finden ist. Dazu werden nachfolgend Vorschläge hinsichtlich ihrer Wirkung dargestellt.

▷ Qualitätssicherung und Optimierung – Weiterentwicklung der bestehenden Energieberatung und zugehöriger Weiterbildungskonzepte für Energieberater – vor der detaillierten Energieberatung sollte eine unterjährige Verbrauchsanalyse durchgeführt werden.

Es ist heute mit einem Aufwand "Quasi-Null" möglich, den Ist-Zustand einer Immobilie hinsichtlich Qualitäten der Gebäudehülle, der Anlagentechnik und des Nutzerverhaltens durch eine möglichst einjährige EAV zu ermitteln, ohne dass aufwändige Bestandsanalysen auf Basis eines rechnerischen Bedarfs durchgeführt werden müssen.

-  Verbrauchsauswertung
-  Energieanalyse aus dem Verbrauch - Teil 1
-  Energieanalyse aus dem Verbrauch - Teil 1
-  Erfolgskontrolle 2011

Neben der EAV-Methode sind weitere Verfahren zur Ermittlung des Immobilienzustandes im Zuge einer Energieberatung bekannt, die entweder mit einem erhöhten Aufwand für den Energieberater und ggf. auch den Gebäudenutzer verbunden sind, oder pauschale Gebäudekennwerte nutzen. Diese vereinfachten Verfahren (unter Nutzung von Pauschalwerten) lassen aus der Sicht der Autoren keine verlässliche Aussage eines darauf beruhenden Energieberaterberichts mit ggf. empfohlenen Sanierungsmaßnahmen zu.

Eine Checkliste zur umfassenden Aufnahme aller relevanten Gebäude- und Anlageneigenschaften wird von der DENA vorgelegt. Diese Checkliste umfasst alle energierelevanten Komponenten im Detail und weist folglich einen erhöhten Aufwand in der Datenaufnahme auf.

-  DENA Checkliste Energieberatung

Die vom BMVBS veröffentlichten Regeln zur Datenaufnahme und Datenbearbeitung von Wohngebäuden im Zuge von Energieberatungen beruhen dagegen auf vereinfachte Verfahren und beinhalten eine Vielzahl von Annahmen und Pauschalisierungen bezüglich der energetischen Qualität der Bauteile sowie der Anlagentechnik.

-  Daten im Baubestand aufnehmen und verwerten

Von der IWU wird das sogenannte TABULA-Verfahren vorgestellt, welches ebenso auf pauschalen Gebäudekennwerten anhand einer Klassifizierung der Bestandsgebäude in Gebäudetypologien zurückgreift. Ziel der IWU-Veröffentlichung ist es, eine *"Hilfestellung für die energetische Klassifizierung von Bestandsgebäuden zu geben und hierfür systematische Ansätze, Kriterien und typische Kennwerte zu liefern."* [22]

-  Bewertungsverfahren TABULA – IWU

### 3.3.2 Vom deduktiven Weg der Energieberatung zum induktiven Weg mit der EAV

Eine umfassende Energieberatung ist für eine Sanierung mit Ziel der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung unerlässlich. Dabei wird mit dem heutigen Vorgehen zwar das Gebäude aufwendig erfasst, quantitative Aussagen zur energetischen Qualität von Gebäudekomponenten oder der Anlagentechnik sind damit allerdings meist (noch) nicht möglich.

- ▷ Energieberatung 2.0 – Es wird vorgeschlagen, dass die Methode der Energieanalyse aus dem Verbrauch ein verbindliches Element in der zukünftigen Aus- und Weiterbildung von qualifizierten Energieberatern wird.

Der bisher übliche und weit verbreitete Weg der Energieberatung ist dadurch gekennzeichnet, dass der bestellte Energieberater vor Ort ein Nutzer-Objekt-Anlagen-System vorfindet und untersucht, von welchem er – wenn überhaupt – nur oberflächliche Informationen hat, darunter jährliche Verbrauchsabrechnungen.

Die systemtypische Charakteristik, welche durch wichtige Parameter wie die reale Gebäude- und Anlageneffizienz (Heizwärmeverbrauch, Trinkwarmwasserverbrauch, anlagentechnische Verluste) oder den durchschnittlichen jährlichen (End-)Energieverbrauch in kWh/(m<sup>2</sup>a) definiert wird, kann in der Kürze der Zeit einer Beratung nur ungenau ermittelt werden. Die Qualität dieser Bedarfsabschätzungen ist nicht vergleichbar mit den Möglichkeiten einer Energieanalyse aus dem Verbrauch mit Auswertung monatlicher Verbrauchswerte. Aus systemspezifischen Parametern, die als wesentliche Beurteilungsgrößen aus der Methode der EAV zu identifizieren sind, können wesentliche Informationen extrahiert werden, die eine umfassende und nachhaltige Energieberatung erst möglich machen.

Dies beschreibt den induktiven Weg von den Messwerten zur Analyse der realen Einsparpotenziale. Dabei sind lediglich der Brennstoffverbrauch und die vom Wärmeerzeuger abgegebene Nutzwärme unterjährig über einen definierten Zeitraum im Sommer und in der Heizperiode vor Beginn einer Sanierungsmaßnahme in das vorgefertigte Werkzeug der EAV einzutragen.

Im Zusammenhang mit weiteren Angaben zur Wohnfläche und der Personenzahl lassen sich bereits wesentliche Erkenntnisse gewinnen und verlässliche Potenzialabschätzungen für eine geplante Maßnahme ziehen. Hier bietet das Energiesparkonto von co2online bereits ein Portal, welches der Hausbesitzer fast kostenlos nutzen kann.



#### Energiesparkonto

Aus den Kennwerten der jeweils systemtypischen Energieanalysen kann der geschulte Energieberater sehr konkret die individuell abgestimmten Sanierungsmaßnahmen vorschlagen, die zu einem tatsächlichen Energie-Einsparerfolg führen.

Der Aufwand für eine Energieberatung vermindert sich durch die Nutzung der Energieanalyse aus dem Verbrauch in der Bestandserfassung geschätzt um den Faktor 10, weshalb Experten der Energieeffizienz mehr Intensität in die Planung umfassender Modernisierungen bzw. in die Ausarbeitung von Sanierungsfahrplänen mit individuellen, technisch und wirtschaftlich aufeinander abgestimmten Einzelmaßnahmen legen können.

Diese vorgestellte Methode erfordert aus Sicht der Gutachter allerdings eine Änderung in der seit ca. 15 bis 20 Jahren typischen Ausbildungspraxis für BAFA-Energieberater. Anstelle eines Ansatzes für Teilenergiekennwerte als reine Bedarfskennwerte: "vom einzelnen U-Wert und der zugehörigen Bauteilfläche bis zur Erzeugeraufwandszahl" zur Ermittlung eines Gesamtenergiebedarfskennwertes, wird ein empirischer Ansatz aus einer Energieanalyse aus dem Verbrauch EAV mit wöchentlicher oder monatlicher Auswertung der Endenergie- und Nutzenergie-Verbrauchswerte empfohlen. Durch diese Methodik kann sowohl der "Fingerabdruck des Gebäudes incl. Nutzereinflüssen" als auch der "Fingerabdruck der Anlagentechnik" einfach und auch als Grundlage für einen zukünftigen Energieausweis erstellt werden.



#### Qualitätssicherung Anlagentechnik

Die bisherige Ausbildung von Energieberatern bzw. Effizienzexperten ist an diesen induktiven Prozess "von der Empirie EAV zur Theorie mit Bedarfs-/Verbrauchsabgleich" anzupassen. Dieses Vorgehen hat sich in vielen Feldprojekten der Ostfalia bewährt und wird als ein aufwendiger, aber trotzdem notwendiger Schritt in der Weiterbildung von Energieberatern angesehen. Aus Sicht der Gutachter sind diese Forderungen wesentliche Voraussetzungen für eine technisch und wirtschaftlich bestmögliche Planung und für einen Erfolgsnachweis von Einzelmaßnahmen (Sanierungsfahrplan) oder von umfassenden Modernisierungsmaßnahmen.

Diese vor der detaillierten Energieberatung und vor der Umsetzung einer Maßnahme erforderliche messtechnische Analyse sollte auch als Einzelmaßnahme durch Programme der KfW oder des BAFA gefördert werden. Die vorgeschlagene Förderquote liegt bei 50%. Die anzusetzenden Kosten liegen in der Größenordnung einer Effizienzberatung von 600 € (Einfamilienhaus) bis zu 2.500 € (große Mehrfamilienhäuser) je Projekt.

Begründet ist dieser Vorschlag durch die gleichzeitige Erfassung der Effizienz der eingesetzten Wärmeerzeuger und der Anlagentechnik sowie des Standards (Wärmeenergieverbrauch) des Gebäudes und seiner Nutzung.

Weiterhin sollte an Hersteller von Wärmeerzeugern die Forderung gestellt werden, die beiden Messfunktionen (Input, Output) zukünftig für geförderte Geräte schon im Zuge der Fertigung zu integrieren, wie dies bereits heute für geförderte Wärmepumpen und Mini-BHKWs von der BAFA gefordert wird. Die Mehrkosten für diese Messtechnik bei heutigem Preisstand werden auf 60 ... 100 € je Wärmeerzeuger geschätzt. Dieser Wunsch wurde seitens der Gutachter – auch in Gesprächen mit Vertretern des BMUB – bereits mehrfach an Hersteller herangetragen.

### 3.4 Förderstrukturen wirtschaftlicher Sanierungsmaßnahmen

Umfassende, qualitativ hochwertige Sanierungsmaßnahmen erzeugen erhebliche Kosten und belasten somit den Gebäudebesitzer in besonderer Form. Dieser Aspekt führt nicht selten dazu, dass eigentlich erforderliche Sanierungsarbeiten nicht oder nur in geringem Umfang oder – im schlechtesten Fall – in kostensparender und damit häufig minderwertiger Ausführung durchgeführt werden. Um aber qualitativ und damit energetisch wirksam sanieren zu können, müssen weitere förderpolitische Bemühungen unternommen werden.

▷ Steuerliche Abschreibung von energetischen Sanierungen und Weiterentwicklung, Verstetigung und Aufstockung des CO<sub>2</sub>-Sanierungsprogramms bis 2018 mit Gebäudeindividuellen Sanierungsfahrplänen für Wohngebäude und Nichtwohngebäude sowie Fortentwicklung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien (MAP) und notwendige Anpassungen im Energieeinsparrecht und im Mietrecht

Die seit Jahren von vielen Seiten geforderte verbesserte steuerliche Abschreibung bzw. eine vereinfachte und für alle Seiten gerechte Modernisierungumlage energetischer Sanierungen ist zu unterstützen, sollte aber in jedem Fall an einen Erfolgsnachweis durchgeführter Maßnahmen geknüpft werden. Damit verbunden ist die Forderung eines kontinuierlichen Monitorings bzw. an eine EAV, z. B. im Energiesparkonto von co2online.

Die Auswertung der EAV sollte auch als Basis für steuerliche, rechtliche und förderpolitische Maßnahmen, z. B. für eine von der Gebäudeeffizienzklasse abhängige jährliche Grundsteuer und für Maßnahmen im Rahmen von KfW- und BAFA-Förderungen gefordert werden.

Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, dass steuerliche Abschreibungs- und Förderoptionen, u. a. auch die Modernisierungumlage im Mietwohnungsbau, ohne zusätzliche Kontrollmechanismen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Effizienzkontrolle häufig zum Einbau aufwendiger und mit höheren Investitionskosten verbundenen Techniken führen, ohne dass wesentliche Endenergieeinsparungen erzielt werden.



Solarthermie im Feld Teil 1

Solarthermie im Feld Teil 2

### 3.4.1 Erfolgsnachweis als Grundforderung

Das "Vier-Säulen-Modell" der Energiewende:

- steuerliche Begünstigung,
- KfW-Förderprogramme,
- BAFA-Programme,
- gesetzliche Anforderungen bei Neubauten bzw. bei umfassenden Erweiterungen und Modernisierungen (EnEV – EEWärmeG, die zusammenzuführen sind) und zukünftiger Energieausweis

verlangt aus Sicht der Gutachter nach einem Erfolgsnachweis durch Auswertung mit einer EAV. Dieser erfolgt durch Messung von min. 1 ... 2 Jahren nach Durchführung der Maßnahme. Ein Erfolgsnachweis schafft die notwendige Transparenz bei der Evaluation der Wirkung unterschiedlicher Maßnahmen für eine zukünftig effektive Umsetzung in Gesetzgebung und in Förderprogrammen.

### 3.4.2 Best-Practice-Beispiele als Grundlage für Förderprogramme

Wirtschaftlich und technisch bestmögliche und in der Praxis realisierbare Einsparpotenziale ergeben sich aus dem Prinzip: "mit jeweils geringsten möglichem Aufwand tatsächliche Einsparpotenziale von Endenergie und damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen" heben.

Die Förderung könnte sich zunächst weiterhin an den geplanten Standards – z. B. KfW-Effizienzstandards – orientieren. Die Förderung selbst besteht aus einem vergünstigten Darlehen und/oder aus einem Investitionszuschuss. Die Standards werden bundesweit und flächendeckend in Abhängigkeit der durch Messung und mit der EAV nachgewiesenen, eingesparten bzw. mehr verbrauchten kWh kontinuierlich neu gesetzt. Entsprechende Umsetzungsverfahren sind hierfür zu entwickeln.

Gegebenenfalls lässt sich dadurch auch ein Markt für Energieeinsparwettbewerbe eröffnen. Auf freiwilliger Basis werden diese Instrumente nach vorgenanntem Punkt 4 neu eingeführt. Orientierung erfolgt an sinnvoll gesetzten Kennwerten (kWh/(m<sup>2</sup> a) oder kWh/(P a)) – vergleichbar mit dem Benzinverbrauch in l/100 km im Mobilitätsbereich.

## 3.5 Angepasster Energieausweis als Grundlage für eine Grundsteuer

Die Ergebnisse der Messung (Nachverfolgung von Maßnahmen und Effizienzstandards) werden in einen kontinuierlich zu aktualisierenden Energieausweis (Beispiel Schweden und Beispiel "Albertstraße 3" nachfolgend erläutert) auf Basis der EAV umgewandelt. Der sich ergebende Energiekennwert kann Grundlage für eine zukünftig neu einzuführende Grundsteuer auf Basis der Gesamteffizienz eines Gebäudes sein – Vorschlag der VdZ [44].

### 3.5.1 Umsetzungsvorschlag an einem konkreten Beispiel

Als ein Beispiel für die oben vorgeschlagenen Schritte sei hier das Thema "Einführung eines Energieausweises auf Basis der Energieanalyse aus dem Verbrauch" detaillierter vorgestellt. Frühere Energieausweise des gleichen Gebäudes sind im Anhang A1 aufgeführt.

Nachfolgendes Bild zeigt den Entwurf eines EAV-basierten Energieausweises für ein 2007 auf ca. KfW-Standard 55 modernisiertes altes Fachwerkhaus Baujahr 1900 mit Wohn- und Büronutzung.

Albertstraße 3  
38124 Braunschweig  
Wohn-/Bürogebäude

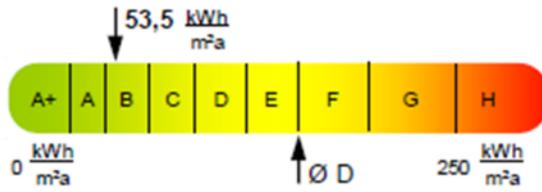
Fläche: 211,2 m<sup>2</sup>  
Personen: 2 P  
Baujahr: 1900  
Modernisierung: 2008

	von	bis	f <sub>Klima</sub>
①	01.01.12 -	31.12.12	1,075
②	01.01.13 -	31.12.13	1,013
③	01.01.14 -	31.12.14	1,327

Wärmeverbrauch

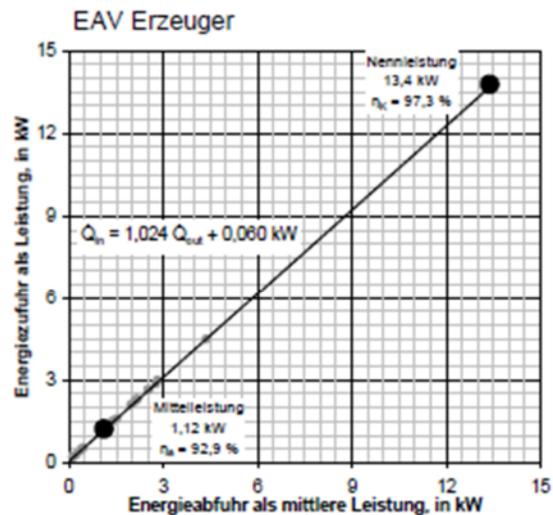
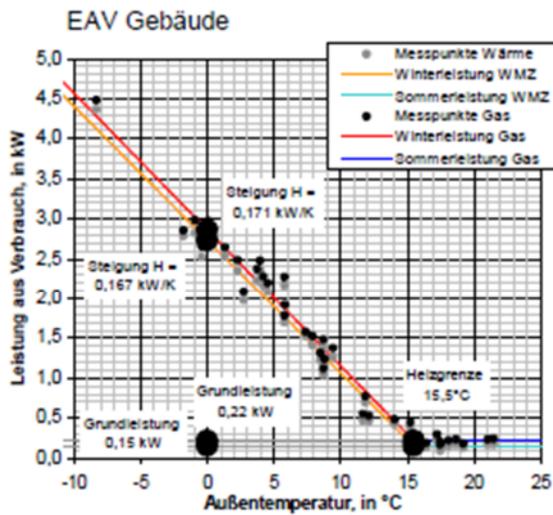
Energieträger: Erdgas

Werte brennwertbezogen

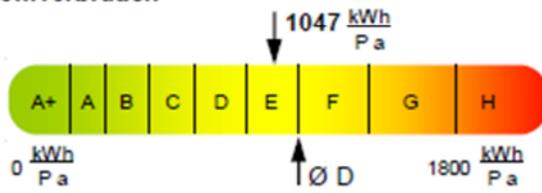


	kWh	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(Pa)
①	10.776	51,0	5.388
②	10.944	51,8	5.472
③	9.273	43,9	4.637
Ø Messzeit	10.331	48,9	5.166
Ø Langzeit	11.311	53,5	5.656

Energieanalyse aus dem Verbrauch

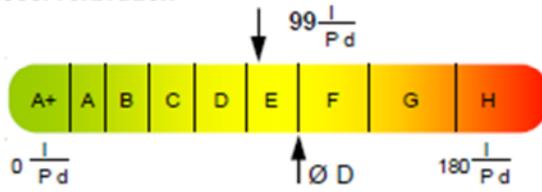


Stromverbrauch



	kWh	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(Pa)
①	2.150	10,2	1.075
②	2.045	9,7	1.023
③	2.086	9,9	1.043
Ø Messzeit	2.094	9,9	1.047
Ø Langzeit	2.094	9,9	1.047

Wasserverbrauch



	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> a)	l/(P d)
①	71,1	0,34	97
②	74,0	0,35	101
③	72,3	0,34	99
Ø Messzeit	72,5	0,34	99
Ø Langzeit	72,5	0,34	99

CO<sub>2</sub>-Emissionen für Wärme- und Stromverbrauch

Ø Langzeit	3702 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{a}}$	17,5 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$	1,85 $\frac{\text{t CO}_2}{\text{Pa}}$
------------	--	--	--

Abbildung 4 Energieausweis mit EAV [eigene Grafik]

Folgende Informationen lassen sich aus dem Entwurf des Energieausweises entnehmen:

- Beheizte Flächen und Bewohnerzahl
- Messzeiträume für den Endenergieverbrauch (Erdgas) mit zugehörigem Faktor für die Witterungskorrektur – drei zurückliegende Jahre wie bisher Grundlage für einen verbrauchsorientierten Energieausweis.
- Einordnung in die Effizienzklassen nach dem Neuentwurf der EnEV 2014 sowie absoluten und spezifischen Endenergiekennwerten in  $\text{kWh}_{\text{HS}}/(\text{m}^2 \text{ a})$  sowie  $\text{kWh}_{\text{HS}}/(\text{P a})$
- EAV als Fingerabdruck des Gebäudes mit Auftragung von Energieinput Erdgas als mittlere Leistung aus monatlichen Verbrauchsmessungen und Output des Brennwertkessels aus ebenfalls monatlichen Wärmemengenzählermessungen aufgetragen über der mittleren Außentemperatur in den jeweiligen Messzeiträumen. Wichtige Kennwerte sind die Steigung der beiden Leistungsgeraden für die Erdgasbrennstoffleistung ( $H_1 = 0,171 \text{ kW/K}$ ) und die Kesselnutzleistung ( $H_2 = 0,167 \text{ kW/K}$ ) in der Heizperiode. Letztere entspricht einem Mittelwert für den in Normen zur Bedarfsermittlung bekannten Wärmeverlustkoeffizienten für Transmission und Lüftung. Daraus ermittelte Kennwerte für den EnEV-Nachweis liegen weit unter den heutigen aber auch ab 2016 geltenden Anforderungen. Die Heizgrenztemperatur von  $15,6^\circ\text{C}$  trennt die Heizperiode von der Sommerperiode. Weiterhin sehr wichtige Kennwerte sind die Grundleistungen alleine für Warmwasserbereitung zum einen für die Erdgasbrennstoffleistung ( $Q_{\text{Gas}} = 0,21 \text{ kW}$ ) und weiterhin für die Kesselnutzleistung ( $Q_{\text{Nutz}} = 0,16 \text{ kW}$ ) in der Sommerperiode.
- EAV als Fingerabdruck des Kessels aus der die wichtigen Kesselkennwerte erkennbar sind: Nennleistung vom Typenschild oder aus dem Schornsteinfegerprotokoll ( $13,4 \text{ kW}$ ), anlagentechnischer Wirkungsgrad ( $97,7\%$ ), Bereitschaftsverlustleistung ( $0,053 \text{ kW}$ ) und der mittlere Jahresnutzungsgrad ( $94,1\%$ ) für die letzte Messperiode. Mit entsprechenden Gleichungen, welche aus dem Anhang a1 zu entnehmen sind, können alleine aus der EAV die Kennwerte des Gebäudes und des Wärmerzeugers rechnerisch ermittelt werden und mit entsprechenden Bedarfskennwerten aus Normen und/oder Energieberatungsprogrammen verglichen werden. Die oben ermittelten Daten entsprechen einem aus Sicht der Gutachter bestmöglichen technischen Stand. Im Vergleich zur Brennwertkesselstudie wurden hier durch entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen und mit für Brennwerttechnik optimalen Voraussetzungen durch auf Niedertemperaturbetrieb ausgelegten Heizkörperflächen mit durchgeführtem hydraulischen Abgleich ein um 8 Prozent besserer Jahresnutzungsgrad erreicht. Die Kesselverluste liegen hier bei nur 3 gegenüber  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  in der Brennwertkesselstudie der Ostfalia [46].
- Als Neuvorschlag für zukünftige Energieausweise werden auch der Stromverbrauch im Wohnungsbau und optional auch der Wasserverbrauch der letzten drei Abrechnungsjahre aufgeführt.
- In letzter Ergänzung und als wichtiger Neuvorschlag für die zukünftige EnEV werden die  $\text{CO}_2$ -Emissionen für Wärme- und Stromverbrauch als absolute und bezogene Werte aufgeführt. Ein Primärenergiekennwert wird nicht mehr ausgewiesen.

Es wird vorgeschlagen, den Energieausweis zukünftig in Anlehnung an den obigen Vorschlag und begleitend zu Fördermaßnahmen seitens EnEV/EEWärmeG bzw. KfW und BAFA-Förderprogrammen einzuführen.

### 3.6 Zukünftige Schritte mit einer Balance zwischen Markt und Regulierung

Der beschriebene Prozess mit den vorgeschlagenen Schritten bedarf einer breit angesetzten öffentlichen Plattform zur Verbreitung. Der Gesetzgeber fordert dazu:

*"Im Aktionsprogramm Klimaschutz gilt es sicherzustellen, dass wir unser Klimaschutzziel – gegenüber 1990 minus 40 Prozent CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2020 – erreichen. Die Kernelemente, bezogen auf den Wärmemarkt sind vielfältig und übergreifend. Wir wollen die Sanierungsaktivitäten auf freiwilliger Basis weiter ankurbeln. Sanierungsfahrpläne für Bestandsgebäude erstellen. Das CO<sub>2</sub>- Gebäudesanierungsprogramm fortschreiben, den Ordnungsrahmen anpassen (etwa durch den Abgleich von EnEV und EEWärmeG), den Anteil erneuerbarer Energien im Wärmebereich forcieren und Abwärme im Gebäudebereich stärker nutzen. Darüber hinaus sollen die KWK-Potenziale gestärkt und Effizienztechnologien auf breiter Basis gefördert werden. Von Gebäuden wird künftig zum Beispiel der Einsatz von Brennstoffzellen zunehmend sinnvoll. Entscheidend ist außerdem die Verbesserung von Transparenz und Information, Aus- und Fortbildung: systematische, kundenfreundliche, qualifizierte Energieberatung, eine Bildungsinitiative Gebäudeeffizienz und verbesserte Verbraucherinformationen" (Zitat Ministerin Hendricks) [10].*

All dies ist erreichbar, wenn ein ausgewogenes und allgemein akzeptiertes Verhältnis zwischen Markt und Regulierung angestrebt wird. Darüber hinaus wird durch neu zu integrierende Messfunktionen in den Geräten und Anlagen der Energie- und Gebäudetechnik die Transparenz zukünftig besser gewährleistet.

Das Angebot dieser Messfunktionen ist derzeit am Markt nicht sichtbar. Es kann jedoch ohne große Entwicklungsarbeit und auf Basis vorhandener Messtechnik zügig eingeführt werden.



Ehrliche Bewertung 2007

Erfolgskontrolle 2011

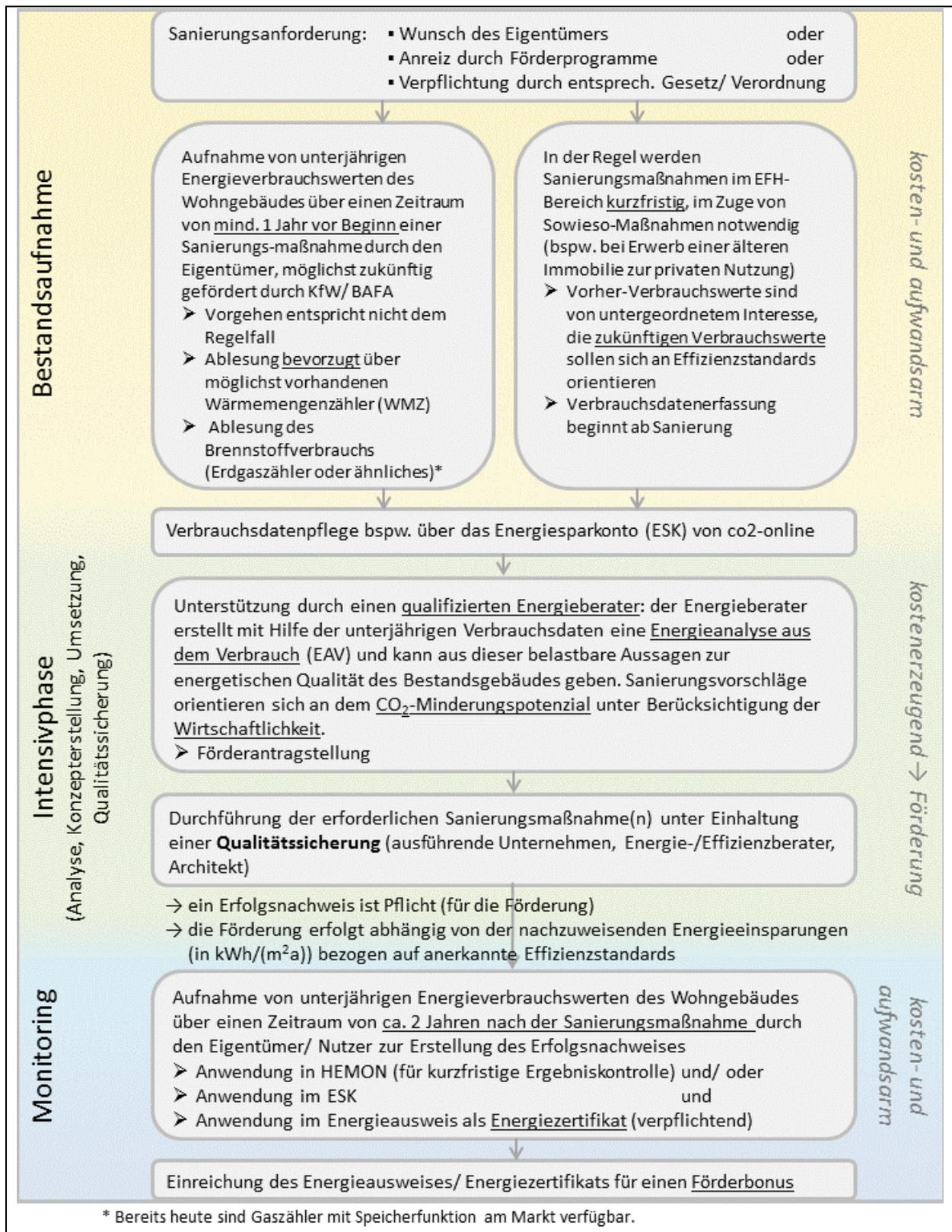
Erfolgsnachweis 2013

### 3.7 Sanierungswegweiser

Auf der Basis der aufgeführten Schritte empfehlen die Gutachter eine strukturierte Vorgehensweise bei Sanierungsmaßnahmen, welche aber auch auf artverwandte Bereiche überführt werden kann. Dazu wurden für zwei Anwendungsfälle jeweils ein detaillierter Wegweiser entwickelt, welches ein strukturiertes Vorgehen beschreibt: zum einen wird dabei der Fall des Einfamilienhauses bzw. des privat genutzten Wohngebäude betrachtet, zum anderen der Fall des Mehrfamilienhauses mit einer Hausverwaltung.

Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Wegweisern liegt in der Phase der Bestandsaufnahme: für Mehrfamilienhäuser können im Zuge einer sowieso erforderlichen Aufnahme von Energieverbrauchswerten zu Abrechnungszwecken, beispielsweise für Trinkwarmwasser, weitere Zähler installiert und damit der Bereich der Datenaufnahme problemlos erweitert werden. Im Einfamilienhaus hingegen ist es meist von untergeordnetem Interesse, welcher Vorher-Verbrauch für das einzelne Objekt vorliegt. Insbesondere bei einem Eigentümerwechsel und meist einhergehenden umfassenden Umbaumaßnahmen sollte man sich dann für eine Modernisierung an Effizienzstandards orientieren.

Die Anwendung des Sanierungswegweisers erfolgt an einem praktischen Beispiel und ist im Anhang A2 dargestellt.



**Abbildung 5** Wegweiser für das künftige Vorgehen bei Sanierungsmaßnahmen im Wohngebäudebestand für EFH mit privater Nutzung [eigene Grafik]

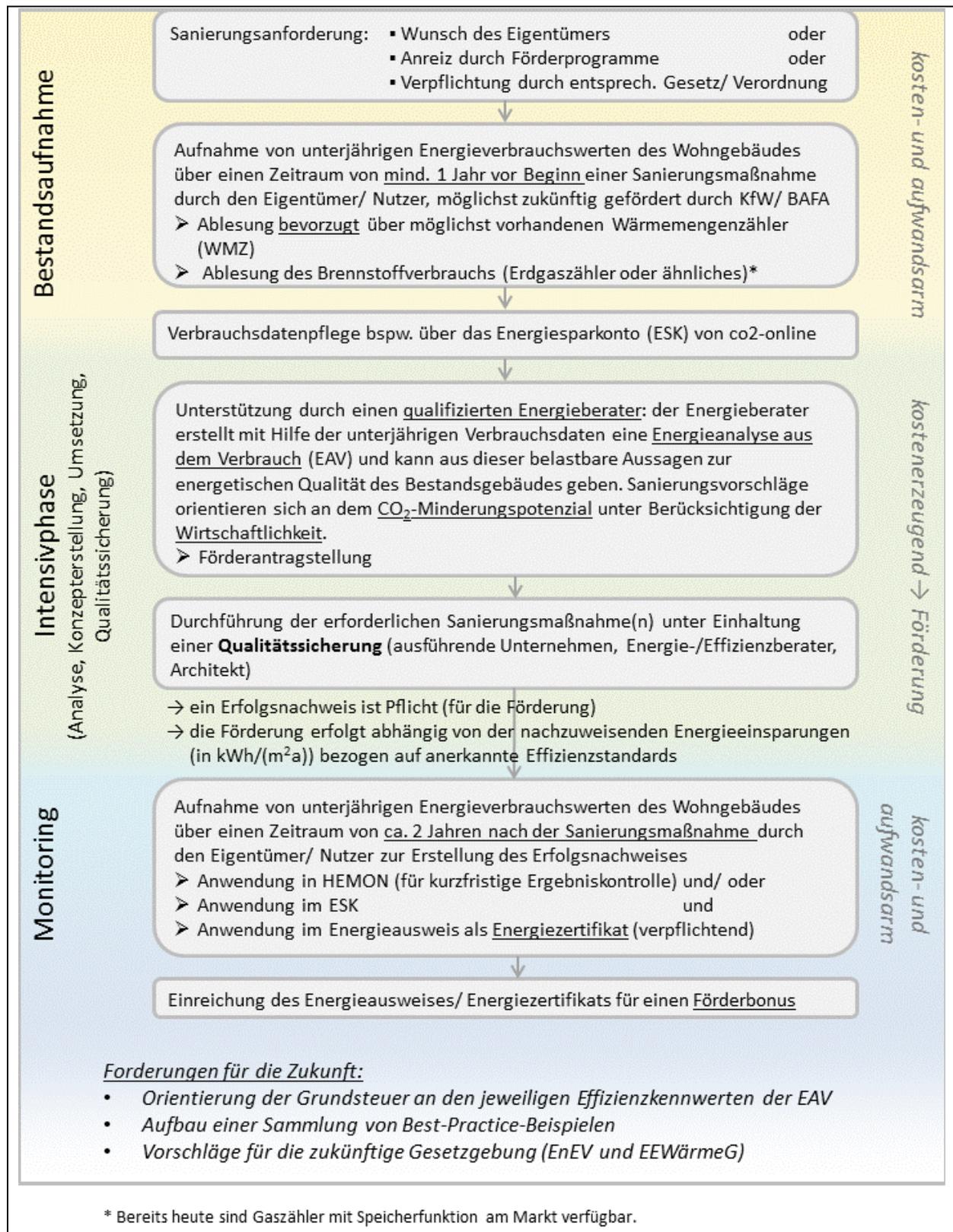


Abbildung 6 Wegweiser für das künftige Vorgehen bei Sanierungsmaßnahmen im Wohngebäudebestand für MFH (Mietwohnungen) [eigene Grafik]

## 4 Ausgangssituation

Mit dem bisher verfolgten politischen Vorgehen Deutschlands kann das Zwei-Grad-Ziel nicht erreicht werden. Möchte Deutschland seine Klimaschutzziele erreichen, gilt es das Potenzial für CO<sub>2</sub>-Minderungen im Gebäudebestand zu quantifizieren und Ansätze aufzuzeigen, wie es gehoben werden kann.

Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 des BMUB heißt es, dass weitere Maßnahmen erforderlich sind, um das 40-Prozent-Ziel bis zum Jahr 2020 zu erreichen. Projektionen gehen davon aus, dass mit den aktuellen Anstrengungen Deutschlands lediglich 33 Prozent erreicht werden [6].



Aktionsprogramm Klimaschutz 2020

Geht es um die Benennung von nicht ausgeschöpften Potenzialen, steht in der öffentlichen Debatte weiterhin die Diskussion um die Steigerung der "Sanierungsquote" im Vordergrund (Forderung nach der Verstetigung und Aufstockung von Fördermitteln). Bisher gibt es keine Kampagne, die das Thema Sanierungswirkung in den Mittelpunkt stellt.

Unter Berücksichtigung der aktuellen Entwicklung des Endenergieeinsatzes für Raumwärme und Warmwasserbereitung beschreibt der Fortschrittsbericht des BMWi zum Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz NAPE Tendenzen zwischen 1996 und 2013:

"Für private Haushalte hat sich der spezifische Endenergieverbrauch allein für Raumwärme – ohne Warmwasser – seit 2008 um 4,4 Prozent auf 147 kWh/m<sup>2</sup> verringert. Temperaturbereinigt beträgt der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme im Jahr 2013 144 kWh/m<sup>2</sup> und hat sich somit gegenüber 2008 mit 161 kWh/m<sup>2</sup> um 10,8% verringert." 1997 betrug der entsprechende temperaturbereinigte Wert 202 kWh/m<sup>2</sup>.



Fortschrittsbericht zum NAPE

Zusammenfassend sind wesentliche Aussagen dem Fortschrittsbericht zu entnehmen:

### **"Gebäuderelevanter Endenergieverbrauch – Wärmebedarf"**

Die Endenergie für den Gebäudebetrieb ist eine zentrale Größe. Durch Reduzierung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle (Wände, Fenster, Dach, Keller, Lüftung etc.) sowie der Energieverluste bei der Haustechnik (Leitungs-, Speicher-, Übergabe- und Erzeugungsverluste etc.) kann der Endenergieverbrauch erheblich reduziert werden.

### **Der Wärmebedarf wird gemäß Energieeinsparrecht bestimmt.**

Für den Wärmebedarf als gebäuderelevante Größe werden gemäß der Definition im Energieeinsparrecht – und damit im Gebäudeenergieausweis – die Bedarfswerte für Raumwärme (Heizung), Raumkühlung und Warmwasserbereitung ausgewiesen. Das sind diejenigen Energiemengen, die ein Wärmeerzeuger für sogenannte Nutzwärme im Gebäudebetrieb bereitstellen muss.

## **Der Gebäudesektor macht einen erheblichen Anteil am gesamten Endenergieverbrauch aus.**

Auf den Endenergieverbrauch für Raumwärme und -kühlung sowie Warmwasserbereitung und Beleuchtung entfallen im Jahr 2013 37,6 Prozent des Endenergieverbrauchs (29,4 Prozent für Raumwärme und -kühlung, 5,5 Prozent für die Warmwasserbereitung, 2,6 Prozent für Beleuchtung) ... "Den größten Anteil am gebäudebezogenen Endenergieverbrauch haben die privaten Haushalte. Ihr Anteil liegt bei über 63 Prozent, gefolgt vom Gewerbe- und Dienstleistungs-Sektor mit knapp 28 Prozent und dem Industrie- Sektor mit knapp 9 Prozent. Damit kommt dem Bereich der Wohngebäude eine besondere Bedeutung bei.

## **Das Ziel zum Wärmebedarf bezieht sich auf das Jahr 2008.**

Beim Ziel des Energiekonzepts, den Wärmebedarf zu reduzieren, werden neben der Minderung der Energieverluste über die Gebäudehülle auch solche Maßnahmen angerechnet, die zu Effizienzsteigerungen in der Anlagentechnik führen. In Ergänzung zum Energiekonzept wird als Zielbezugsjahr für den Wärmebedarf das Jahr 2008 festgelegt.

## **Aufgrund der Witterung hat der Wärmebedarf 2013 zugenommen.**

*Im Jahr 2013 betrug der Wärmebedarf 3.484 PJ " ... " Im Vergleich zum Vorjahr hat der Wärmebedarf um 7,8 Prozent zugenommen (2012: 3.230 PJ). Grund hierfür war vor allem die Witterung. Gegenüber dem Basisjahr 2008 hat sich der Wärmebedarf um 0,8 Prozent erhöht (2008: 3.457 PJ).*

## **Die bewohnte Wohnfläche ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen**

Die bewohnte Wohnfläche ist von 2,93 Milliarden Quadratmeter im Jahr 1996 durchschnittlich um jährlich rund 27 Millionen Quadratmeter Wohnfläche (rund 1 Prozent) auf knapp 3,4 Milliarden Quadratmeter im Jahr 2013 gestiegen. Die tatsächlich bewohnte Wohnfläche hat einen wesentlichen Einfluss auf den gesamten gebäuderelevanten Endenergieverbrauch.

## **Der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser ist rückläufig.**

Der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte betrug im Jahr 2013 177 kWh/m<sup>2</sup> und ist damit gegenüber dem Vorjahr (2012: 167 kWh/m<sup>2</sup>) um 6,2 Prozent gestiegen. Seit 2008 hat sich der Wert um 2,6 Prozent verringert (2008: 182 kWh/m<sup>2</sup>).

## **Der temperaturbereinigte spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme ist deutlich zurückgegangen.**

Unter Berücksichtigung der Temperaturbereinigung ergibt sich im Jahr 2013 ein spezifischer (bezogen auf die bewohnte Wohnfläche) Endenergieverbrauch für Raumwärme der privaten Haushalte von rund 144 kWh/m<sup>2</sup> (unbereinigt: 147 kWh/m<sup>2</sup>)" ... " Somit ist der temperaturbereinigte spezifische Endenergieverbrauch der Beheizung rund 11 Prozent niedriger als 2008 (2008: 161 kWh/m<sup>2</sup>)."

Zur Zielerreichung bei Übernahme der Forderung des 2008-Bezugs für den "Wärmebedarf = Endenergieverbrauch Raumwärme" ist eine weitere Reduktion um 9 Prozent entsprechend ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup> a) bis 2020 erforderlich. Bei 3,4 Mrd. m<sup>2</sup> Wohnfläche entspricht dies 34 TWh/a zusätzlicher Einsparung, die zur Zielerreichung erforderlich sind.

Andere Werte ergeben sich bei Einbezug der Warmwasserbereitung. Hier hat sich der Endenergieverbrauch Raumwärme und Warmwasser nur um 2,6 Prozent vermindert. Eine entsprechend höhere Einsparung bis 2020 wäre hiernach erforderlich.

Aufschluss ergeben die Kennwerte von Techem [42].

#### Techem Kennwerte

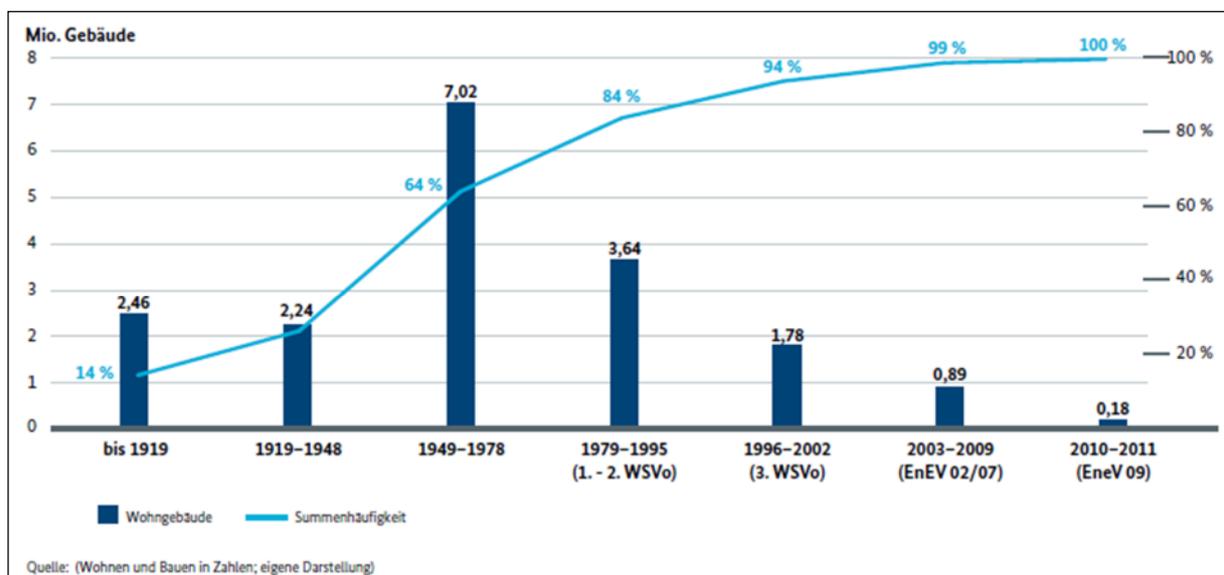
Seit 1990 hat sich der Heizölverbrauch für Mehrfamilienhäuser von ca. 20 l/(m<sup>2</sup> a) auf 14 l/(m<sup>2</sup> a) vermindert. Daraus ergibt sich eine notwendige Reduktion bezogen auf das 40%-Ziel gegenüber 1990 von zusätzlich 20 kWh/(m<sup>2</sup> a).

In der im Dezember 2014 veröffentlichten Studie des BMWi "Sanierungsbedarf im Gebäudebestand" wird die aktuelle Situation des Wohngebäudebestandes detailliert dargestellt. Wesentliche Aussagen der Studie werden hier aufgeführt.

#### Sanierungsbedarf im Gebäudebestand

Bei der Betrachtung des Gebäudebestandes wird von etwa 20 Mio. Wohnungen und Wohngebäuden ausgegangen, bei denen in den kommenden 20 Jahren eine Sanierung anstehen wird.

Eine Übersicht des Wohngebäudebestandes in Deutschland zeigt, dass die meisten Wohngebäude in Deutschland in der Baualtersklasse von 1949-1978 und früher zu finden sind und damit ein Alter von über 35 Jahren aufweisen. Damit befindet sich ein Großteil aller Wohngebäude in einem Zeitraum, der für Sanierungsmaßnahmen relevant ist. Die Verteilung aller Wohnbestandsgebäude Deutschlands nach Baualtersklassen ist in nachfolgender Abbildung 7 dargestellt.



**Abbildung 7** Verteilung des Wohngebäudebestandes gruppiert nach Baualtersklassen  
Quelle: BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand [10]

Dabei muss eine Sanierung, soll sie erfolgreich sein, die vorliegenden Bauqualität sowie die Qualität der bestehenden Anlagentechnik berücksichtigen. Dies macht eine ganzheitliche Untersuchung durch einen qualifizierten Energieberater unter Zuhilfenahme der vorgenannten Energieanalyse aus dem Verbrauch erforderlich.

## Sanierungsquote

Bei der Bestandsbetrachtung wird der Begriff der Sanierungsquote verwendet. Wird die Sanierungsquote allerdings nicht weiter erläutert, bleibt vollkommen unbeachtet, welchen Umfang und welche Tiefe eine Sanierung aufweist. Der Begriff der Sanierungsquote gibt keine Aussage darüber, welche Maßnahmen einer Sanierung zugesprochen werden können. Dabei kann diese von einem einfachen Fenstertausch bis hin zu umfassenden Maßnahmen reichen, die neben der Dämmung der Gebäudehülle auch die Erneuerung der Anlagentechnik umfassen.

## Nutzung erneuerbarer Wärme

Bislang ist der Einsatz von Anlagentechnik, die erneuerbare Energien nutzt, insbesondere im Wohnbestand, noch sehr gering. Im Wohnungsneubau wird dagegen in jedem dritten Haus die Raumwärme durch die Nutzung regenerativer Energien erzeugt.

Bei den Erneuerbaren Energien bleibt die Zusammensetzung unklar. Hinter dem Sammelbegriff kann Solarenergie, aber auch Biomasse verstanden werden. Hier muss berücksichtigt werden, dass Biomasse nicht beliebig verfügbar ist und ein endliches Potenzial besteht (Biomassebudget: 30 bis 35 kWh<sub>Endenergie</sub>/m<sup>2</sup>a), wenn diese nicht für die Ernährung wichtige landwirtschaftliche Flächen verdrängen soll.

Zur Anlagentechnik, die erneuerbare Energien nutzt, zählen auch Wärmepumpen, die allerdings nicht zwangsläufig mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben werden. Allerdings erfolgt der aktuelle Bezug bei der Bewertung von Wärmepumpen auf den Kennwert Primärenergie. Durch einen zunehmend sinkenden Primärenergiefaktor wird diese Technik allerdings sehr gut bewertet, was bei einer Bewertung mit der Kenngröße CO<sub>2</sub>-Äquivalent anders ausfallen würde.

## Flächenbezogener Endenergieverbrauch des Wohngebäudebestands

Die im Bericht dargestellten Werte der mittleren flächenbezogenen Endenergieverbräuche über die einzelnen Baualtersklassen weichen teilweise stark ab von vergleichbaren Kennwerten, die bspw. in dem DENA-Gebäudereport veröffentlicht wurden, sowie Werten aus eigenen vorangegangenen Studien (OPTIMUS-Studie).

Auffällig sind an dieser Stelle die teilweise hohen spezifischen Endenergieverbräuche bei älteren Gebäuden, insbesondere aber bei der Baualtersklasse von 1949-1978, die aus der folgenden Abbildung zu entnehmen sind.

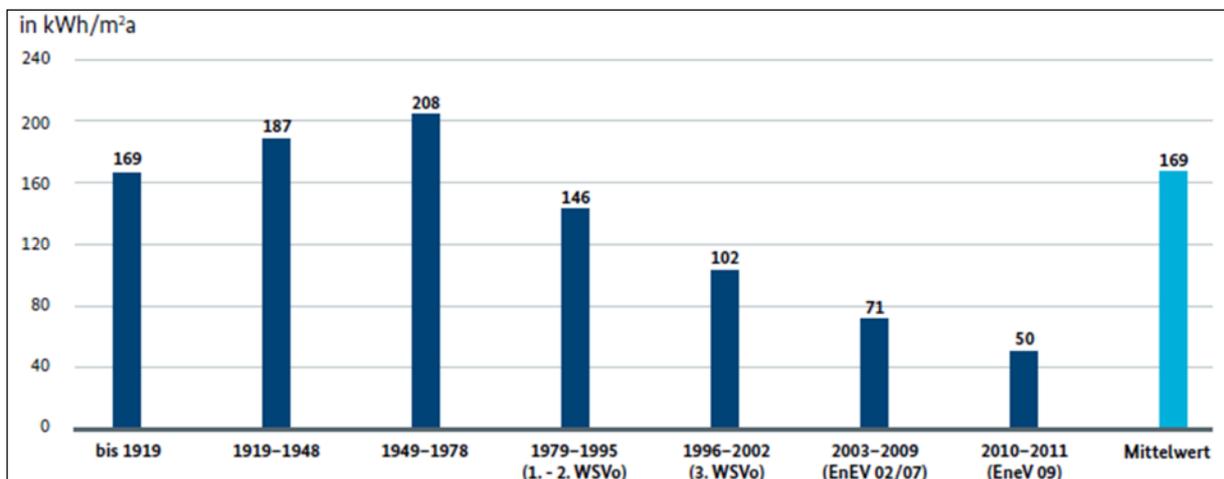
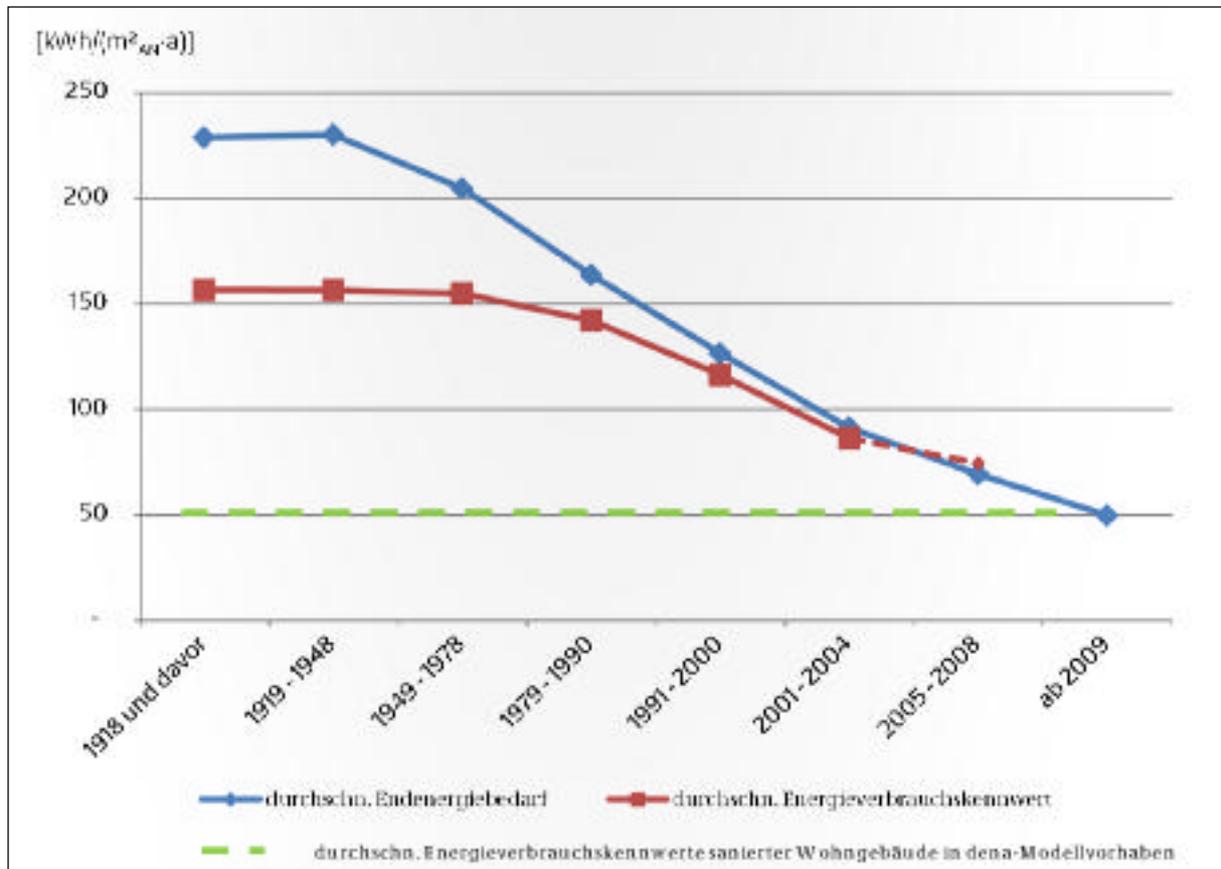


Abbildung 8 Verteilung des flächenbezogenen Endenergieverbrauchs des Gebäudebestandes nach Baujahren; Quelle: BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand [10]

Im Vergleich mit dem DENA-Gebäudereport [13] ist anzunehmen, dass evtl. teilweise Verbrauchswerte mit Bedarfswerten gleichgesetzt werden. Wie aus der Abbildung 9 des Gebäudereports, aber auch aus eigenen früheren Arbeiten der Autoren zu entnehmen ist, liegt der tatsächliche Endenergieverbrauch von älteren Wohngebäuden unter dem ermittelten Endenergiebedarf.



**Abbildung 9 Endenergiebedarf und Energieverbrauch nach Baualter dena Gebäudereport 2012 [13]**

Hier liegt der reale mittlere Endenergieverbrauch bei Bestandsgebäuden der Baualterklasse von 1949-1978 bei gut 150 kWh/(m<sup>2</sup> a). Demgegenüber liegt der berechnete Bedarf mit einem Wert von über 200 kWh/(m<sup>2</sup> a) deutlich über dem Verbrauch.

Diese Aussage deckt sich mit Erkenntnissen aus eigenen vorangegangenen Arbeiten der Autoren (OPTIMUS, Brennwertkesselstudie, etc.). Tatsächlich liegt der Energieverbrauch alter Wohngebäude durchschnittlich unter deren Bedarf, bei neueren bzw. umfassend modernisierten Wohngebäuden kehrt sich die Situation nicht selten um und führt dadurch zu einer oftmals zu hohen Energieeinsparprognose allein auf Grundlage berechneter Bedarfsbilanzen.

Gründe für die teils starken Differenzen zwischen berechnetem Bedarf und realem Verbrauch sind:

- von der Bedarfsrechnung nach Norm abweichendes, stark individuelles Nutzerverhalten und Klima,
- unregelmäßige Überwärmung des Wohnbereichs durch nicht gedämmte Heizwasserverleitungen,
- überschätzte Effizienz von neuen Heizanlagen und Kesseln: die herstellerseitig angegebenen Wirkungsgrade bei Vollast und Teillastbetrieb beruhen auf Prüfstandswerten. In der Praxis werden diese Wirkungsgrade jedoch (fast) nie erreicht.
- fehlergeschätzte Bauteilqualitäten der Bestandswohngebäude: häufig sind die verwendeten Baustoffe und deren Qualität nicht bekannt, was bei Bedarfsberechnungen dazu führt, dass unterdurchschnittliche Stoffeigenschaften angesetzt werden,
- mangelnde Qualitätssicherung zur Ausschöpfung des vollen technischen Potenzials von Modernisierungsmaßnahmen: dieser Punkt ist wichtig, da durch schlechte Planung und Produktauswahl, aber auch teilweise mangelhafte Ausführungen ein vermeidbarer Mehrverbrauch an Endenergie resultiert,
- Fehlentwicklungen der Förderlandschaft: allgemeines Ziel sollte es sein, zuerst den Energieverbrauch zu reduzieren und den verbleibenden Energiebedarf durch möglichst effiziente und bestenfalls regenerative Energieträger zu decken; eine Förderung der Anschaffung von modernen Anlagensystemen auf Basis regenerativer Energieträger ohne die gleichzeitige Minderung des meist zu hohen Heizenergieverbrauchs durch entsprechende Sanierungsmaßnahmen führt nicht zur Erreichung des ambitionierten Zieles einer Energiereduzierung von 50% bis 2050!

### Prognose zur zeitlichen Umsetzung der erforderlichen Energieeinsparung und der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien

Die Erreichung der Ziele der Energiewende bis 2050 ist nur möglich durch eine gleichzeitige Reduzierung des Energieverbrauchs (über alle Sektoren) sowie der weitreichenden Kompensation fossiler Energieträger durch regenerative. Dabei sind die jeweiligen Anteile der Reduzierung und Kompensation in Abhängigkeit voneinander zu betrachten.

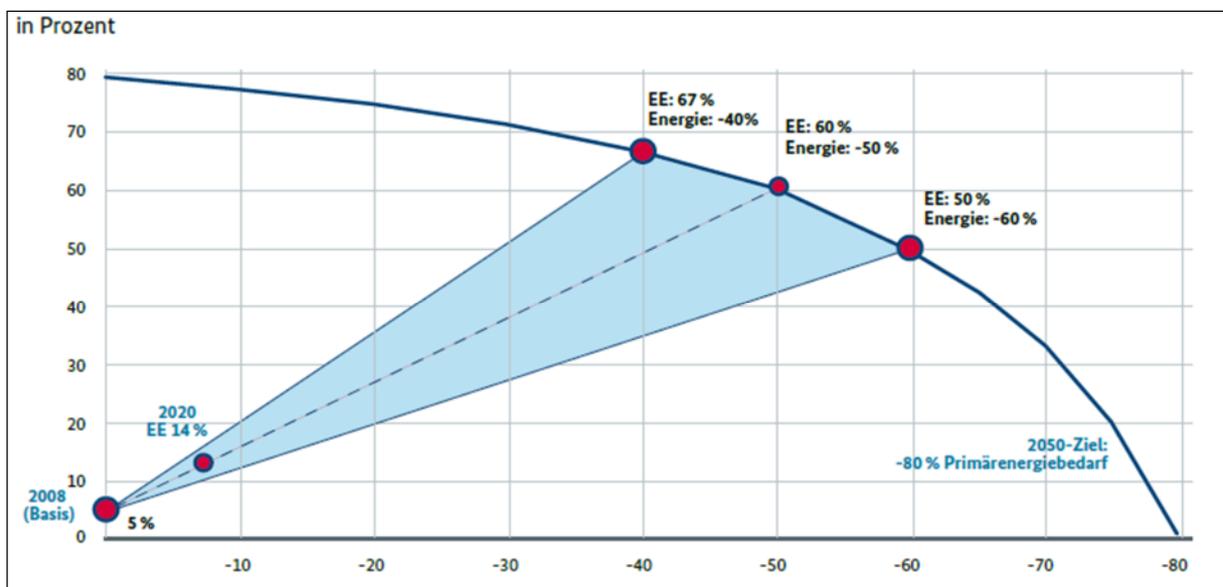
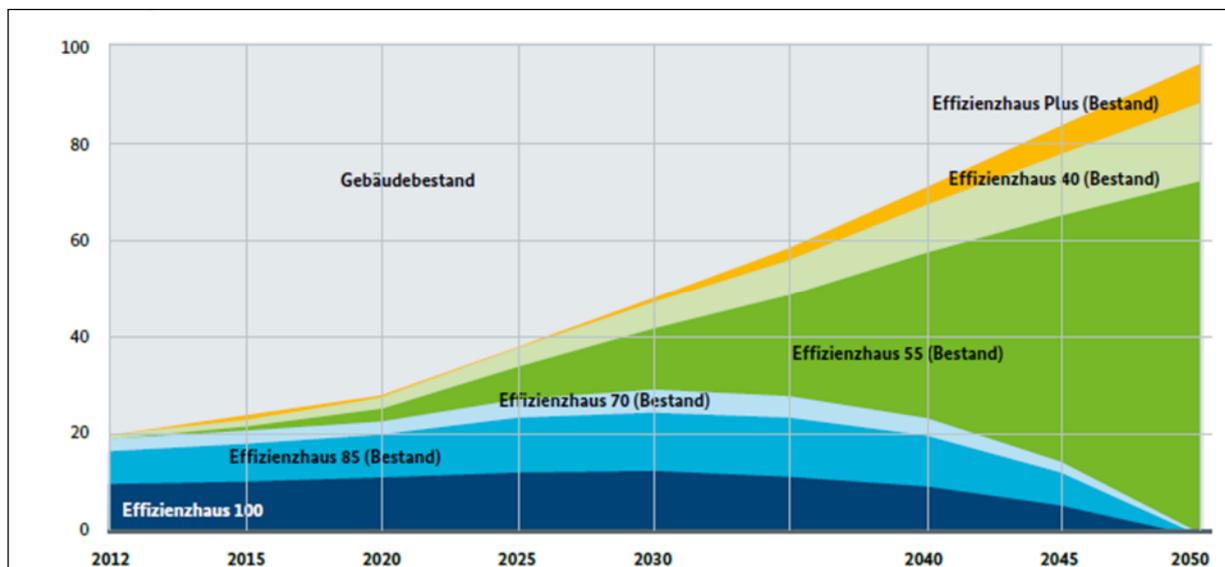


Abbildung 10 (möglicher) Zielkorridor aus Energieeinsparung und Erhöhung des EE-Anteils von 2008 bis 2050; BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand [10]

Langfristige Prognosen sind nach Erfahrung der Gutachter immer stark mit Unsicherheiten behaftet und nicht belastbar (vgl. Zwischenbericht [60]). Unvorhersehbare, aber bedeutende Ereignisse, wie die Fukushima-Katastrophe, welche die energiepolitischen Ziele der deutschen Bundesregierung innerhalb kürzester Zeit drastisch verändert haben, zeigen, dass die zukünftige Energiesituation kaum abschätzbar ist.

Um eine Verminderung des Primärenergiebedarfs um 80 % zu erreichen und damit den Anforderungen an der Energiewende Rechnung zu tragen, müssten die Gebäude bis 2050 im Durchschnitt einem heutigen Effizienzhaus 55 entsprechen. Unklar ist dabei, inwieweit die heute auf einen EnEV-Neubau-Standard modernisierten Gebäude im Laufe der kommenden 35 Jahre realistisch betrachtet über das aktuelle Maß hinaus nochmals (nach)modernisiert werden. Umso wichtiger ist die Zielsetzung, bereits heute den derzeitigen Stand der gesetzlichen Rahmenbedingungen zu übererfüllen bzw. schon kurzfristig eine stärkere Verschärfung der gesetzlichen Anforderungen voranzutreiben.

In dem BMWi-Bericht wird ein Szenario dargestellt, welche zur Erfüllung der notwendigen Anforderungen führen soll, siehe Abbildung 11.

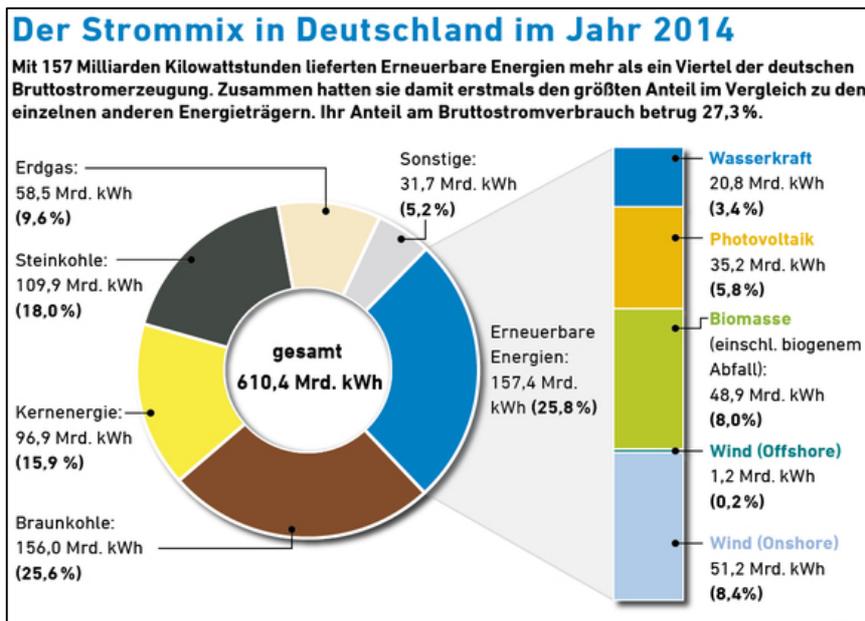


**Abbildung 11** Entwicklung des Primärenergiebedarfs bis 2050, dargestellt anhand der heutigen Förderstrukturen der KfW-Programme ("Effizienzhäuser")  
Quelle: BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand [10]

Auf den Seiten der KfW sind folgende Punkte, die sich als Maßnahmen zur Erreichung des KfW Effizienzhaus 55 Standards bewährt haben, aufgeführt:

- Holzpellet-, Biomasseheizung oder Wärmepumpe,
- Solaranlage für Trinkwassererwärmung,
- Außenwanddämmung,
- Dachdämmung und neue Fenster mit Dreifachverglasung und Spezialrahmen.

Biomasse ist aber nur begrenzt verfügbar und kann somit nicht flächendeckend als Wärmeträger genutzt werden. Andererseits wird – bislang jedenfalls – der Strom, der von den Wärmepumpen benötigt wird, größtenteils durch preiswertere, aber auch ineffizientere und emissionsintensivere Kohlekraftwerke produziert.



**Abbildung 12 Zusammensetzung der Stromproduktion im Jahr 2014**  
Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien [1]

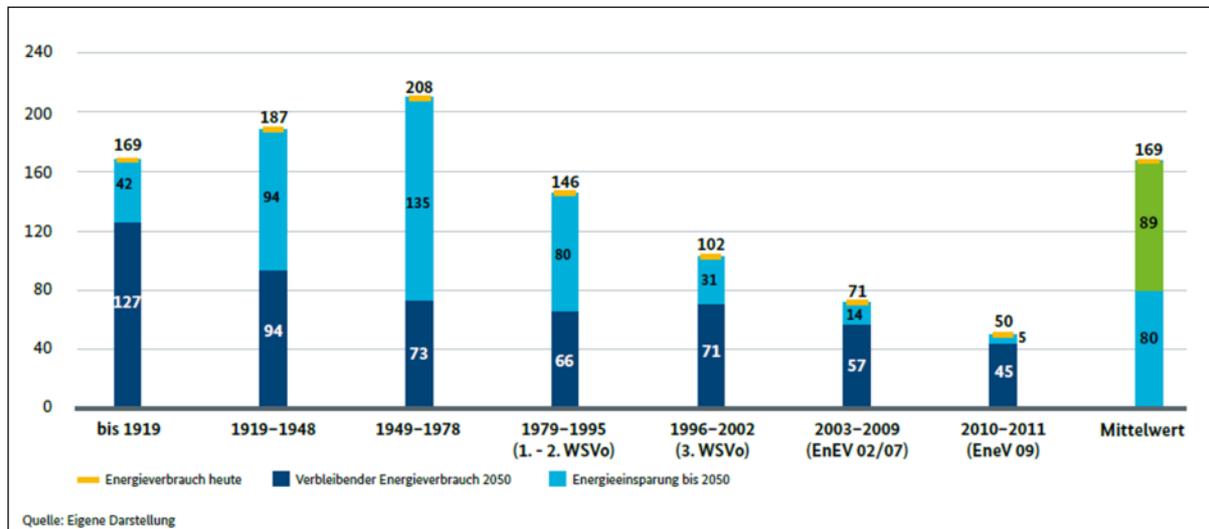
Ihr Ersatz durch Gaskraftwerke (wie politisch geplant) ist derzeit wirtschaftlich nicht möglich. Eine schnell regelbare Kraftwerksform muss es allerdings zum Ausgleich der stark fluktuierenden Stromerzeugungen durch regenerative Energiequellen, hier insbesondere Windkraft- und ggf. auch Photovoltaikanlagen auch noch in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten geben. Andernfalls müsste die gesamte Netz- und Energiespeicherstruktur vollkommen überarbeitet werden, was ebenfalls nur bedingt möglich ist (nur begrenzte Speichermöglichkeiten, notwendiger Netzausbau ist bereits heute kostenintensiv und wird durch Hemmnisse in der Bevölkerung gebremst).

Die ergänzende Forderung nach solarer Trinkwassererwärmung ist nach den Ergebnissen aktueller Studien (Solarkesselstudie) ebenfalls zu hinterfragen, da ein sinnvoller Einsatz von solarthermischen Anlagen zur Warmwasserbereitung nur für kleinere Gebäude (EFH/ZFH) mit einer ausreichenden Bewohnerzahl (>3 Personen) zu Endenergieeinsparungen führt. Der nicht unbeträchtliche Anteil von größeren Wohngebäuden erfordert hingegen andere Lösungsansätze, wie z.B. eine Dezentralisierung zur Vermeidung von Verteil- und Speicherverlusten, die meist in der gleichen Größenordnung oder höher liegen als der eigentliche Nutzen selbst. Besonders vor dem Hintergrund der zukünftig stark reduzierten Bedarfe an Raumwärme nimmt der Anteil Warmwasserbereitung einen immer größeren Stellenwert ein.

Die Zielerreichung eines flächendeckenden KfW55 Standards im Wohngebäudebereich ist mehr als fraglich und wird durch die Gutachter als unrealistisch eingeschätzt. Nach bisherigen Einschätzungen kann – mit einhergehender Qualitätssicherung – der KfW70 bis KfW85 Standard erreicht werden. Erfolgt allerdings keine Qualitätssicherung, ist ein KfW100 Standard realistisch.

## Künftige Energieeinsparpotenziale

Auf der Basis des flächenbezogenen Endenergieverbrauchs und der zuvor angeführten Prognosen lassen sich potenzielle Energieeinsparungen im NAPE-Bericht ableiten.



**Abbildung 13** Verteilung des flächenbezogenen Endenergieverbrauchs heute und des Einsparpotenzials 2050; Quelle: BMWi: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand [10]

Sowohl die Ansätze für den heutigen Gebäudezustand als auch die Prognosen weisen Schwachstellen auf, so dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass die bezifferten Einsparungspotenziale bzw. deren Verteilung realistisch sind. Es kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass die sehr hoch angesetzten Endenergieeinsparungen der Wohngebäudeklasse von 1949-1978 bei einer umfassenden Sanierung voraussichtlich nicht so groß ausfallen werden. Allerdings ist deren Energiekennwert vor der Modernisierung, v. a. im Bereich von Mehrfamilienhäusern, auch unrealistisch hoch angesetzt. Relevant ist in diesem Zusammenhang vor allem der Umfang der Sanierungsarbeiten.

Wie in der BMWi-Studie richtig dargestellt wird, sind insbesondere die Investitionskosten von Sanierungsmaßnahmen sowie deren Finanzierung maßgeblich und tragen damit unmittelbar zum Gelingen oder Nichtgelingen der energie- und klimapolitischen Herausforderungen bei. An dieser Stelle Prognosen über den erforderlichen Investitionsbedarf zu unternehmen wäre unseriös, dazu gibt es zu viele Instabilitäten und Unsicherheiten.

Förderungen sowohl finanzieller als auch beratender Art sind dabei unerlässlich. Insbesondere die finanzielle Förderung macht es für zahlreiche Wohnungseigentümer erst möglich, eine notwendige Sanierung des Wohngebäudes anzugehen. Eine Überarbeitung und deutliche Steigerung der bestehenden Fördermöglichkeiten ist nach Ansicht der Gutachter dringend erforderlich.

## 5 Zielsetzung der Studie und Rahmen der Untersuchung

Ziele des BMUB-Projekts "Sanierungswirkung und Sanierungstest" sind:

- Sanierungsmaßnahmen an ausgewählten Feldobjekten hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz zu untersuchen und anhand von bestehenden Effizienzstandards zu bewerten,
- Potenziale aus der Diskrepanz zwischen tatsächlich erreichten und wirtschaftlich und technisch möglichen Energieeinsparungen aufzuzeigen und daraus Handlungsempfehlungen für zukünftige Qualitätssicherungs- bzw. Optimierungsmaßnahmen abzuleiten,
- Empfehlungen zur Steigerung des Energieeinsparpotenzials durch Sanierungsmaßnahmen im Wohngebäudebereich zu geben.

Zielsetzung über das BMUB-Projekt "Sanierungswirkung und Sanierungstest" hinaus ist die Ausnutzung zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch konsequente Qualitätssicherung in Planung und Ausführung von Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebereich. Diese Maßnahmen sollten wirtschaftlich und technisch mit bestmöglichen Standards ausgeführt werden.

- Auf Basis der eigenen Ergebnisse und der realistischen Kennwerte der Studie des Wuppertal-Instituts sowie Resultaten der Studien des IWU könnten ohne hohen Aufwand mit geringinvestiven Maßnahmen kurzfristig – durch Ausbalancierung ordnungsrechtlicher und marktwirtschaftlicher Maßnahmen – ca. 25 bis 30 kWh/(m<sup>2</sup> a) Endenergie im Bereich Raumwärme und Warmwasserbereitung durch Heizungsoptimierung mit Hydraulischem Abgleich zusätzlich eingespart werden.
- Langfristig (2050) kann eine Reduzierung des Mittelwertes für Endenergie (Raumwärme, Warmwasserbereitung) von prognostiziert 80 bis 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 50 bis 60 kWh/(m<sup>2</sup> a) erreicht werden.

Aktuelle Untersuchungen von Ecofys und Schulze-Darup zeigen, dass beste Qualitäten in den Bereichen Gebäudehülle und Anlagentechnik heute durchaus nicht teurer sind als schlechtere Qualitäten vor 20 bis 25 Jahren.



Ecofys und Schulze-Darup

Das weitaus höhere CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial liegt weiterhin im Umbau der deutschen Stromerzeugung. Die Geschwindigkeit, mit der die Minderung im Gebäudebereich erreicht wird, ist wesentlich abhängig von der mittelfristigen Umsetzung durch die Politik – im Stromerzeugungsbereich sind Entscheidungen kurzfristiger zu treffen. Ein langfristiges "100% - Erneuerbare Szenario" wird auf PV und Windkraft basieren. Die dazu erforderlichen Technologien sind in der Entwicklung – Ergebnis und Übergangsstrategien hierzu sind offen. Sie betreffen aber wesentlich auch den Gebäudebereich.

### Potenzialabschätzung und Messgrößen der Energieeinsparung

Als Werkzeug zur Abschätzung von Energieeinsparpotenzialen für konkrete Maßnahmen an einem Gebäude und der Anlagentechnik wird das seit mehr als 10 Jahren bewährte Verfahren der Energieanalyse aus dem Verbrauch eingesetzt.

Präsentationen der Ostfalia zwischen 2009 und 2014 fassen die wichtigsten bisherigen Ergebnisse aus Felduntersuchungen mit Auswertung durch EAV und die daraus gestellten Forderungen zusammen und finden sich auf der Homepage [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de).

Die Energieanalyse aus dem Verbrauch EAV mit unterjähriger Verbrauchserfassung eröffnet neue Wege zur Erfolgskontrolle von Energiesparmaßnahmen:

- am Gebäude und/oder
- am Wärmeerzeuger und/oder
- beim Ersatz eines Öl-/Gas-Kessels durch eine Elektrowärmepumpe
- und/oder bei Ergänzung eines Heizsystems durch solare Warmwasserbereitung.

In dem Feldtest zu diesem Projekt "Sanierungswirkung" wurde untersucht, wie groß die Diskrepanz zwischen dem technischen Potential einer Modernisierungsmaßnahme und der tatsächlichen Energieeinsparung ist und welche Faktoren für eine erfolgreiche Modernisierung entscheidend sind.

Die Akquise von Hauseigentümern für den Sanierungstest erfolgte in Federführung und hauptsächlich durch die co2online gemeinnützige GmbH. Im Rahmen des Akquiseprozesses wurden rund 60.000 Direktkontakte aktiviert. Über das Formular auf der Website:



Wirksam Sanieren

wurden 400 qualifizierte Bewerbungen für den Test eingereicht. Die Auswahl erfolgte aufgrund der Angaben und in detaillierten Telefonaten mit den potenziellen Kandidaten. Im Rahmen der Akquise wurden rund 150 geeignete Teilnehmer (größtenteils EFH) für den Test gewonnen. Rund 60 weitere Gebäude wurden von den Partnern akquiriert (größtenteils MFH durch Ostfalia und EFH mit Wärmepumpen durch ISE). Jeder Teilnehmer wurde aufgefordert ein Energiesparkonto (ESK) anzulegen und zu pflegen.

Wurde ursprünglich eine homogene Stichprobe mit Einzelmaßnahmen angestrebt, so zeigte sich in der Akquise, dass viele Nutzer Kombimaßnahmen durchgeführt oder komplexe Anlagen installiert haben.

In der Stichprobe "Dämmung" wurden Maßnahmen im Bereich des Daches, der Fassade, der Fenster und der Geschosdecke untersucht. In der Stichprobe "Heizkessel" wurden neben den klassischen "Kesselaustauschern" (mit und ohne hydraulischen Abgleich) auch Wärmepumpen (Fraunhofer ISE) untersucht.

Im Rahmen der Begehungen durch einen Fachkundigen (BAFA-Energieberater) wurden mit Hilfe eines Fragebogens alle relevanten Parameter für die Bewertung des Gebäudes und der Sanierungswirkung von durchgeführten Maßnahmen erfasst. Einige Daten wurden dabei bereits bei der ersten Ansprache erfragt oder liegen bei Freigabe der Nutzer aus dem Energiesparkonto vor. Der Erfassungsbogen für die Begehungen enthält folgende Themen:

- Gebäudeparameter, Wand- Dach- und Deckenaufbauten,
- Heizsystem und Warmwasser, Zusatzsysteme,
- durchgeführte und zu untersuchende Maßnahme(n),
- Bewohnerzahl,
- Energieverbrauch, letzte Abrechnungen, Energieausweis falls vorhanden,
- Besonderheiten.

Zudem wurden bis zu 20 Testhaushalte ausgewählt, in denen Wärmemengenzähler installiert wurden.

Im Zuge der Auswertungen der gesammelten Daten der Feldobjekte ergaben sich Schwierigkeiten bezüglich des Messdatenumfangs sowie der eindeutigen Zuordnung der Maßnahmen, so dass lediglich von einer sehr geringen Zahl der Nutzer des Energiesparkontos eine detaillierte Auswertung vorgenommen werden konnte. Da sich damit die Zahl der auswertbaren Feldobjekte allerdings stark reduzierte, wurden weitere Feldobjekte aus vorangegangenen Untersuchungen sowie parallelen Projekten zur detaillierten Auswertung herangezogen.

Ziel der Felduntersuchungen war es, Unwägbarkeiten und Unsicherheiten der reinen Bedarfsberechnung, aber auch der verbrauchsangepassten Bilanzierung, aufzuzeigen, die mitunter für das Nichterreichen der prognostizierten Klimaschutzziele verantwortlich sind.

Die messtechnische Erfassung und Auswertung von Verbräuchen vor und nach einer energetischen Modernisierung an Gebäudehülle und/oder Anlagentechnik erlaubt (teilweise) die tatsächliche Sanierungswirkung gegenüber der optimal abgeschätzten Einsparung zu quantifizieren. Folgende Punkte zur Ermittlung der Ursachen von Abweichungen sind in der Untersuchung zu berücksichtigen:

- Rechenmethode Einzelgebäude
- Planung mit/ohne Qualitätssicherung
- Ausführung mit/ohne Qualitätssicherung
- Betrieb / Regelung / Parametrierung
- Eigenschaften Produkte / Kessel und Wärmepumpen
- Messfehler
- Nutzerverhalten / Rebound-Effekte / unregelmäßige Wärmeeinträge durch das Verteilnetz / Regelbarkeit konventioneller (träger) Fußbodenheizungssysteme

Neben der Veranschaulichung der rechnerischen Bedarfs- gegenüber der tatsächlichen Verbrauchsreduzierung unterschiedlicher Maßnahmen lag ein weiterer Schwerpunkt auf der qualitätsgesicherten Planung und Ausführung von Einzelmaßnahmen oder von umfassenden Modernisierungen. Es konnte an Einzelbeispielen herausgearbeitet werden, dass optimal geplante, betreute und umgesetzte Maßnahmen effizienter und energiesparender im Vergleich zu "herkömmlichen Umsetzungen nach gängiger Praxis" ausfallen.

## 6 Erkenntnisse und Ergebnisse

Das Kernstück des Forschungsprojekts Sanierungswirkung liegt in der Auswertung ausgewählter Feldobjekte hinsichtlich der Qualität der jeweiligen Sanierungsmaßnahme. Neben der energetischen Betrachtung der sanierten Objekte ist auch die zur Anwendung kommende Auswertungsmethode relevant. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Auswertungsmethoden vorgestellt, die im Zuge des Projekts "Sanierungswirkung" zur Anwendung kommen. Danach werden die ausgewerteten Feldobjekte in Gänze als Übersicht dargestellt und besonders relevante Objekte noch einmal ausführlich beschrieben.

### 6.1 Auswertungsmethoden

Da der Messdatenbestand der Feldobjekte des ESK stark variiert, aber für jedes Objekt eine Auswertung erfolgen soll, wurden unterschiedliche Auswertungsvarianten umgesetzt, die sich in der Aussagekraft stark unterscheiden. Die Anwendung richtet sich dabei nach der vorliegenden Form der Verbrauchsdaten eines Objekts:

- Jahresverbrauch vorher / Jahresverbrauch nachher
- Jahresverbrauch vorher / EAV (Endenergie) nachher
- EAV vorher / EAV nachher (nur Endenergien)
- EAV vorher / EAV nachher (WMZ)

Für alle Feldobjekte des ESK wurde eine einfache Wirkungsanalyse durchgeführt. Diese kann allein aus den Jahresenergieverbräuchen vor und nach der Sanierungsmaßnahme erstellt werden.

Neben der einfachen Wirkungsanalyse kann eine Energieanalyse aus dem Verbrauch erstellt werden, sofern wenigstens Endenergieverbräuche vor und nach der Sanierung unterjährig aufgenommen wurden. Analysen verschiedener Einflüsse wie ein Nutzereffekt in der Übergangszeit oder eine Bewertung der Grundlast für eine evtl. Warmwasserbereitung sind mit dieser Bewertungsmethode möglich. Eine Energieanalyse aus den Endenergiewerten, die durch einfache Ablesung des Brennstoffzählers in regelmäßigen Abständen von etwa einem Monat ermittelt werden können, hat allerdings nur eine eingeschränkte Aussagekraft, da systembedingte Verlustanteile (Raumheizung, Trinkwarmwasser, Verluste der Anlagentechnik) bzw. ihre Einzeleffizienzkennwerte nicht ermittelbar sind.

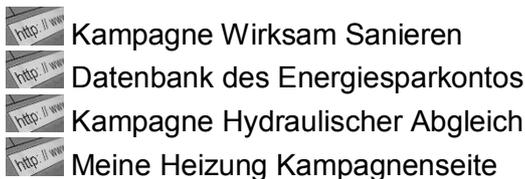
Die Aussagekraft zur Qualität der Sanierungsmaßnahme und damit zur Sanierungswirkung und zur Sanierungseffizienz kann nur durch den Einsatz von Wärmemengenzählern (nach dem Wärmeerzeuger sowie ggf. im Trinkwarmwasserzweig) gesteigert werden.

Für die Anlagen der Ostfalia, die noch näher beschrieben werden, sind Gebäudesteckbriefe erstellt worden, die den Umstand, dass Wärmemengenzähler notwendig sind, verdeutlichen sollen. In Objekten, bei denen Wärmemengenzählerwerte vorliegen, können der Nutzen für Trinkwarmwasser, der Nutzen für die Raumheizung und die Verluste deutlich unterschieden werden. Dies lässt sich bei den Anlagen aus dem ESK nicht realisieren.

Die unterschiedlichen Bewertungsmethoden werden nachfolgend detailliert vorgestellt und mit Beispielen veranschaulicht.

### 6.1.1 Einfache Wirkungsanalyse zur Sanierungseffizienz

Im Rahmen der Felduntersuchungen zur "Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen" ist das wesentliche Ziel, Einsparpotenziale und Defizite in der Qualitätssicherung von Planung und Ausführung abzuschätzen, um gezielt Schwerpunkte für zukünftige Anforderungen an Modernisierungsmaßnahmen zu setzen. Neben der reinen Literaturrecherche von Untersuchungen und Studien, die bereits teilweise Aufschluss über die zu erwartenden Ergebnisse liefern, kann bereits heute auf eine sehr gut aufgestellte Datenbank des Energiesparkontos von co2online zurückgegriffen werden.

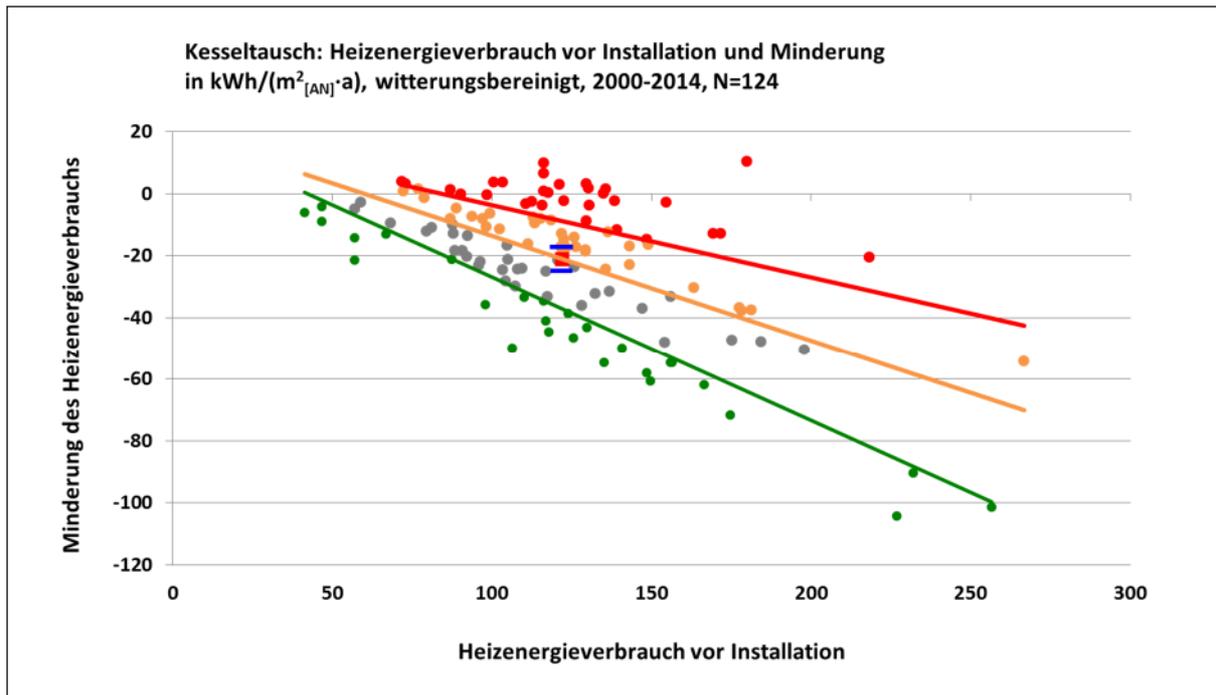


Hierin erfassen Nutzer dieses Dienstes bereits seit Jahren – teils sehr regelmäßig – ihre Verbräuche zu den wesentlichen Medien ihrer Immobilie. Durch eine gezielte Abfrage von differenzierten Maßnahmen und deren Ereignisdatum kann bei ausreichender Datenmenge an Energieverbräuchen eine genaue Analyse über die Wirksamkeit dieser Maßnahmen durchgeführt werden. Die gemeinnützige Gesellschaft co2online hat dazu die Datensätze solcher Nutzer herausgefiltert, die zum einen Maßnahmen an ihren Gebäuden durchgeführt haben, welche speziell im Fokus der angelegten Feldstudie stehen und andererseits über die notwendige Datenmenge verfügen, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen.

Jahresverbrauchswerte aus Heizkostenabrechnungen ergeben eine erste Gesamtbewertung von Gebäuden. Für die einfache Wirkungsanalyse werden diese Jahresverbräuche aus Abrechnungen bzw. aus Zählerständen für einen Zeitraum von mindestens 36 Monaten / 3 Jahren um die zu untersuchende Sanierungsmaßnahme benötigt. Der Jahresverbrauch für das Jahr in dem die Sanierung stattfand, bleibt dabei unberücksichtigt. Die Abgrenzung der Maßnahmen muss dabei einen Minimalabstand von 2 Jahren betragen, um dieses Verfahren anzuwenden. Werden Maßnahmen in aufeinanderfolgenden Jahren durchgeführt, gelten diese als Maßnahmenkombinationen.

D.h. im Umkehrschluss, dass die mithilfe der einfachen Wirkungsanalyse berechnete Sanierungswirkung auch nur für die Maßnahmenkombination gilt. Eine Ableitung auf die Wirkung der Einzelmaßnahmen ist nicht möglich. Die Einsparung ergibt sich aus der Differenz der Verbräuche vor und nach Modernisierung. Diese Differenz wird gegen den Heizenergieverbrauch vor der Sanierung aufgetragen. In der Summe aller Maßnahmen ergibt sich eine Vergleichbarkeit einzelner Objekte, allerdings ohne Aussagekraft, ob das jeweilig einzelne Objekt effizient bzw. wirksam saniert wurde, oder ob noch ein nicht ausgeschöpftes Energieeinsparpotenzial vorliegt. In nachfolgender Abbildung 14 ist eine solche Vergleichsgrafik dargestellt

In Anlehnung an ein Ampelsystem erfolgt hier die Farbgebung der Einzelobjekte nach erzielter Heizenergieeinsparung gegenüber dem vorherigen Verbrauch, wobei in Rot diejenigen Objekte dargestellt werden, die nur eine sehr geringe Einsparung oder evtl. sogar einen Mehrverbrauch nach der Sanierung aufweisen. Dabei erfolgt die Qualitätsbewertung allein vergleichend mit den übrigen Objektwerten, allerdings nicht mit Effizienzstandards. Die Qualitätsgrenzen sind dabei rein quantitativ gesetzt.



**Abbildung 14** Veränderung des Heizenergieverbrauchs nach Kesseltausch vor und nach Installation [Quelle: co2online]

### 6.1.2 Berechnungsverfahren der EAV-Methode

Eine relativ aussagekräftigere Bewertungsmethode liegt mit dem EAV-Verfahren vor. Dabei wird die Energieanalyse aus dem Verbrauch mit Hilfe von Excel bzw. eines Tabellenkalkulationsprogramms durchgeführt.

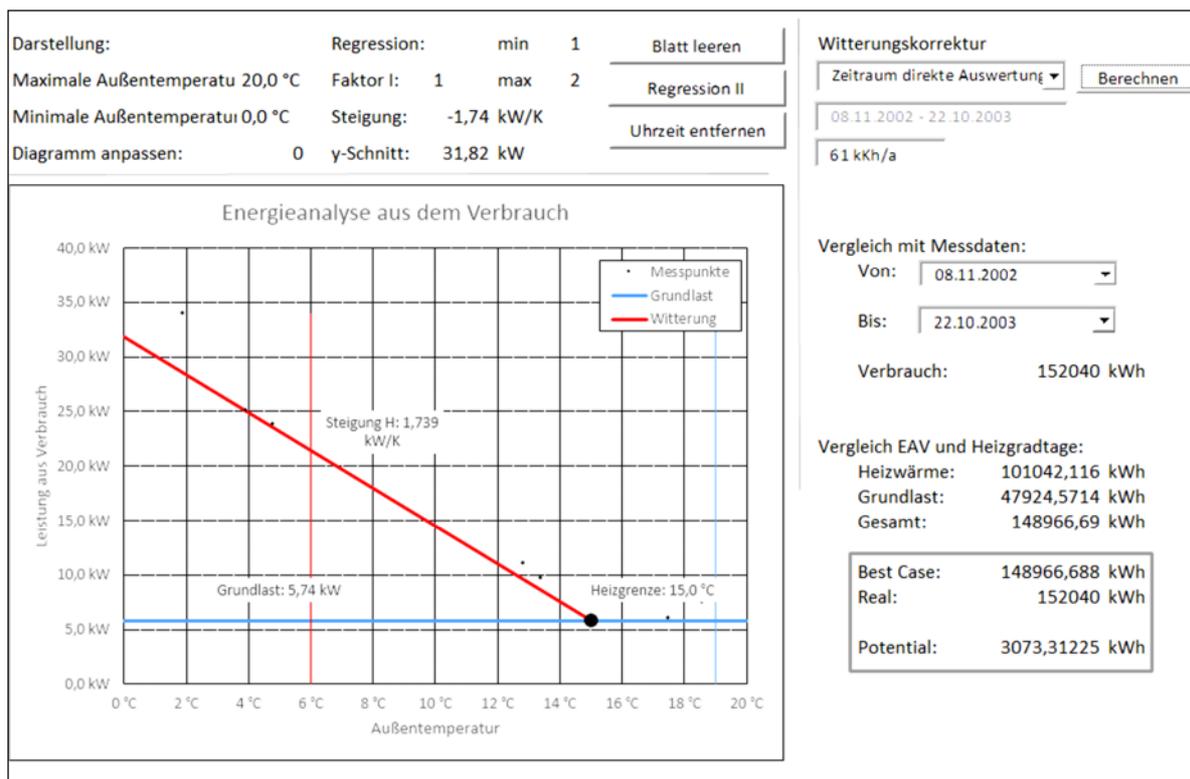
Das EAV-Tool umfasst eine Tabelle mit Messwerten samt zugehörigem Zeitstempel, aus dem automatisch eine Grafik erstellt wird. Diese zeigt den außentemperaturabhängigen End- bzw. Nutzenergiebedarf für das Gebäudeobjekt. Typischerweise werden die EAV's für die Situation vor einer Sanierungsmaßnahme und nach dieser getrennt voneinander erstellt.

**Energieanalyse aus dem Verbrauch**

Messstation:  Wetterdaten Regression  
 PLZ:  Hilfe  Drucken  
 Winterpunkte: 6,0 °C Heizgrenze vorgeben Heizgrenze berechnen  
 Sommerpunkte 19,0 °C Heizgrenze (Vorgabe: 15,0 °C Heizgrenze (Berechnung 18,1 °C)

Datum	Wärmemenge	Mittlere Außentemperatur	Dauer	Wärmemenge	Wärmeleistung
[DD.MM.JJJJ]	[kWh]	[°C]	[d]	[kWh]	[kW]
08.11.2002	678960,00	1,9	37	30110,00	33,91
15.12.2002	709070,00	-1,7	31	25200,00	33,87
15.01.2003	734270,00	-0,2	42	30294,00	30,05
26.02.2003	764564,00	3,9	16	9602,00	25,01
14.03.2003	774166,00	4,8	31	17687,00	23,77
14.04.2003	791853,00	13,4	35	8147,00	9,70
19.05.2003	800000,00	18,6	28	5000,00	7,44
16.06.2003	805000,00	17,5	28	4000,00	5,95
14.07.2003	809000,00	22,5	35	4820,00	5,74
18.08.2003	813820,00	12,9	65	17180,00	11,01
22.10.2003	831000,00				

**Abbildung 15** Oberfläche des EAV-Tools, linke Seite [eigene Grafik]



**Abbildung 16 Oberfläche des EAV-Tools, rechte Seite [eigene Grafik]**

Es sind pro Messpunkt in der Erfassungstabelle (linke Seite) das jeweilige Datum sowie der entsprechende Wärmemengen- bzw. Gaszählerstand in der Einheit kWh anzugeben. Darüber hinaus ist der Standort des zu betrachtenden Objekts bzw. der nächstgelegenen Wetterstation aus den Vorgaben auszuwählen. Dies gewährleistet eine standortbezogene Auswertung der Messwerte.

Über den Standort und das jeweilige Datum der Messungen wird automatisch die entsprechende Außenlufttemperatur ermittelt, welche maßgeblich für die Auswertung ist. Das Programm ermöglicht dabei auch die gezielte Auswertung von Messwerten in bestimmten Temperaturbereichen.

Für die jeweiligen Messintervalle, also den Differenzen aus zwei aufeinanderfolgend aufgeführten Messereignissen wird die mittlere Außentemperatur vom Programm berechnet, sowie die jeweils mittlere Leistung. Diese wird für jeden Messpunkt über der mittleren Außentemperatur in der dazugehörigen Grafik (rechte Seite) aufgetragen. Durch die Messpunkte, die einem alleinigen Heizwärmeverbrauch zugeordnet werden können, wird (automatisch) eine Regressionsgerade gelegt. Des Weiteren wird eine Regressionsgerade für die Grundlast durch die Sommermesspunkte gelegt, welche die Leistung der Warmwasserbereitung impliziert.

Der Schnittpunkt der Heizgeraden und der Grundlast kann als individuelle Heizgrenztemperatur identifiziert werden. Je nach individuellem Heizverhalten der Gebäudenutzer liegt diese typischerweise zwischen 14 und 19 °C (weitere Extreme sind möglich). Der Leistungswert sowie die Heizgrenztemperatur legen im Umkehrschluss die Steigung H der Regressionsgeraden fest, welcher als Kennwert zur qualitativen Bewertung eines Wohngebäudes bzw. des Gesamtsystems herangezogen werden kann. Wird die Heizgrenztemperatur, beispielsweise durch Änderung des Heizverhaltens, verändert, ändert sich auch der Kennwert. Die Steigung H multipliziert mit der Auslegungstemperaturdifferenz zwischen 20 °C und z.B. -14 °C als z.B. 34 K ergibt die notwendige Gebäudeheizlast als Basis für die Leistungsdimensionierung der Wärmeerzeuger oder eines Fernwärmeanschlusses. Dieses Verfahren wurde bereits unter Mitarbeit der Ostfalia in der DIN EN 12831 – Beiblatt 2, in der DIN V 18599 – Beiblatt 1 und in VDI 3805 – Blatt 5 genormt.

Eine individuell sehr unterschiedliche Heizgrenze erweist sich bei einer vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Wohngebäude als problematisch, da somit der Kennwert  $H$  stets variiert. Im Zuge der Auswertung wird daher eine feste (und damit nicht mehr reale) Heizgrenztemperatur von  $15^{\circ}\text{C}$  für alle betrachteten Objekte festgelegt. Diese entspricht nicht der jeweils realen und damit gebäudeindividuellen Heizgrenztemperatur, entspricht jedoch dem in Normen und Verordnungen festgelegten aktuellen Stand der Technik.

Um einen evtl. Energiemehrverbrauch durch Verschwendung in der Übergangszeit (Lüftungsverluste u. ä.) zu quantifizieren, werden zur Erzeugung der Regressionsgeraden und damit zur Erzeugung einer witterungsabhängige Leistung / Steigung  $H$  ausschließlich "Winterpunkte", also Messpunkte unterhalb einer Außentemperatur von  $6^{\circ}\text{C}$  zusätzlich ausgewertet. Hier kann davon ausgegangen werden, dass ein verschwenderisches Lüftungsverhalten ausgeschlossen werden kann.

Dazu erfolgt eine lineare Regression mit dem Fußpunkt  $15^{\circ}\text{C}$  auf der Grundlastlinie (Minimalwertfunktion). Die außentemperaturunabhängige Grundlast zur Bereitstellung von Warmwasser wird dementsprechend aus reinen "Sommerpunkten" ermittelt, also aus denjenigen Messwerten, welche mit einer Außentemperatur größer  $19^{\circ}\text{C}$  oder bei ungewünschter Sommerheizung sogar höher einhergehen. Erfahrungsgemäß liegen in diesem Außentemperaturbereich nur wenige Messwerte vor, diese variieren allerdings kaum.

Als Ergebnis der EAV ergibt sich die Steigung  $H$  der Regressionsgeraden, die allein von der Leistung durch den Verbrauch abhängig ist. Diese wird multipliziert mit den Heizgradtagen bei  $15^{\circ}\text{C}$  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.

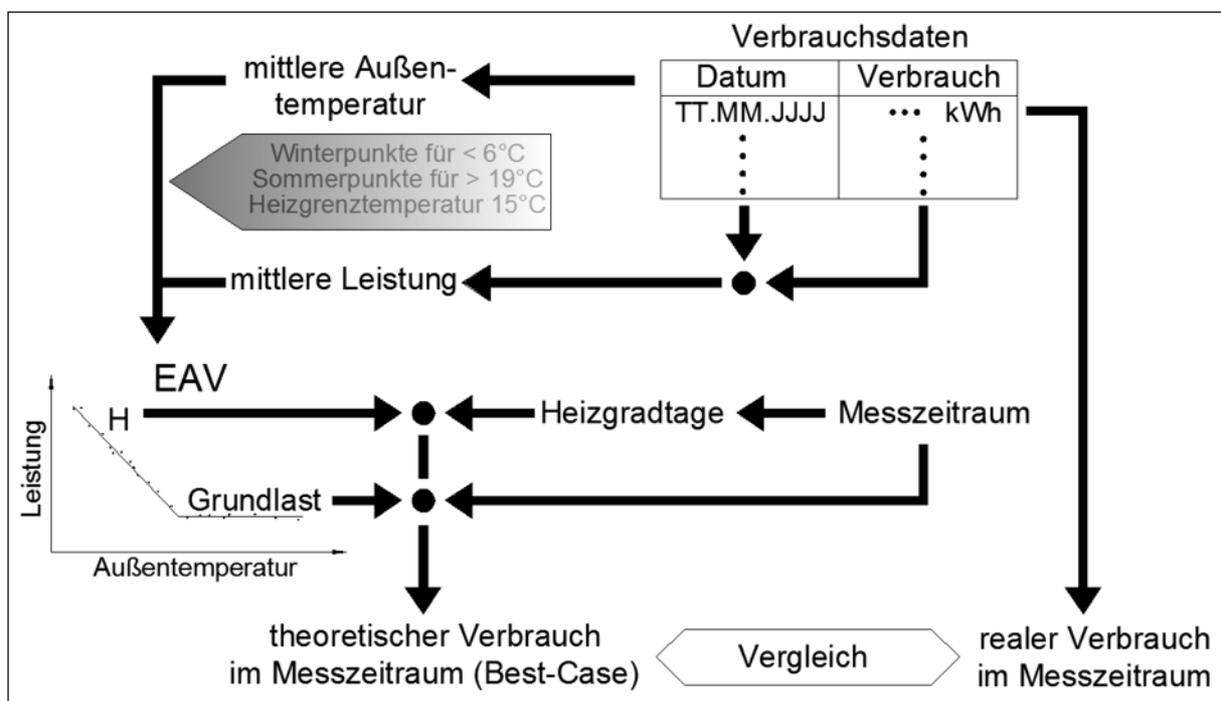


Abbildung 17 Prinzipielles Vorgehen zur Verbrauchsauswertung auf Basis der EAV [eigene Grafik]

## **Theoretischer Wärmeverbrauch**

Das Ergebnis der EAV bei einer festen Heizgrenztemperatur von 15°C mit einer Auswertung ausschließlich der "Winterpunkte" ist ein theoretisches Ergebnis und spiegelt nicht den realen Verbrauch mit einer individuellen Heizgrenztemperatur, die meist über 15°C liegt, wider. Durch den theoretischen Wärmeverbrauch liefert die Summe beider Anteile für Raumwärme und Trinkwarmwasser incl. Verluste einen theoretischen Wärmeverbrauch und damit ein "Best-Case-Szenario" des jeweiligen Gebäudes. Der "Beste Fall" ergibt sich dadurch, dass evtl. nutzerbedingte überhöhte Lüftungswärmeverluste ausgeschlossen werden können und damit von vornherein Verschwendungspotenziale gemindert werden.

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 also die Heizgradtage des Messzeitraums genutzt, für den Wärmeverbrauchsdaten vorliegen. Ein weiteres Ergebnis der EAV ist die Grundlast in kW.

Allein der theoretische Wärmeverbrauch hat wenig Aussagekraft und kann lediglich vergleichend zur Bewertung des tatsächlichen Wärmeverbrauchs herangezogen werden. Ein direkter Vergleich zwischen dem theoretischen Verbrauch als Best Case und dem realen Verbrauch ist allerdings nicht möglich. Neben der Heizgrenze gibt es zu viele unbekannte Variablen, wie die solaren und inneren Gewinne, die nicht in die Auswertung einfließen können. Vermeintliche Einsparpotenziale können also folglich nicht allein auf das jeweilige Nutzerverhalten bezogen werden. Zudem ist die EAV fehlerbehaftet (Bildung einer Ausgleichs-, bzw. Regressionsgeraden aus teilweise schwankenden Messwerten). Zum aktuellen Zeitpunkt bestehen diese vorgenannten Probleme hinsichtlich der Aussagekraft der (theoretischen) Berechnungen mit der EAV. Diese werden sukzessive im Zuge der weiteren Untersuchungen und der Programmanpassung eingearbeitet.

## **Maßnahmeneinschätzung**

Die Steigung H und die Grundlast werden idealerweise sowohl vor als auch nach der Maßnahme bestimmt. Die EAV bedarf prinzipbedingt keiner Witterungskorrektur. Sowohl die Steigung H als auch die Grundlast können verglichen werden und liefern erste Anhaltswerte für das Einsparpotential. Zudem kann für eine erhöhte Anschaulichkeit aus der Steigung und der Grundlast ein Jahresverbrauch berechnet werden. Dazu werden die Steigung mit dem langjährigen Mittel der Heizgradtage des jeweiligen Standorts und die Grundlast mit 8760 h/a multipliziert.

Diese Berechnung erfolgt einmal für die Werte vor und einmal nach der Maßnahme. Der Vergleich beider Werte gibt 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.

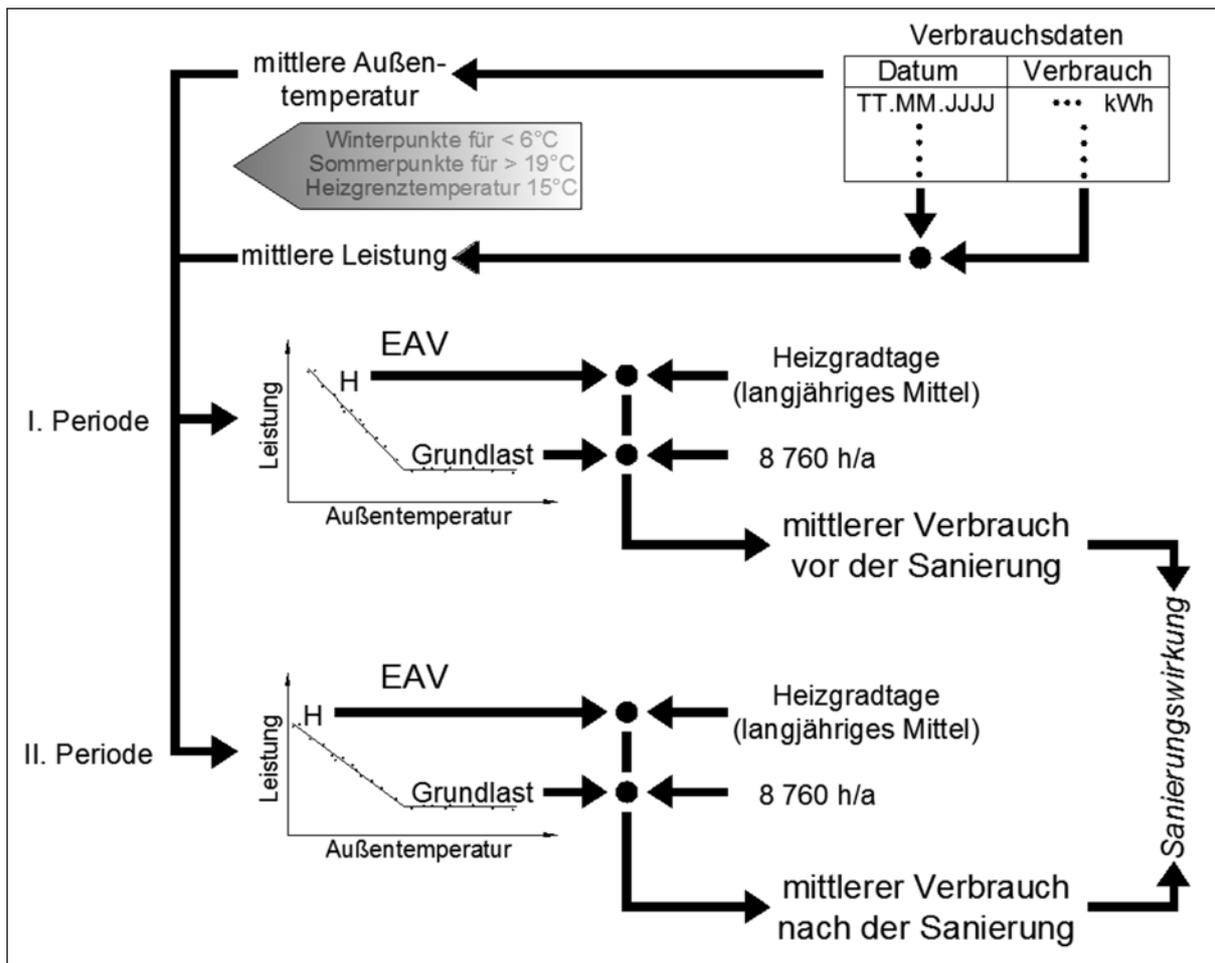


Abbildung 18 Ermittlung der Sanierungswirkung aus dem Verbrauchsmengenvergleich mit Hilfe der EAV [eigene Grafik]

### 6.1.3 H-Werte als wesentlicher Kennwert zur Bewertung

Die Steigung H der Auswertung der mittleren zugeführten Endenergieleistung aus z.B. Gaszählerablesungen wird im Kontext der EAV als entscheidender Kennwert identifiziert. In diesem sind sowohl die Bereitschaftsverluste des Kessels als auch der Kesselwirkungsgrad integriert. Allein anhand des Steigungskennwerts lassen sich nur qualitative Aussagen und Abschätzungen machen. Für quantitative Bewertungen sind Auswertungen von Wärmemengenzählern am Ausgang eines Wärmeerzeugers notwendig.

Dabei ist dieser Kennwert nicht ausschließlich nur aus der EAV ermittelbar, sondern lässt sich noch auf anderen Wegen ermitteln, sofern umfassende Daten zu einem Gebäude vorliegen. Nachfolgend werden vier Varianten zur Ermittlung des H-Werts anhand eines Beispielgebäudes – einem Mehrfamilienhaus in Hannover – vorgestellt.

## **H<sub>1</sub> (Theoretischer Bedarfswert) aus U<sub>m</sub>-Wert nach EnEV (H<sub>T</sub>) und angenommenem Luftwechsel**

Mit den aufgenommenen Gebäudedaten und den entsprechenden U-Werten nach der EnEV ergibt sich der H-Wert H<sub>1</sub> nach der Formel:

$$H_1 = H_T + H_V = \frac{(U_m \cdot A_{Hüll} + n \cdot V_L \cdot 0,34) \text{ kW}}{1\,000 \text{ K}}$$

Dabei gilt:

H<sub>T</sub>: Temperaturspezifischer Transmissionswärmeverlust in W/K

H<sub>V</sub>: Temperaturspezifischer Lüftungswärmeverlust in W/K

U<sub>m</sub>: mittlerer U-Wert der Gebäudehülle in W/m<sup>2</sup>K, hier aus Tabelle 2 des Berichts Kronsberg [48]

A<sub>Hüll</sub>: Äußere Hüllfläche des beheizten Bereichs m<sup>2</sup>

n: Luftwechselrate in h<sup>-1</sup>, bei n=0,5h<sup>-1</sup> ergibt sich H<sub>1\_0,5</sub>, und bei n=0,4 H<sub>1\_0,4</sub>

V<sub>L</sub>: Belüftetes Nettovolumen der beheizten Hülle in m<sup>3</sup>

Weil die Neubauplankennwerte zu diesem Gebäude nicht vorliegen, wird kein H<sub>1</sub>-Wert dafür ermittelt.

## **H<sub>2</sub> aus G<sub>15</sub> und Q<sub>H</sub> für einen definierten Zeitraum**

Für den gewählten Zeitraum vom 27.02 2004 bis 14.03 2005 (entspricht der Messperiode nach der Optimierung) wird der Heizwärmeverbrauch ermittelt. Dabei soll die Dauer der Messwertaufnahmen des Heizwärmeverbrauchs (hinter dem Heizkessel oder der Übergabestation) mindestens neun Monate betragen. Aus diesem und den Heizgradtagen in der gleichen Messperiode bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C kann H<sub>2</sub> ermittelt werden:

$$H_2 = \frac{Q_H}{G_{15} \cdot 1\,000} \frac{\text{kWh}}{\text{K}}$$

Dabei gilt:

Q<sub>H</sub>: Heizwärmeverbrauch (gelesen aus dem WMZ-Hzg.) im Messzeitraum in kWh

G<sub>15</sub>: Heizgradtage in kWh/a bei Heizgrenze von 15°C im Messzeitraum, nach dem EAV-Programm mit einem Wert von 54,3kWh/a

## **H<sub>3</sub> aus Messdaten in der Kernheizzeit**

Darüber hinaus wird der H-Wert aus den Messdaten der reinen Kernheizzeit ermittelt. Diese umfasst alle Messwerte, für die die zugehörige Außenlufttemperatur kleiner als 6°C ist. In diesem Beispiel handelt es sich um die Daten vom 27.02.2004 bis zum 20.04.2004 und vom 04.11.2004 bis zum 14.03.2005)

$$H_3 = \frac{\dot{Q}_{H,kern}}{(15 - t_{a.m,kern})} \frac{\text{kWh}}{\text{K}}$$

Dabei gilt:

$\dot{Q}_{H,kern}$ : mittlere Heizleistung in der Kernheizzeit in kW, hier mit den monatlichen Messdaten berechnet  
 $t_{a,m,kern}$ : mittlere Außentemperatur in der Kernheizzeit: 4,7 in °C.

## H<sub>4</sub> aus dem EAV-Tool

Durch Eingabe des monatlichen Heizwärmeverbrauchs in das EAV-Tool ergeben sich witterungsabhängige Leistungen und Steigungen anhand der Winterpunkte (Außentemperatur <6°C). Dazu erfolgt eine lineare Regression mit einem Fußpunkt von 15°C (Heizgrenze) auf der Grundlastlinie. Die Steigung wird mit den Heizgradtagen in Hannover innerhalb des entsprechenden Betrachtungszeitraumes (hier vom 27.02 2004 bis zum 14.03 2005) multipliziert, um einen zugehörigen Heizwärmeverbrauch in der Kernheizzeit zu ermitteln.

## Ergebnisse im Vergleich

In der Tabelle werden die ermittelten H-Werten zusammengefasst.

**Tabelle 1 Zusammenstellung H-Werte**

	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	Mittlere TWW-Leistung
65MFH (Optimus)	2,293 kW/K	2,464 kW/K	2,265 kW/K	5,99 kW

Für den ungünstigsten Fall der größten Differenz zwischen den H-Werten H<sub>3</sub> und H<sub>4</sub> tritt nur eine geringe Abweichung kleiner als 9% auf. Damit zeigt sich in diesem Beispiel, dass der H-Wert auch ohne das EAV-Tool (H<sub>2</sub>) manuell und ohne Regression berechnet werden kann und zur Abschätzung der jeweiligen energetischen Gebäudequalität herangezogen werden kann. Für eine genauere Untersuchung ist wahrscheinlich das EAV-Tool erforderlich. Diese Zusammenhänge werden weiter von der Ostfalia untersucht.

### 6.1.4 Genauigkeitsbetrachtung der EAV bei alleiniger Auswertung der Endenergie

Mithilfe der EAV (Energieanalyse aus dem Verbrauch von Input- und Output-Energien) kann eine Bilanz der Verbrauchswerte erstellt werden. Eine Unterscheidung der EAV kann hierbei in Gebäude-/Nutzer und Kessel-EAV erfolgen: "Fingerabdruck des Gebäudes und der Nutzung" und "Fingerabdruck des Kessels". Bei der Betrachtung der einzelnen Objekte dieses Projekts ist das Problem aufgetreten, dass in vielen Haushalten kein WMZ (Wärmemengenzähler) vorhanden ist. Obwohl kein WMZ installiert ist, wünschen die Nutzer eine möglichst genaue Aussage zum Einsparerfolg. Eine genaue Aussage ist aber nur mit Hilfe von WMZ möglich, wie die folgende Rechnung zeigt.

Während der Fingerabdruck des Kessels mittels Monats- und Jahreswerten aus den Werten der Gaszähler (Input) und der abgegebenen Nutzwärmeenergien (Output) mit Wärmemengenzählern ermittelt werden kann, müssen für den Fingerabdruck des Gebäudes Werte aus dem WMZ vorliegen.

Ein WMZ ist in vielen Gebäuden noch nicht vorhanden, obwohl dadurch eine genauere Aussage zur energetischen Qualität gegeben werden kann. Im bestmöglichen Fall ist jeweils ein WMZ für die Trinkwarmwasserbereitung und die Raumheizung vorhanden. Ohne WMZ können keine Aussagen über die Qualität des Kessels (z.B. Kesselwirkungsgrad, Bereitschaftsverluste, Auslastung, Nutzungsgrad) getroffen werden.

Bei den vorliegenden Daten von co2online (mehr als hundert angeschriebene Hauseigentümer) ist festzustellen, dass nur wenige Gebäude einen eingebauten WMZ besitzen.

In diesem Fall wäre es positiv für die Auswertung, dass die Eigentümer die Daten des Gaszählers drei Jahre vor und auch drei Jahre nach der erfolgten energetischen Maßnahme angeben. Die Daten sollten unterjährig vorhanden sein, da Jahreswerte alleine in der EAV nicht ausreichend Aussagegehalt bieten.

Eine zentrale Frage in diesem Zusammenhang stellt die Genauigkeit der Abschätzungen dar, wenn WMZ-Daten fehlen.

Für den Nutzungsgrad, die Bereitschaftsverluste und die Auslastung des Kessels werden ohne Vorhandensein von WMZ folgende Werte und Mindestbandbreiten für eine Beispielfehlerrechnung festgelegt (In der gemessenen Praxis traten sogar Bandbreiten von über +/- 10% für den Wirkungsgrad auf:

- $\eta_K = 0,90 \pm 0,05$
- $q_B = 0,01 \pm 0,005$
- bzw.  $\beta = 0,15 \pm 0,05$  (MFH) oder  $\beta = 0,10 \pm 0,05$  (EFH)

Auf Grundlage nachfolgender Formeln kann eine lineare Fehlerabschätzung erfolgen.

$$Q_E = \frac{H \cdot G_{15}}{\eta_a}$$

$$\eta_a = \frac{\eta_K}{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1}$$

Die Fehlerfortpflanzung ergibt sich zu:

$$\Delta H = \left| \frac{\partial H}{\partial \eta_K} \right| \cdot \Delta \eta_K + \left| \frac{\partial H}{\partial q_B} \right| \cdot \Delta q_B + \left| \frac{\partial H}{\partial \beta} \right| \cdot \Delta \beta$$

Der genaue Berechnungsweg wird in Anhang A3 dargestellt. Letztendlich führt die Überlegung zu:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta \eta_K}{\eta_K} + \frac{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{\left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta q_B + \frac{q_B}{\beta^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta \beta$$

In diese Formel werden die oben aufgezählten Werte eingesetzt. Daraus kann eine Abschätzung des relativen Fehlers bezogen auf H bei der EAV erfolgen. Das H ist Teil der Berechnung der Endenergie. Alle zur Anwendung kommenden Formeln sind im Anhang A3 detailliert aufgeführt.

Es zeigt sich, dass der Fehler der Größe H um zehn Prozent schwankt. Unter der Berücksichtigung, dass die realen Abweichungen teilweise über den angegebenen Werten liegen, ist eine deutlich höhere Fehlerausprägung möglich.

Für die Ergebnisse mit  $\beta = 0,15$  für MFH ergibt sich eine Übersicht in

Tabelle 2.

**Tabelle 2** relativer Fehler mit  $\Delta\beta$

$\eta_k$	$\Delta\eta_k$	$q_B$	$\Delta q_B$	$\beta$	$\Delta\beta$	relativer Fehler
0,9	0,05	0,01	0,005	0,1	0,05	14,27%
0,9	0,05	0,01	0,005	0,15	0,05	10,34%

Als weitere Variante ist zu betrachten, wie sich der relative Fehler verändert, wenn die Auslastung als konstant angenommen wird. Das Ergebnis zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3** relativer Fehler mit festem  $\beta$

$\eta_k$	$\Delta\eta_k$	$q_B$	$\Delta q_B$	$\beta$	$\Delta\beta$	relativer Fehler
0,9	0,05	0,01	0,005	0,1	0	9,68%
0,9	0,05	0,01	0,005	0,15	0	8,24%

Mit der Annahme, dass die Auslastung immer den gleichen Wert hat, wird der relative Fehler kleiner. Allerdings liegt der Fehler weiterhin nur knapp unter zehn Prozent. Bei der Behandlung der Auslastung des Kessels als Wert, der durchaus variieren kann, zeigt sich deutlich, dass der relative Fehler sogar über zehn Prozent hinausgeht.

Dieses Ergebnis ist nicht wünschenswert. Eine Abschätzung kann lediglich als solche betrachtet werden. Wie die Berechnungen zeigen, ist es unerlässlich, dass Werte von Gaszählern **und** WMZ vorliegen, um ein plausibles Ergebnis zu erhalten.

### 6.1.5 Relevanz von Wärmemengenzählern bei der Verbrauchserfassung

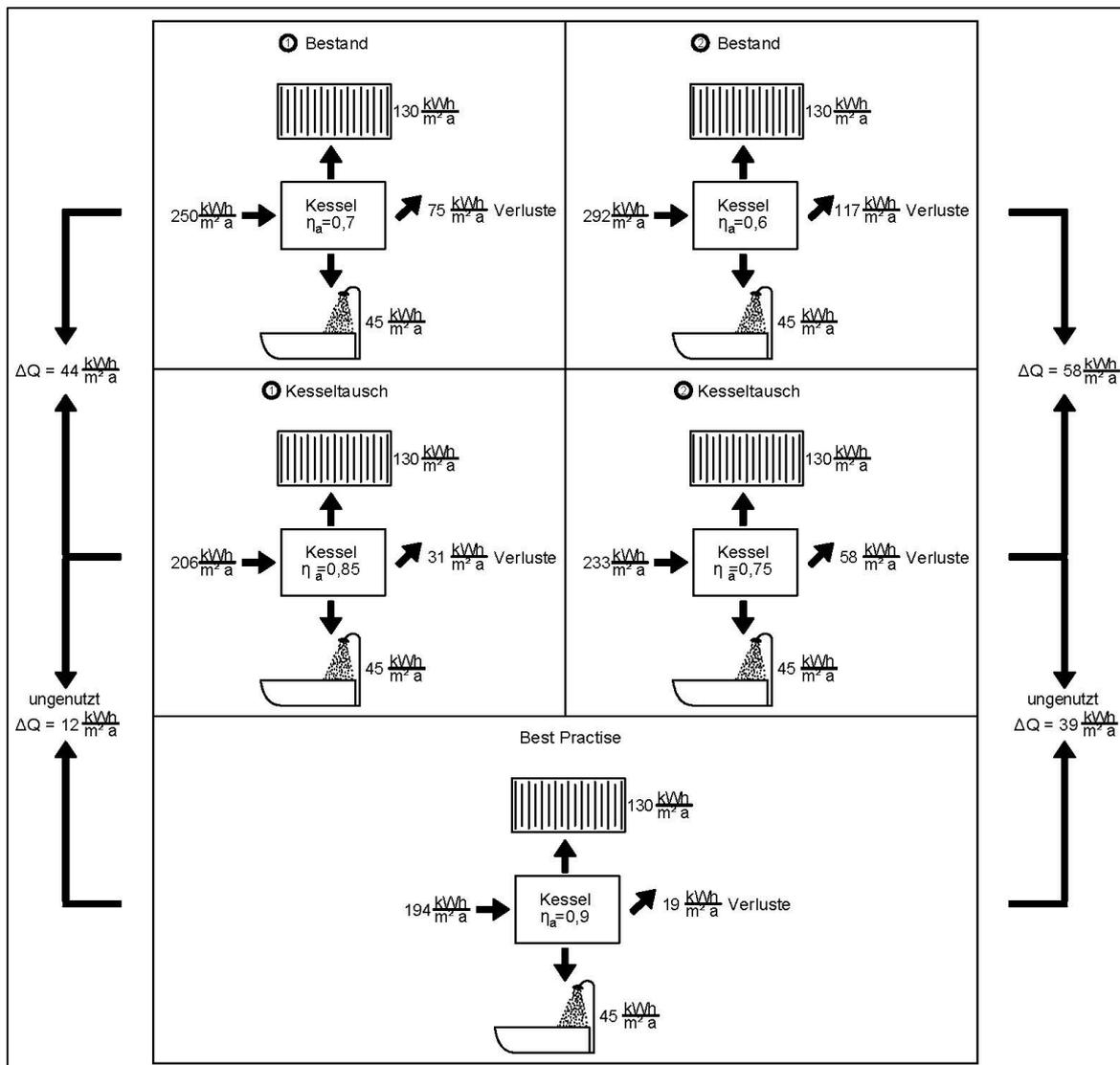
In vorangegangenen Abschnitten wurde an mehreren Stellen beschrieben, dass allein durch installierte Wärmemengenzähler im Heiz- und Trinkwarmwasserkreis eine Aufteilung der Endenergie als Input nachvollziehbar erfolgen kann. Hier kann die Unterscheidung zwischen Heizwärmeverbrauch, Warmwasserverbrauch und Erzeugerverluste anhand aufgezeichneter Werte und damit ohne den Umweg der möglichst plausiblen Annahmewerte erfolgen.

Messwerte für die einzelnen Energieanteile erlauben dann Aussagen nicht nur zur Sanierungswirkung, sondern auch zur Sanierungseffizienz. In der Grafik werden zwei 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%, im Beispiel 2 (rechte Spalte) beträgt dieser nur 60%. Die Nutzwärmeabnahme bleibt über alle betrachteten Fälle konstant: der Heizwärmeverbrauch liegt bei 130 kWh/(m<sup>2</sup> a), der Wärmeverbrauch zur Trinkwarmwasserbereitung liegt bei 45 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der jeweilige Unterschied liegt im Input, also im Brennstoffverbrauch sowie folglich auch auf der Output-Seite in den Verlusten.

Der Endenergieverbrauch im Anlagenbeispiel 1 liegt für den Bestandskessel bei 250 kWh/(m<sup>2</sup> a), die Verluste ergeben sich zu 75 kWh/(m<sup>2</sup> a). Nach der Kesselerneuerung liegt der Endenergieverbrauch bei 206 kWh/(m<sup>2</sup> a), die Verluste damit nur bei 31 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der Nutzungsgrad des neuen Kessels ergibt sich zu 85%.

Anlage 2 dagegen weist bei einem Bestandskessel mit  $\eta_a=60\%$  einen Endenergieverbrauch von 292 kWh/(m<sup>2</sup> a) auf, also deutlich höher als im Anlagenbeispiel 1. Hier betragen die Verluste 117 kWh/(m<sup>2</sup> a), nach der Kesselerneuerung belaufen sich diese "nur" noch auf 56 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der neue Kessel weist im zweiten Beispiel einen Nutzungsgrad von 75 % auf, so dass der Endenergieverbrauch bei 233 kWh/(m<sup>2</sup> a) liegt.



**Abbildung 19 Sanierungseffizienz vs. Sanierungswirkung [eigene Grafik]**

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 % aufweisen, ist es für die Bewertung der Sanierungseffizienz entscheidender, welche Anlage effizienter und damit näher am Optimum liegt. Hier weist die Anlage 1 noch ungenutzte Einsparpotenziale in Höhe von 12  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  auf, die Anlage 2 jedoch 39  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Da Anlage 1 einen besseren Endzustand – trotz geringerer Endenergieeinsparungen gegenüber dem Bestand – erreicht, kann hier eine bessere Sanierungseffizienz erkannt werden.

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

## 6.2 Durchführung der Auswertungen

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an das Vorhandensein unterjähriger Verbrauchswerte über einen längeren Zeitraum schränkt sich die Möglichkeit der aussagekräftigen Auswertung mit der Energieanalyse aus dem Verbrauch für die akquirierten Feldobjekte der co2online-Datenbank sehr stark ein.

Nach gewissenhafter Betrachtung aller vorliegenden Feldobjekte konnten lediglich rund 20 Objekte für eine umfassende EAV-Auswertung ausgewählt werden.

Für die Auswertung ergeben sich nachfolgende Kriterien, die erfüllt werden müssen:  
Die Auswertungsfähigkeit wurde anhand folgender Punkte bewertet:

- Vorhandensein von unterjährigen Verbrauchswerten (Heizenergie bzw. Endenergie) sowohl vor als auch nach einer Sanierungsmaßnahme in ausreichendem Umfang, mindestens aber für etwa 1 Jahr.
- Eine zeitliche Trennung unterschiedlicher Maßnahmen von mindestens 2 Jahren, wenn an einem Gebäude eine Vielzahl an Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurde: dies ist erforderlich um eine Sanierungsmaßnahme für sich hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Energieverbrauch des Gebäudes zu bewerten. Vermischte Maßnahmen lassen keine Aussagen zur jeweiligen energetischen Wirkung zu.
- Das Vorhandensein eines zusätzlicher Wärmeerzeuger wie beispielsweise einem Kamin (sofern kein Wärmemengenzähler für den Heizkreis vorhanden ist) wirkt sich hingegen negativ auf die Auswertungsmöglichkeit aus. Insbesondere in der Winterzeit übernimmt dieser einen wesentlichen Anteil an der Erzeugung der erforderlichen Raumbeheizung.
- Ebenso negativ wirkt sich das Vorhandensein einer Solarthermieanlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung sowie ggf. der Raumwärmeerzeugung auf die Auswertungsmöglichkeiten aus, sofern keine separaten Wärmemengenzähler für den Heizkreis und den Warmwasserkreis vorhanden sind. Objekte mit Solaranlagen werden damit von der Auswertung zunächst ausgeschlossen.

Da die Anzahl der auswertbaren Feldobjekte aus der co2online-Datenbank (in Bericht von co2-online dokumentiert – in Auswertematrix unten mit entsprechenden Leerstellen der lfd. Nr.) geringer als zuvor erwartet war, wurden weitere ausgewählte Feldobjekte aus vorangegangenen Untersuchungen der Ostfalia zur Auswertung hinzugezogen.

Dabei kommen ausgewählte Feldobjekte aus der OPTIMUS-Studie [51], der Solarkessel-Studie [54], sowie aus der Brennwertkesselstudie [46] zum Tragen. Ergänzt wird aus Feldobjekten der Ostfalia.

### 6.2.1 Übersicht aller ausgewählten Feldobjekte in einer Auswertungsmatrix

Alle auswertbaren Feldobjekte werden in einer Auswertungsmatrix zusammengefasst, die nachfolgend dargestellt ist. Dabei beinhaltet die Auswahl Feldobjekte, an denen Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt wurden, sowie Kesselerneuerungen und Optimierungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Durchführung des hydraulischen Abgleichs oder Anpassung von Regelungsparametern.

Geordnet ist die Übersicht anhand des jeweiligen Baujahrs der Objekte. Um die jeweiligen Wohngebäude auf dem ersten Blick besser einschätzen bzw. einordnen zu können, werden neben dem Baujahr Angaben zur (beheizten) Wohnfläche gemacht. Die aufgeführten Feldobjekte werden anonymisiert dargestellt, zur eindeutigen Identifikation erfolgt eine Nummerierung der Objekte.

Da die jeweiligen Endenergieverbräuche der Objekte, weiter aufgeteilt in Heizwärmeverbrauch, Energieverbrauch für Warmwasser und Verluste, im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen, nehmen diese den Großteil der Tabelle ein. Es werden dabei die Verbräuche vor der entsprechenden Maßnahme, sowie danach aufgegliedert dargestellt und mit Hilfe eines Ampelsystems anhand von Referenzwerten bewertet. Insbesondere diese Aufteilung ist aber nur möglich, da in den Objekten entsprechende Wärmemengenzähler im System installiert sind. Allein über einen Endenergie-, bzw. Brennstoffzähler sind diese Anteile nicht ermittelbar.

Die Energieverbräuche werden flächenbezogen dargestellt um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Objekten zu gewährleisten. Die Differenz der Verbräuche vor und nach einer (Sanierungs-)Maßnahme wird als Endenergieeinsparung, sowie als Nutzenergieeinsparung in den nächsten Spalten aufgeführt und lässt Rückschlüsse auf die jeweilige Sanierungswirkung zu. Aus diesen Werten kann allerdings nicht, wie beispielhaft in Kapitel 6.1.5 aufgezeigt, die Sanierungseffizienz abgeleitet werden. Dazu dient das umgesetzte Ampelsystem, welches die eingetragenen Werte mit Referenzwerten gleicher Baualtersklasse in unten stehender Tabelle vergleicht.

**Tabelle 4 Auswertungsmatrix**

Lfd.Nr.	A <sub>EG</sub>	Baujahr	Sanierung	vorher / Referenz				nachher / Neubau				ΔQ <sub>E</sub>	ΔQ <sub>N</sub>	Wärme- erzeugung	Maßnahme	
				Q <sub>E</sub>	Q <sub>TWW</sub>	Q <sub>H</sub>	Q <sub>V</sub>	Q <sub>E</sub>	Q <sub>TWW</sub>	Q <sub>H</sub>	Q <sub>V</sub>					
				kWh/(m <sup>2</sup> a)												
1	2726	1900	2001	102	24	65	13	142	12	94	36	40	17	Kessel, Solar		
2	553	1900	2010	239	24	189	26	103	9	94		-136	-110	Nahwärme	Dämmung	
9	746	1934	2011	240	90	150		135	51	84		-105	-105	Nahwärme	Dämmung	
10	1426	1935	2010	58	14	38	6	109	12	61	37	51	21	Kessel, Solar		
11	1580	1953	2003	87	17	52	18	150	17	57	33	63	5		Dämmung	
12	857	1954	2011	58	14	38	6	130	17	58	55	72	23		Dämmung	
13	1256	1954	2013	58	14	38	6	179	17	163	-1	121	128			
14	837	1954	2013	58	14	38	6	175	17	151	7	117	116			
15	419	1954	2013	58	14	38	6	170	17	132	20	112	97			
16	1167	1954		225	38	130	57	187	17	157	13	-38	6		Dämmung	
17	790	1954		225	38	130	57	196	17	164	14	-29	13		Dämmung	
18	2930	1962	2006	87	17	52	18	126	50	40	37	39	20			
19	3548	1964	1995	155	31	91	33	128		100	27	-28	-22			
20	1081	1964		225	38	130	57	206	38	103	65	-19	-28			
21	1471	1964		225	38	130	57	181	32	91	58	-44	-45			
22	1828	1964		225	38	130	57	162	33	76	53	-63	-59		Dämmung	
23	994	1965	2005	87	17	52	18	111	19	55	37	24	5	Kessel, Solar		
24	1120	1968	2005	87	17	52	18	106	21	55	31	19	6	Kessel, Solar		
26	360	1968	2010	249	52	127	70	181	36	126	19	-68	-17	Kessel	Kesseltausch	
27	4228	1970	1998	102	24	65	13		21	134				66	Fernwärme	Dämmung
28	963	1970	2009	325	75	250		145	63	82		-180	-180	Nahwärme	Dämmung	
29	150	1970	2010	58	14	38	6	149	13	92	44	91	53	Kessel		
31	1350	1973		225	38	130	57	243	14	159	70	18	5			
35	1523	1979	1998	102	24	65	13	117	31	85	1	15	27	Fernwärme	Dämmung	
38	853	1985	2003	330	54	133	143	316	54	125	137	-14	-8	Kessel	Optimierung	
40	1159	1987	2004	296	51	141	104	262	51	119	92	-34	-22	Kessel	Optimierung	
41	1526	1989	2004	249	49	123	77	231	49	110	71	-18	-13	Kessel	Optimierung	
44	429	1994	2004	326	29	137	160	298	29	123	146	-28	-14	Kessel	Optimierung	
48	1250	1998	2003	117	46	71		101	32	69		-16	-16	Fernwärme	Optimierung	
49	1349	2001		102	24	65	13	119	27	67	25	17	5	Nahwärme	Neubau	
50	1539	2001		102	24	65	13	110	28	59	23	8	-3	Nahwärme	Neubau	
51	1021	2001		102	24	65	13	133	33	74	27	31	18	Nahwärme	Neubau	
52	906	2001		102	24	65	13	123	41	57	25	21	9	Nahwärme	Neubau	
53	1508	2002		102	24	65	13	105	11	56	38	3	-22	Kessel, Solar		
54	4866	2002		102	24	65	13	198	51	107	40	96	69			
55	9800	2003		87	17	52	18	88	57		31	1	-12			
56	5689	2010		58	14	38	6	82	13	43	26	24	4	Kessel, Solar		
57	3154	2010		58	14	38	6	101	14	58	29	43	20	Kessel, Solar	Neubau	
58	5000	2010		58	14	38	6	56	13	31	12	-2	-8			

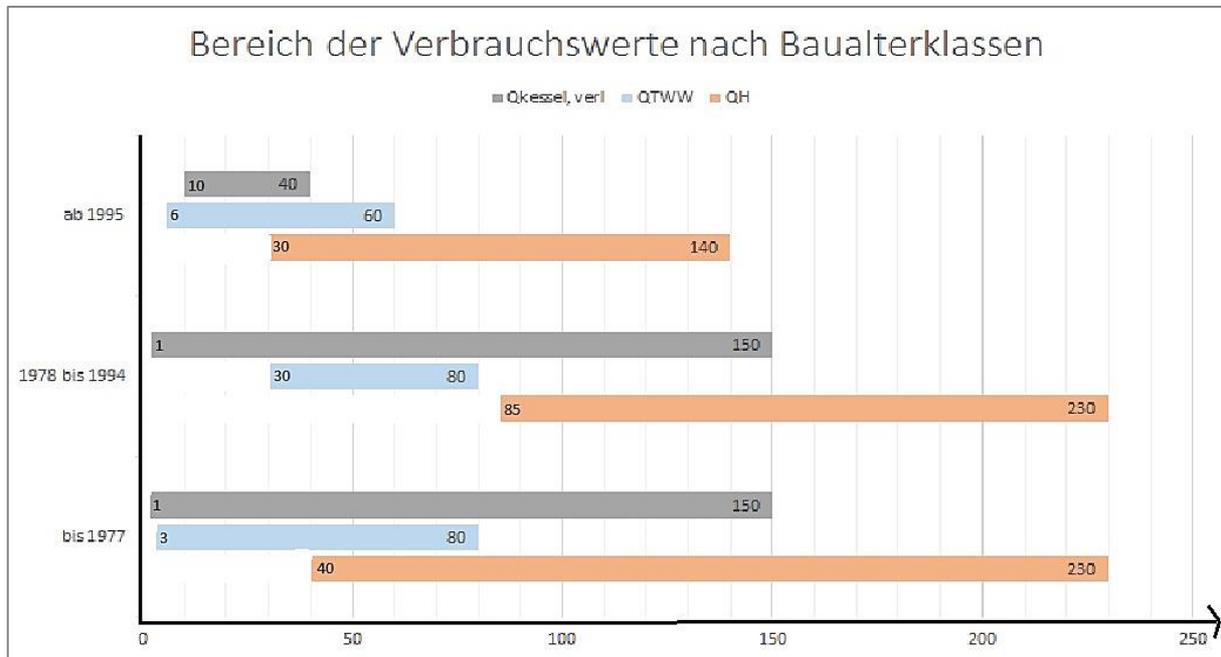
  

Bewertung	Baujahr		Referenz			
	von	bis	Q <sub>E</sub>	Q <sub>TWW</sub>	Q <sub>H</sub>	Q <sub>V</sub>
±20 % des Referenzwertes	1978		225	38	130	57
±20 % des Referenzwertes	1979	1995	155	31	91	33
±20 % des Referenzwertes	1996	2002	102	24	65	13
	2003	2009	87	17	52	18
	2010	2015	58	14	38	6

Anmerkung:  
Sind keine Vorher-Werte verfügbar, wird anstelle dessen der Referenzwert für das Sanierungsjahr bzw. Baujahr dargestellt (kursiv)

Bei der Farbverteilung fällt auf, dass bei den meisten Objekten auch nach (erfolgreich) durchgeführter Maßnahme die qualitative Bewertung anhand der Referenzwerte ziemlich schlecht ausfällt.

Obwohl sich konkrete Energieverbräuche nach der Sanierungs-, bzw. Optimierungsmaßnahme aus Messdaten ermitteln lassen, kann der Einfluss der energetischen Qualität des Gebäudes, sowie der Anlagentechnik nicht vom Einfluss des Nutzerverhaltens der Bewohner auf den Energieverbrauch getrennt werden. Damit weist ein zunächst niedriger Energieverbrauch nicht unbedingt auf ein energieeffizientes Gebäude hin. Die Einschätzung der Verbrauchswerte in den einzelnen Bereichen Heizung, Trinkwarmwasserbereitschaft und Kesselverlust weist große Spannbreiten auf, wie aus nachstehender Grafik ersichtlich wird.



**Abbildung 20 Bereich der Verbrauchswerte nach Baualterklassen [eigene Grafik]**

Hier sind die Bandbreiten des Kesselverlusts (grau), der Energie für die Trinkwarmwasserbereitung (blau) und die Raumwärme (rot) in Abhängigkeit der jeweiligen Baualterklasse für die in der Auswertungsmatrix aufgeführten Objekte dargestellt.

Aufgrund der teilweise sehr hohen Bandbreiten ist es nicht ausreichend, allein den gesamten Energieverbrauch als Kennzahl für eine energetische Bewertung heranzuziehen. Die Verbräuche aller drei Anteile Raumheizung, Trinkwarmwasser und Anlagenverluste bzw. Erzeugerverluste ergeben sich als Differenz der vom Wärmeerzeuger abgegebenen Wärmemengen zum Endenergieverbrauch) sollten mit mindestens einem zusätzlichen Wärmemengenzähler hinter dem Wärmeerzeuger erfasst werden. Weitere Kennwerte, welche die einzelnen energetischen Eigenschaften des Gebäudes und der Anlage unmittelbar aufzeichnen und die aufgrund der Sanierungsmaßnahmen direkt verändert werden können, sollten beispielsweise bei der Ausstellung eines Energieausweises einbezogen werden. Hierzu zählt:

- der sogenannte Wärmeverlustkoeffizient  $H$  des Gebäudes für die Dämmqualität der Hüllflächen und für die auch vom Nutzer abhängigen Lüftungswärmeverluste,
- der anlagenspezifische Kesselwirkungsgrad  $(\eta_K)$  und
- die spez. Kesselbereitschaftsverluste  $(q_B)$ ,
- die mittlere Auslastung  $\beta$  für die Effizienzbewertung der Kesseldimensionierung,
- der "Sommersockel" für die Grundlast der Trinkwarmwasserbereitung.

Diese Parameter können aus der EAV mit Messung der Input- und Output-Energien ohne großen Aufwand ermittelt werden. Ein empfohlener Energieausweis, der aus diesen Parametern resultiert, wurde bereits in Kapitel 3.5 beispielhaft vorgestellt.

## 6.2.2 Ausgewählte Beispielobjekte

Die Übersicht lässt nur begrenzt Aussagen zu den Einzelmaßnahmen und insbesondere zur Qualität der Umsetzung zu, so dass nachfolgend an einigen repräsentativen Beispielen die Auswertung detailliert dargestellt wird. Hierbei wird auch auf die jeweiligen individuellen Schwierigkeiten / Probleme der Einzelmaßnahme eingegangen, die in der Übersicht nicht sofort vermittelt werden können. Daraus lassen sich auch Aussagen zur Sanierungswirkung und zur Sanierungseffizienz treffen.

Insbesondere die letzten beiden der nachfolgend sieben Beispiele zeigen dabei eindrucksvoll auf, wie wichtig und gewinnbringend eine durchgehende Qualitätssicherung für die Effizienz von (Wohn-)Gebäuden ist.

## 6.2.3 Best-Case einer Dämmmaßnahme

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. Sowohl vor als auch nach der Modernisierungsmaßnahme wurden kontinuierlich die Heizenergieverbräuche über einen Wärmemengenzähler direkt hinter dem jeweiligen Kessel erfasst. Betrachtet werden in diesem Beispiel zwei Mehrfamilienhäuser mit einer gesamten Nutzfläche von knapp 840 m<sup>2</sup>.



**Abbildung 21 Gebäude Hogrefestraße, Hannover [eigene Grafik]**

Durch das konsequente Monitoring vom 01.11.2011 bis zum 01.12.2014 konnte per EAV festgestellt werden, dass sich der Heizenergieverbrauch im Vergleich zur Bestandssituation deutlich verringert hat. Die Ergebnisse der Auswertung sind nachfolgend grafisch und tabellarisch dargestellt.

Durch die EAV wird deutlich, dass vor der energetischen Sanierung die Gebäude einen vergleichsweise schlechten Kennwert  $h$ , bzw. hohe Energieverbrauchskennwerte aufweisen. Der Heizwärmeverbrauch beträgt knapp 150 kWh/(m<sup>2</sup>a), die individuelle Heizgrenze liegt bei etwa 18°C.

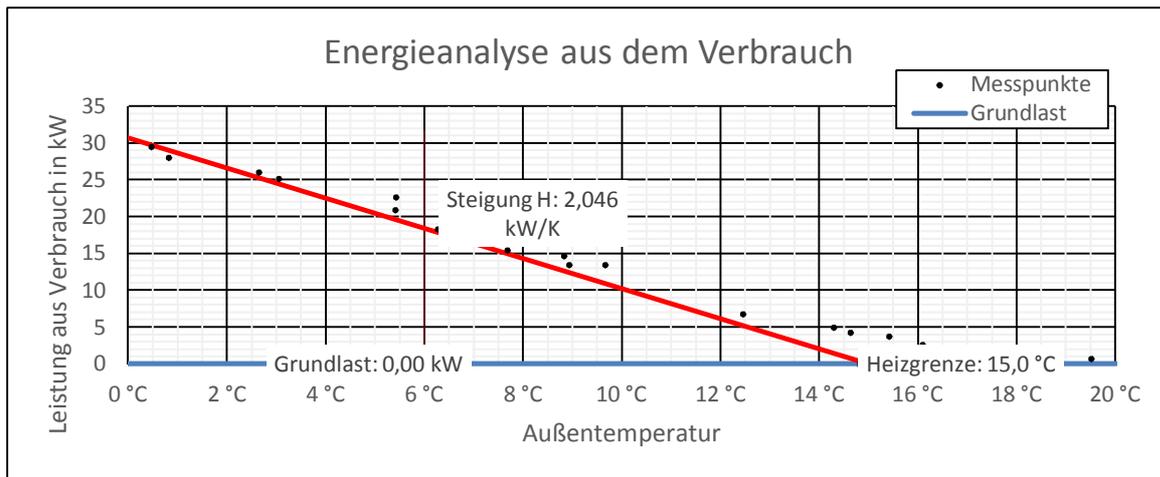


Abbildung 22 Best-Case Dämmmaßnahme, EAV vor Sanierung [eigene Grafik]

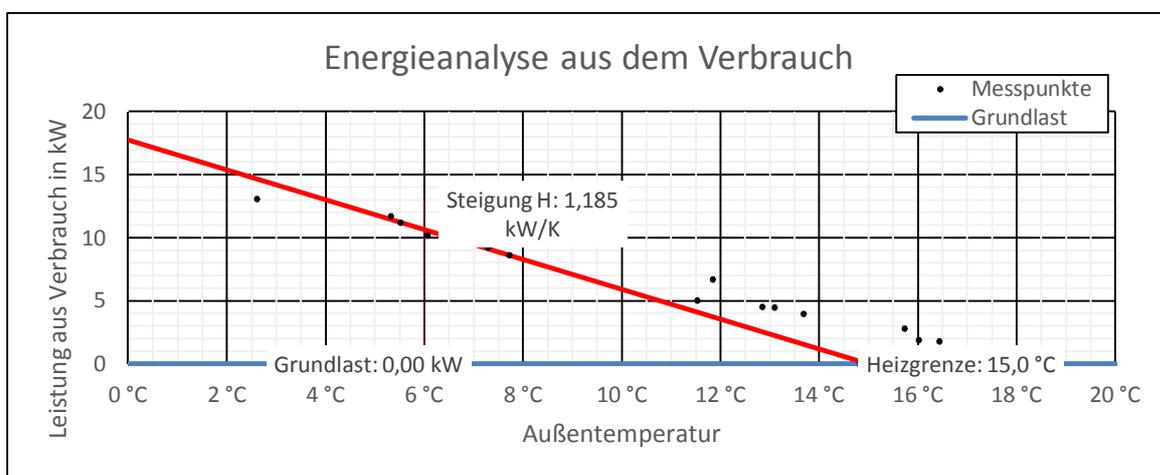


Abbildung 23 Best-Case Dämmmaßnahme, EAV nach Sanierung [eigene Grafik]

Tabelle 5 Auswertungstabelle, Best-Case Dämmmaßnahme

Hogrefestraße 9,11						
Auswertung	Wohnfläche [m <sup>2</sup> ]	Verbrauch [kWh/m <sup>2</sup> a]	Steigung H [kW/K]	Steigung h [W/m <sup>2</sup> K]	Heizlast [kW]	Heizgrenze [°C]
vor Sanierung, indiv. HGT	837,38	143,7	1,618	1,932	55	18,2
nach Sanierung, indiv. HGT	837,38	89,9	0,834	0,996	28	18,6
Einsparung durch Sanierung		53,8				
vor Sanierung, fixe HGT	837,38	148,0	2,046	2,443	69,6	15
nach Sanierung, fixe HGT	837,38	59,0	1,185	1,415	40,3	15
Einsparung durch Sanierung		89,0				

Nach der Sanierung wird am Beispiel der Hogrefestraße 9,11 deutlich, dass sich der (theoretische) Heizenergieverbrauch durch das Aufbringen der Dämmung um ca. 60 % reduziert hat, der reale Verbrauch hat sich demgegenüber nur um etwa 40% reduziert. Der Heizwärmeverbrauch beträgt nun knapp 60 kWh/(m<sup>2</sup>a), die Heizlast wurde auf 40 kW reduziert. Durch die Maßnahme wurde der Dämmstandard von einem Gebäude der WSV0 95 auf ein Niedrig-EH verbessert. Dabei hat sich die Heizgrenze sogar geringfügig erhöht.

Die Sanierungseffizienz wurde nicht erreicht, so dass durch nachfolgende Optimierungen wie beispielsweise einen hydraulischen Abgleich oder die Optimierung der Kesselregelung ein weiteres Potenzial von etwa 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) gehoben werden könnte.

## 6.2.4 Best-Case für Kesseffizienz

Für ein Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten und einem Gewerbebetrieb mit einer beheizten Wohnfläche von 360 m<sup>2</sup> 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 Angaben zur Gebäudequalität vor.

Es liegen Wärmemengenzähler-Messwerte von 2008 bis 2014 vor, so dass jeweils für den Gebäudezustand mit altem Kessel und mit neuem Kessel eine qualitative Auswertung mittels EAV bei einer festen (theoretischen) Heizgrenztemperatur von 15°C und alleiniger Betrachtung der Winterpunkte für die Regressionsgerade erstellt werden kann. Diese sind nachfolgend grafisch dargestellt.

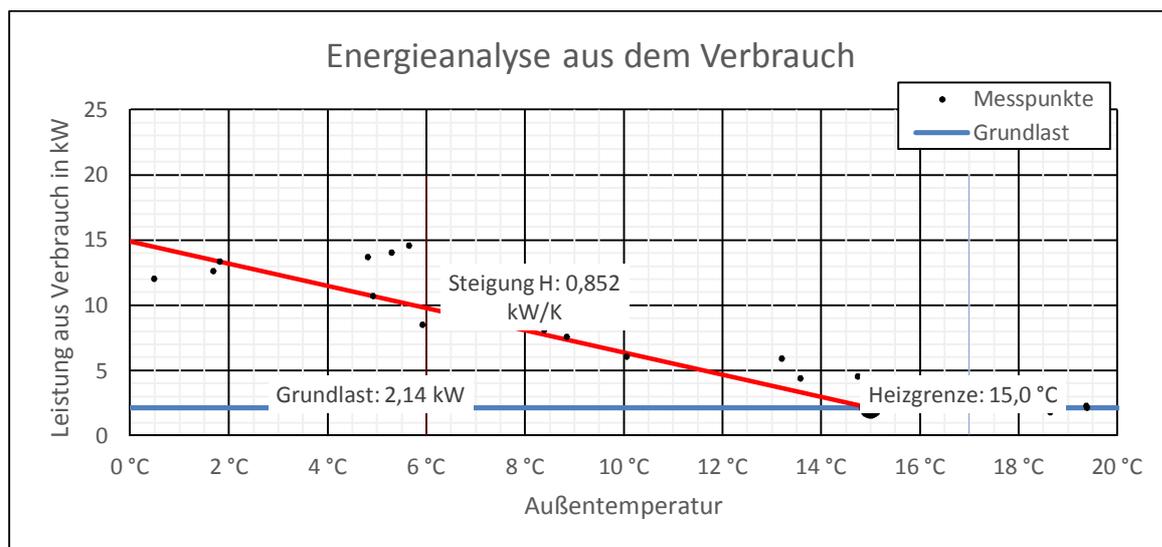


Abbildung 24 Best-Case Kesseffizienz MFH, EAV vor Sanierung [eigene Grafik]

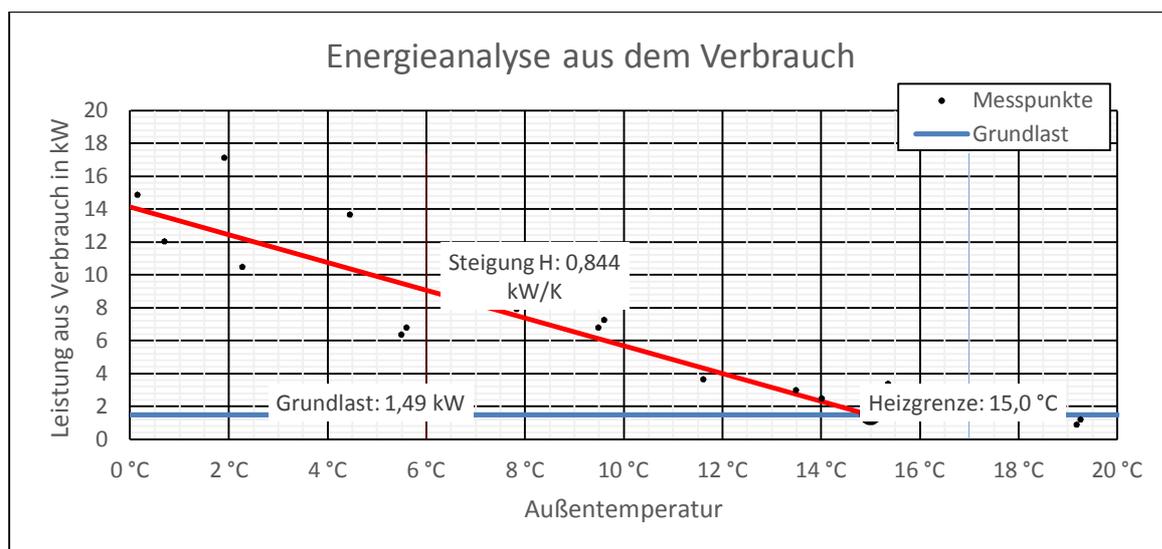
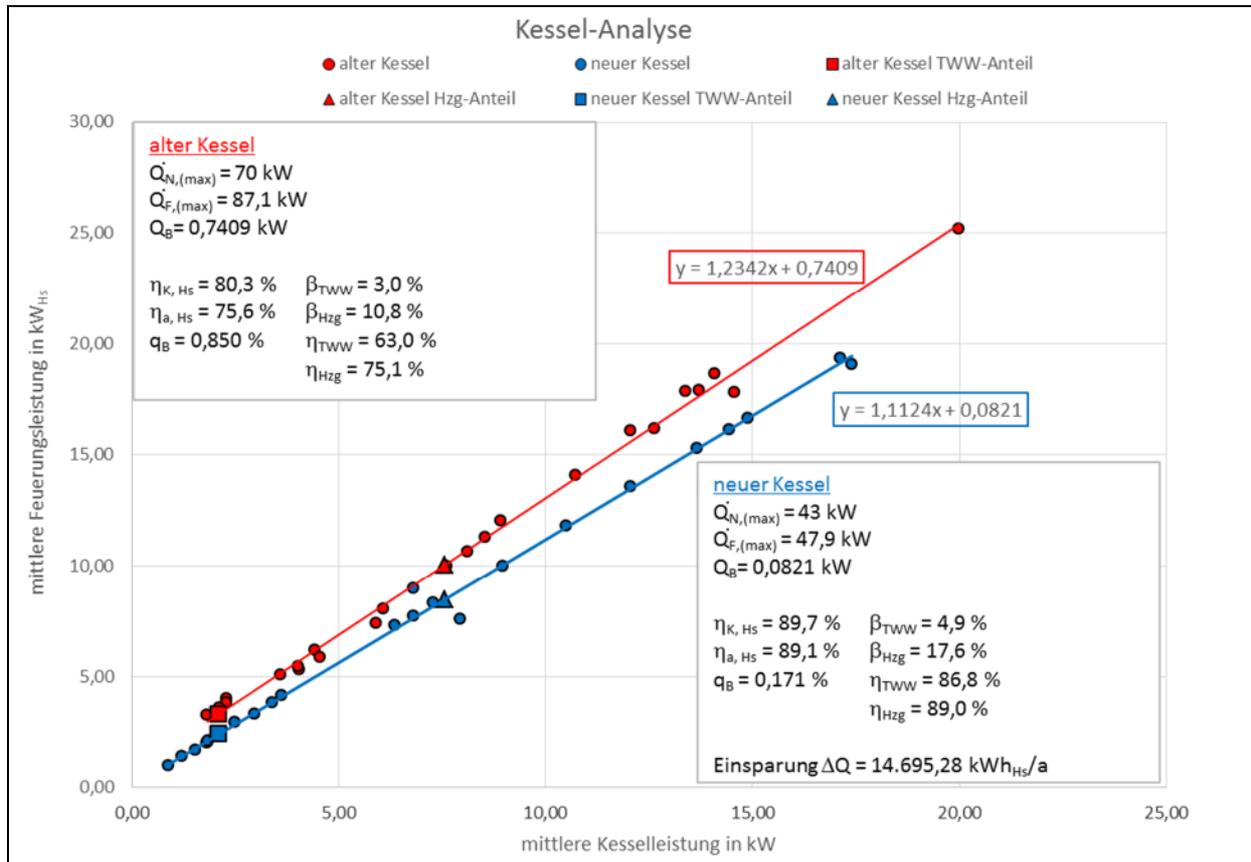


Abbildung 25 Best-Case Kesseffizienz MFH, EAV nach Sanierung [eigene Grafik]

Vergleichend kann aus den vorliegenden Energieverbrauchsanalysen vor und nach dem Kesseltausch identifiziert werden, dass sich durch diese Maßnahme die Steigung H nur unwesentlich verringert hat, die Grundlast jedoch deutlich reduziert wurde.

Die folgende Abbildung zeigt für die Anlage 4 eine Kesselanalyse. Es wird die mittlere Kesselleistung (Abszisse) mit der mittleren Feuerungsleistung (Ordinate) verglichen. Der neue Kessel stellt eine deutliche Verbesserung dar.



**Abbildung 26** vergleichende Darstellung der Kesselanalyse für den alten Kessel (rot) sowie für den neuen Kessel (blau) [eigene Grafik]

Bei dem dargestellten Objekt handelt es sich um die Anlage 4 der nachfolgenden Übersichtstabelle. Die Anlagen, die in der Tabelle dargestellt werden, sind in einer Masterarbeit untersucht worden. In dieser konnten verschiedene Schlüsse bezüglich des Kesselaustauschs gezogen werden.

Bei den untersuchten Anlagen handelt es sich größtenteils um Brennwertanlagen, lediglich die Kessel des Objekts 1 und 3 sind Niedertemperaturanlagen. Bei Betrachtung aller aufgeführten Nutzungsgrade kann allerdings nicht intuitiv zwischen Brennwert- oder Niedertemperaturkessel unterschieden werden, da die Werte alle im gleichen Bereich liegen.

Daraus folgt, dass Niedertemperaturwärmeerzeuger nicht zwangsläufig schlechter bzw. ineffizienter sind als Brennwertgeräte. Das Problem dieser Auswertung wird in der mangelnden Repräsentativität der Niedertemperaturanlagen gesehen. Der Mittelwert für den Nutzungsgrad der Niedertemperaturanlagen liegt zwar nur unwesentlich niedriger als der der Brennwertanlagen, aber wirklich aussagekräftig ist dies bei zwei Anlagen nicht. Das Problem der geringeren Nutzungsgrade der Brennwertanlagen wird in der nicht optimalen Ausnutzung des Brennwerteffektes gesehen. Andere Studien (Brennwertkesselstudie der Ostfalia, etc.) liefern vergleichbare Werte.

**Tabelle 6 Übersicht der Nutzungsgrade von Niedertemperatur- und Brennwertkesseln in unterschiedlichen Objekten**

Nr.	Baujahr	Nutzungsgrad % <sub>Hs</sub>	Nutzungsgrad in % <sub>Hi</sub>
1	2001	81,93	90,83
2	2002	82,47	91,43
3	2003	84,72	93,92
4	2010	88,96	98,63
5	2003	87,45	96,95
6	2003	83,43	92,49
7	2002	83,67	92,76
8	2002	82,49	91,45
9	2002	84,85	94,07
10	2003	83,12	92,15
11	2002	85,20	94,46

Bei der Betrachtung der nachfolgenden Tabelle fällt auf, dass das Einsparpotenzial stark vom energetischen Zustand des Gebäudes abhängig ist. Die Festsetzung des Nutzungsgrads auf 90 %, die realistisch möglich sind, weist Schwankungen auf. Der Nutzungsgrad kann durch den hydraulischen Abgleich und die Verbesserung der Regelung weiter verbessert werden. Es zeigt sich, dass ein Kesseltausch nicht immer wirtschaftlich ist.

**Tabelle 7 Übersicht der Endenergieeinsparungen bei Niedertemperatur- und Brennwertkesseln in unterschiedlichen Objekten**

Objekt	Erdgasverbrauch (bereinigt)	Kesselverluste	Endenergieeinsparung	
			90 %	94 %
[-]	[kWh <sub>Hs</sub> /(m <sup>2</sup> *a)]	[kWh <sub>Hs</sub> /(m <sup>2</sup> *a)]	[kWh <sub>Hs</sub> /(m <sup>2</sup> *a)]	
Anlage 1	143,70	25,97	12,89	18,46
Anlage 2	160,50	28,14	13,44	19,69
Anlage 3	202,40	30,93	11,88	19,99
Anlage 4	222,20	24,53	2,56	11,91
Anlage 5	80,50	10,10	2,28	5,61
Anlage 6	121,90	20,20	8,90	13,71
Anlage 7	284,57	46,47	20,02	31,27
Anlage 8	155,30	27,19	12,96	19,02
Anlage 9	342,74	51,92	19,61	33,36
Anlage10	96,70	16,32	7,39	11,19
Anlage11	154,10	22,81	8,22	14,43

Für den Einfamilienhausbereich wird ein Wohngebäude mit Baujahr 1995 und einer Nutzfläche von 150 m<sup>2</sup> betrachtet. Im Zuge von Sanierungsmaßnahmen im Jahre 2003 wurde bei diesem in Braunschweig befindlichen Objekt ein Kesseltausch vorgenommen.

Eine Messung über acht Jahre ist nachfolgend in den Energieanalyse aus dem Verbrauch (E-A-V) für einen Zeitraum vor der Sanierung (1999 bis 2003) sowie einen Zeitraum danach (2003 bis 2007) dargestellt. In der ersten Messperiode war eine einfache Gasbrennwerttherme mit kleinem Trinkwarmwasserspeicher, in der zweiten Messperiode ein Kesselpufferspeicher mit integriertem Gasbrenner mit Solarer Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung installiert.

Dargestellt sind die mittleren, mit Wärmemengenzähler erfassten abgegebenen Nutzleistungen für Heizung und Trinkwarmwasser. Die Kessel hatten beide eine Kesselnennleistung von je 18 kW:

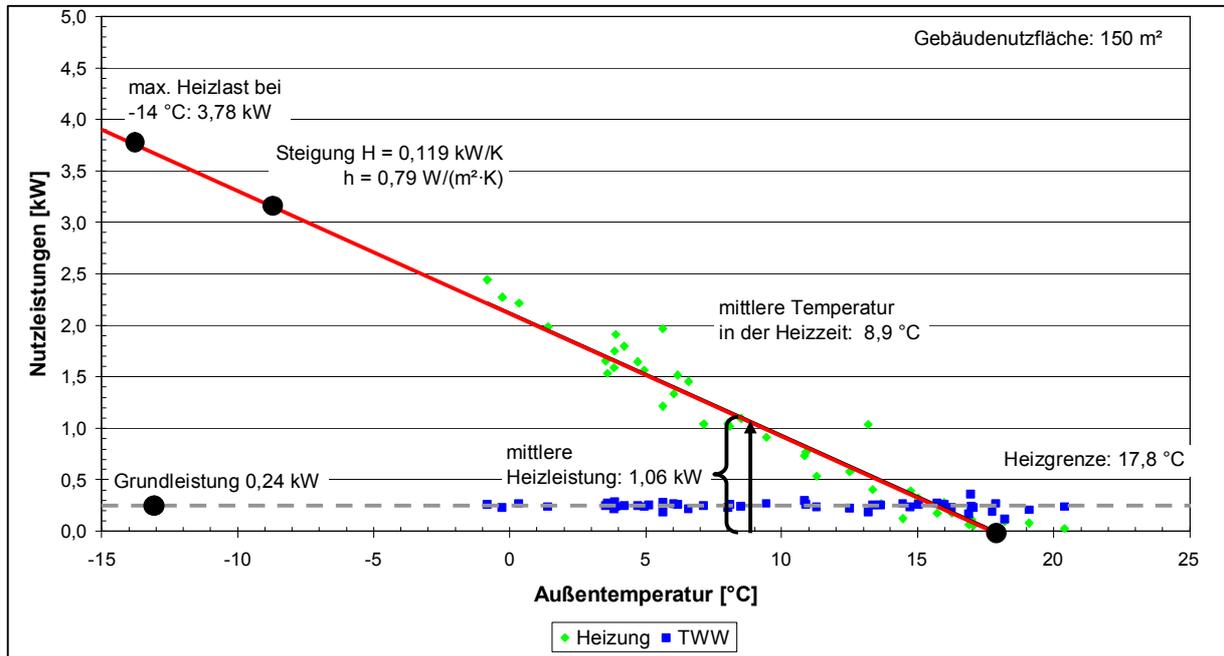


Abbildung 27 Best-Case Kesseleffizienz EFH, EAV vor Sanierung [eigene Grafik]

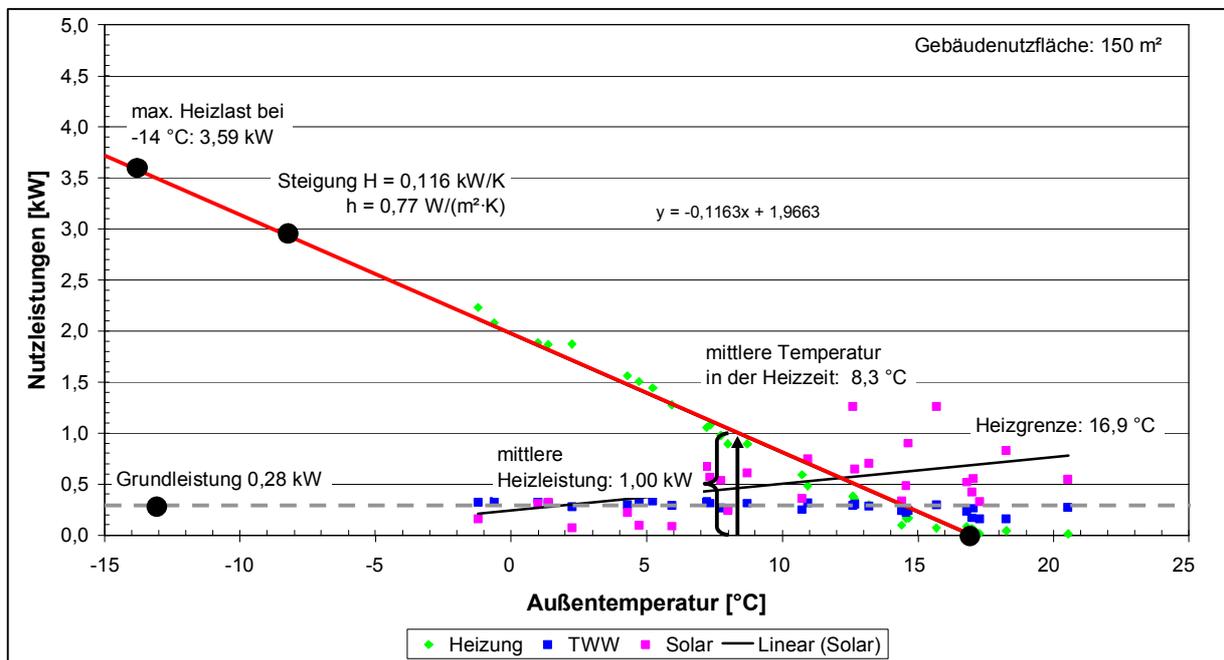
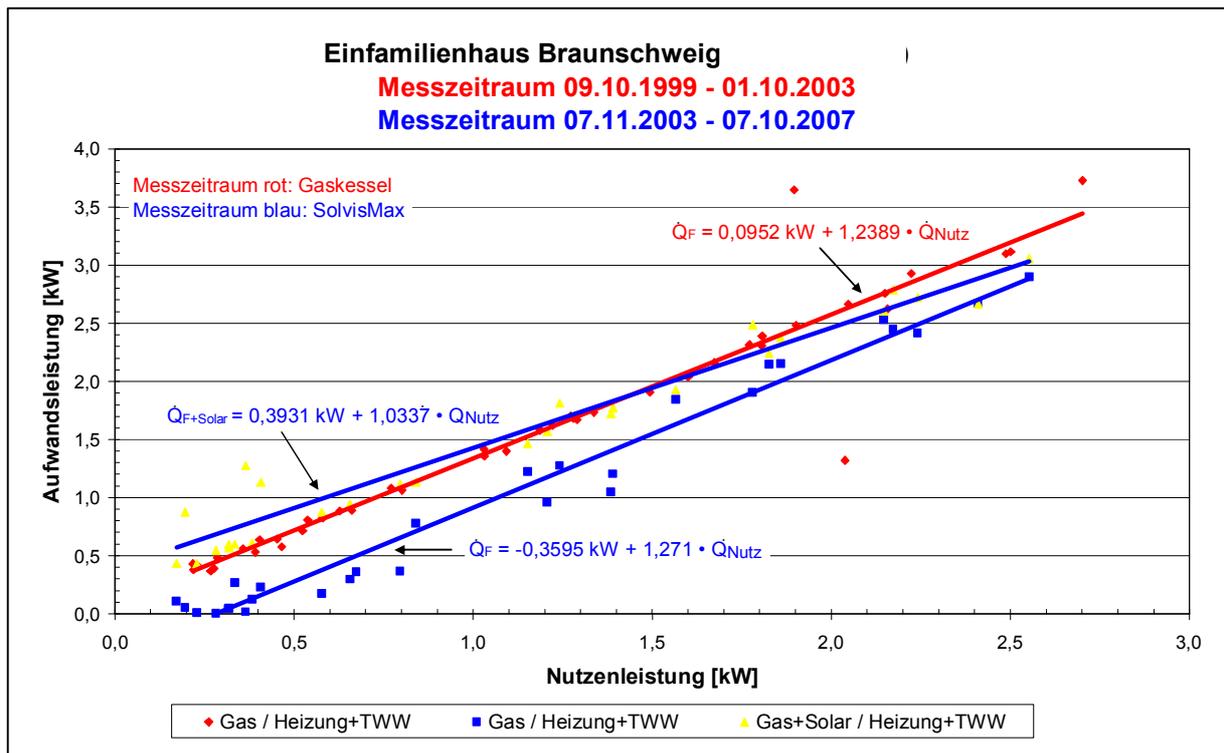


Abbildung 28 Best-Case Kesseleffizienz EFH, EAV nach Sanierung [eigene Grafik]

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Fingerabdruck der beiden Kessel. (rot: altes Gasbrennwertgerät – blau Gerade unten: mittlere Gasinputleistung über abgegebene Nutzleistung für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung – blaue Gerade oben wie untere Gerade + zusätzlicher Solarertrag aus Kollektoren)

Eine Korrektur der Heizgrenze auf 15°C wurde hier nicht durchgeführt.



**Abbildung 29 Best-Case Kesseleffizienz EFH, vergleichende EAV [eigene Grafik]**

Durch den Kesseltausch und den Einsatz einer Solaranlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung wurde eine jährliche Brennstoffeinsparung von 362 m<sup>3</sup> nachgewiesen.

### 6.2.5 Best-Case für Optimierungsmaßnahmen

Das Mehrfamilienhaus (MFH) mit Standort Braunschweig wurde 1998 in normaler städtischer verdichteter Lage erbaut. Es besteht aus vier bewohnten Geschossen mit Spitzdach und Keller und weist eine Nutzfläche von 1250 m<sup>2</sup> auf.



**Abbildung 30 Gebäude Hinter Liebfrauen, Braunschweig [eigene Grafik]**

Das Gebäude entspricht dem Standard der Wärmeschutzverordnung von 1995. Die Fenster sind überwiegend in 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffrahmen ausgeführt. Die Decke zum unbeheizten Keller ist im Gegensatz zur obersten Geschossdecke nicht gedämmt. Bei der Optimierung wurde nur ein Teil des Gebäudes erfasst. Die Beheizung und die Versorgung mit Trinkwarmwasser werden über Fernwärme mit indirekter Übergabe und zentraler Warmwasserbereitung realisiert.

Es wurde im Jahr 2003 eine Optimierung der Heizungsanlage durchgeführt. Dabei wurde für das gesamte Gebäude ein hydraulischer Abgleich durchgeführt und die Regelung des Heizsystems optimiert. Es wurde dabei im Zeitraum von 11/2003 bis 12/2003 vor der Optimierungsmaßnahme der Energieverbrauch gemessen, sowie nach der Maßnahme im Zeitraum von 12/2003 bis 03/2005. Die Messwerte werden mit Hilfe des EAV-Tools zur Auswertung herangezogen und sind grafisch dargestellt.

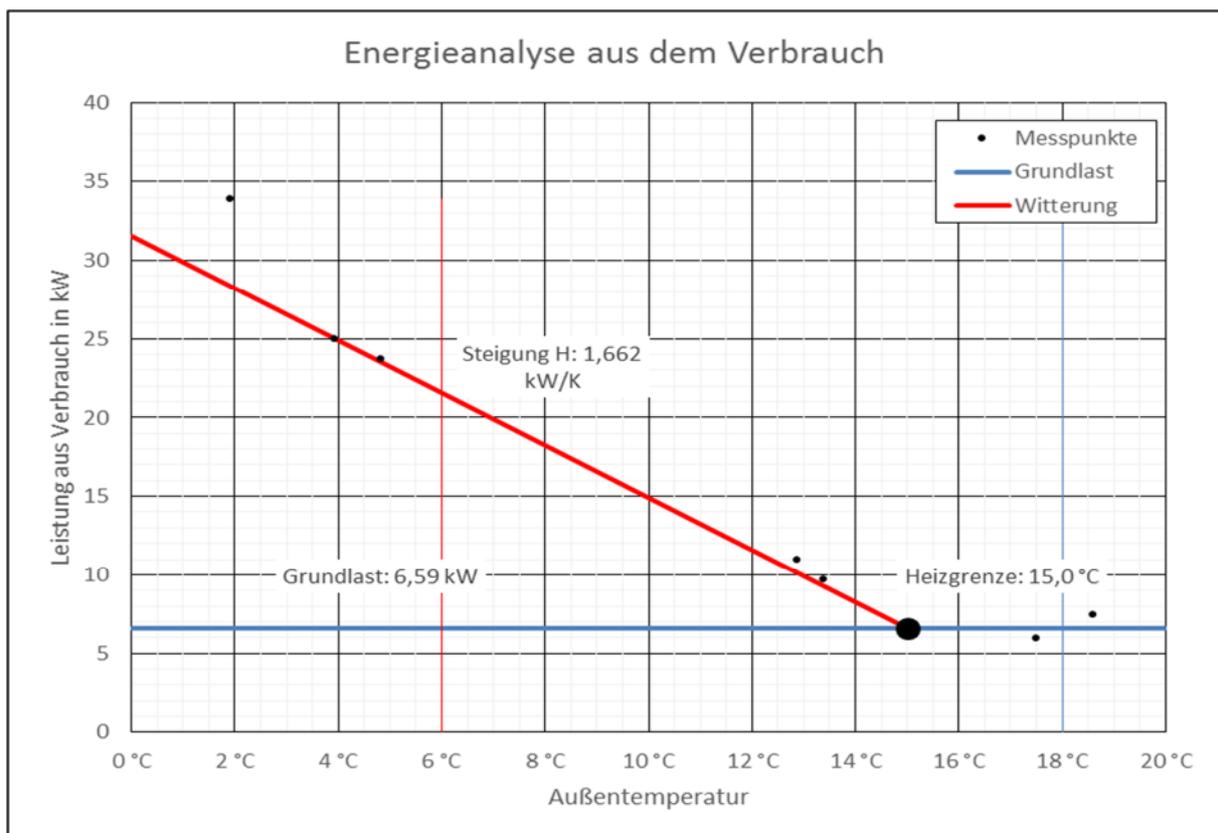


Abbildung 31 Best-Case Optimierung MFH, EAV vor der Maßnahme [eigene Grafik]

Die Steigung H der Heizgeraden wird durch die Optimierung nur geringfügig kleiner, auffällig ist aber die deutliche Reduzierung der Grundlast, die auf die entsprechende Anpassung der Regelung zurückzuführen ist.

Langjähriges Mittel für den Standort Braunschweig ist:

$$G_{15,m} = 53,5 \frac{\text{kKh}}{\text{a}}$$

EAV vor der Optimierung ( $H=1,662 \text{ kW/K}$ ,  $\dot{Q}_{\text{Grundlast}}=6,59 \text{ kW}$ )

$$Q_{I,a} = H_I \cdot G_{15,m} + G_I \cdot 8.760 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 146.645,4 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$\frac{Q_{I,a}}{A} = 117,3 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$$

EAV nach der Optimierung ( $H=1,605 \text{ kW/K}$ ,  $\dot{Q}_{\text{Grundlast}}=4,60 \text{ kW}$ )

$$Q_{II,a} = H_{II} \cdot G_{15,m} + G_{II} \cdot 8.760 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 126.163,5 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$\frac{Q_{II,a}}{A} = 100,9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$$

Sanierungswirkung

$$\Delta Q = Q_{I,a} - Q_{II,a} = 20.502 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$\frac{\Delta Q}{A} = 16,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ a}}$$

Durch die Optimierung des Heizungssystems ergeben sich jährliche Heizenergieeinsparungen von  $16,4 \text{ kWh/m}^2$ , die damit im zuvor genannten typischen Einsparbereich von 15 bis  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (vgl. Kapitel 2.1 Energieeinsparpotenziale) liegen.

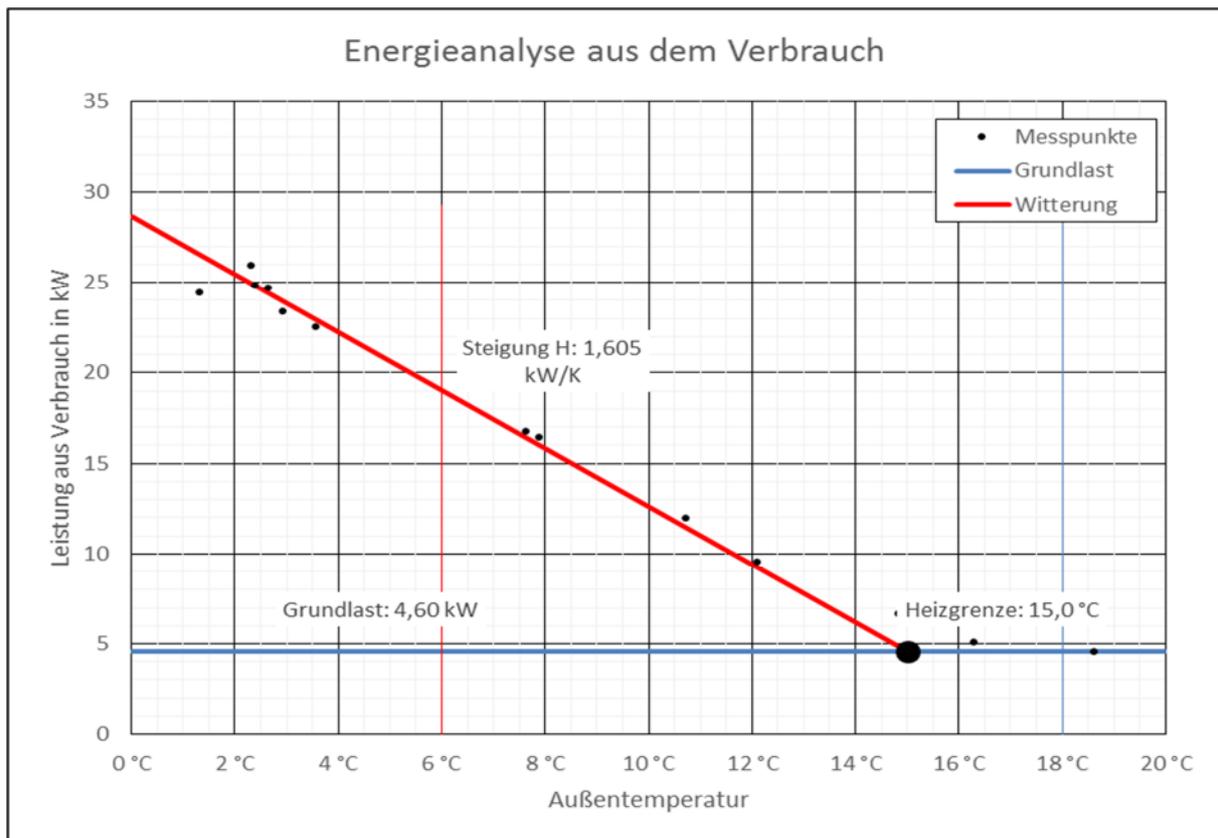


Abbildung 32 Best-Case Optimierung MFH, EAV nach der Maßnahme [eigene Grafik]

### 6.2.6 Best-Case für Kombimaßnahmen

Im Jahre 2008 erfolgte die umfassende Sanierung eines alten Fachwerkhouses aus dem Jahre 1900 zu einem Einfamilienwohnhaus mit Büronutzung. Das in Braunschweig befindliche Wohnobjekt weist eine beheizte Nutzfläche (Wohnen und Büro) von etwa 211 m<sup>2</sup> auf und wird von 2 Personen genutzt.

Im Zuge der Sanierung wurde die gesamte Außenhülle des Gebäudes mit Passivhauskomponenten gedämmt. Dabei wurde – wie in Kapitel 3.7 bereits dargestellt – der bisherige Energieverbrauch nicht berücksichtigt. Bei der Zielsetzung des angestrebten Energieverbrauchs nach Sanierung wurden Effizienzwerte nach KfW 55 verfolgt.

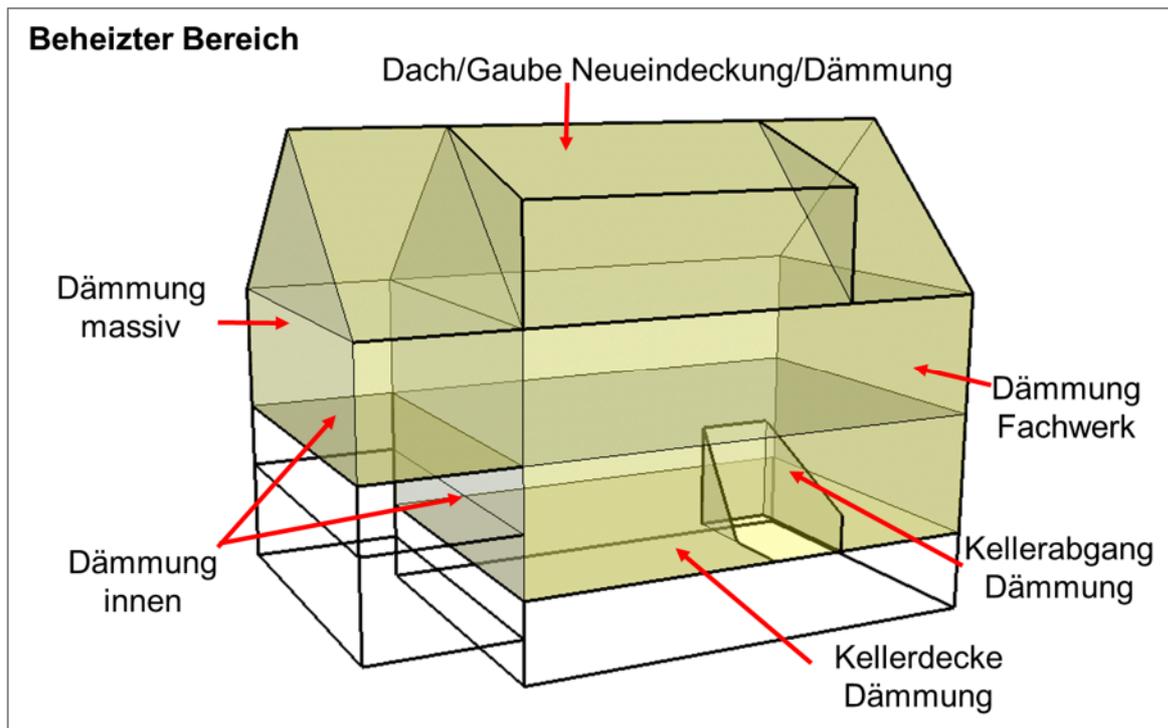


**Abbildung 33 Gebäude Albertstraße, Braunschweig [eigene Grafik]**

Im Einzelnen wurde die massive Außenwand mit einer 20 cm starken Dämmung der Wärmeleitgruppe (WLG) 032 gedämmt. Wo dies nicht möglich war, wurden die Innenwand sowie die Decke zur Garage ebenfalls mit einer 20 cm starken Dämmung der WLG 032 gedämmt. Besondere Sorgfalt wurde insbesondere bei der Minderung der Wärmebrücken, beispielsweise beim Anschluss des Wintergartens, gelegt. Darüber hinaus erfolgte die Kellerdeckendämmung mit Dämmplatten der Stärke 20 cm und der WLG 032 (in Nichtaufenthaltsbereichen), bzw. der Stärke 10 cm und einer entsprechend besseren Wärmeleitgruppe WLG 022 in Verkehrs- und Aufenthaltsbereichen im Keller. Der Abgang in den Keller wurde des Weiteren mit einer 10 cm starken Dämmschicht der WLG 022, im Deckenbereich sogar mit zusätzlicher Mineralwolle-Stopfung von etwa 10 cm versehen.

Das Dach wurde abgedichtet und gedämmt mit einer 12 cm starken Schicht Mineralwolle der WLG 035 sowie zusätzlich einer 24 cm starken Schicht Mineralwolle der WLG 035 in definierten Bereichen.

Die umgesetzten Dämmmaßnahmen sind in nachfolgender Grafik zusammengefasst.



**Abbildung 34 Übersicht der Sanierungsmaßnahmen für Albertstraße [eigene Grafik]**

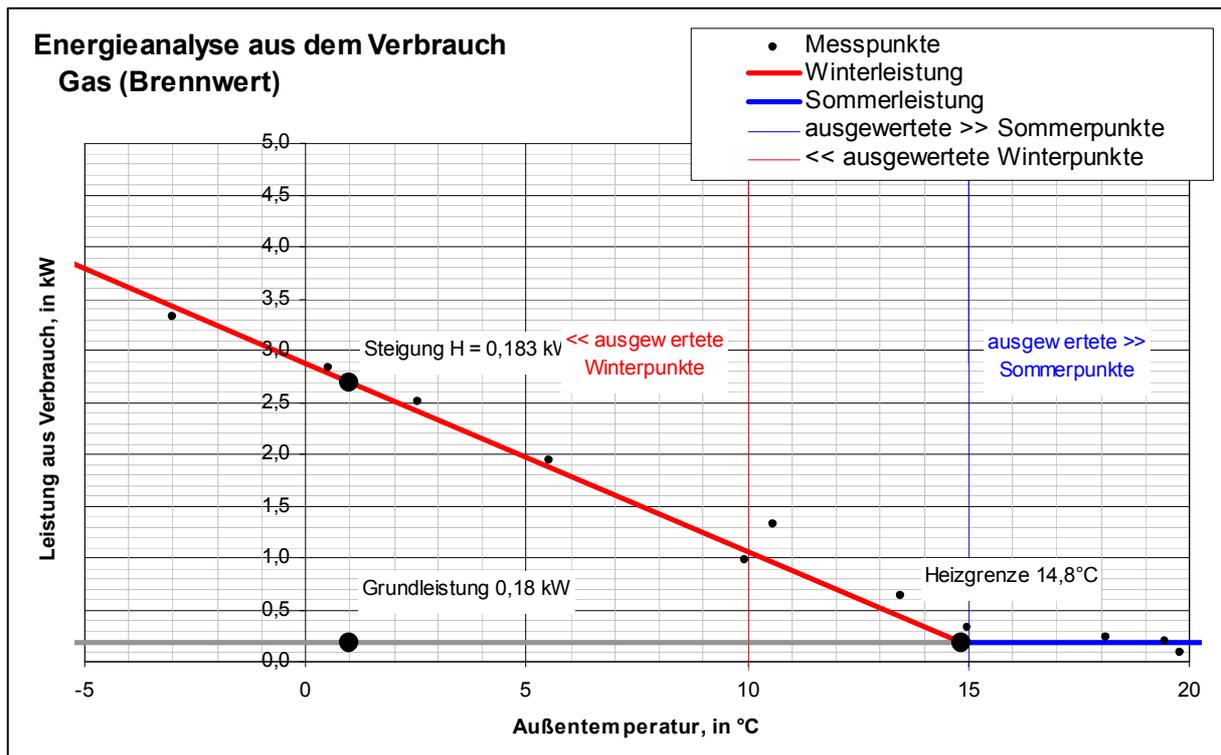
Im gesamten Gebäude wurden die Fenster teilweise, bzw. die Verglasung durch 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert von 0,9 bis 1,1 W/(m<sup>2</sup> K) ausgetauscht.

Im Nachgang der gebäudebetreffenden Maßnahmen wurde eine Luftdichtheitsmessung durchgeführt mit dem Ergebnis einer hohen Dichtheit des Gebäudes (Luftwechsel  $n_{50} = 1,7$  1/h).

Anfang des Jahres 2009 wurde ein neuer Gas-Brennwertkessel zur Heizwärme- und Warmwassererzeugung installiert. Besonderheit dieses Kessels ist die Möglichkeit der Modulation im Leistungsbereich von 2,7 bis 13,4 kW. Zusatzheizsysteme wie ein Kamin oder eine Solaranlage wurden bewusst nicht installiert (zu geringer Bedarf durch Nutzer). Vorbereitungen dazu wurden im Zuge der Installationsarbeiten allerdings vorgesehen. Zudem wurden die Heizflächen im gesamten Gebäude ausgetauscht.

Darüber hinaus wurden an der Heizungsanlage weitere Optimierungsmaßnahmen wie ein hydraulischer Abgleich und die Anpassung / Optimierung der Regelung durchgeführt. Wesentlich ist bei der Reglereinstellung, dass die Ladung des Trinkwarmwasserspeichers von 120 l im Regelfall nur einmal täglich frühmorgens zwischen 4:00 und 4:20 erfolgt.

Es wurde erstmals ab dem Jahr 2009 – mit Hilfe der beiden installierten Wärmemengenzähler – eine detaillierte Aufnahme aller Energieverbrauchswerte durchgeführt, aus der sich nachfolgende EAV für den Zeitraum Januar bis November 2009 ergibt.



**Abbildung 35 Best-Case Kombinationsmaßnahme, EAV nach der Maßnahme [eigene Grafik]**

Aktuelle Verbräuche lassen sich aus dem nachfolgenden Energieausweis, welcher bereits im Kapitel 3.5 dargestellt wurde, entnehmen.

Aus dem daraus entwickelten Energieausweis lässt sich ein über mehrere Jahre ermittelter Endenergieverbrauch von durchschnittlich 53,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf den Brennwert ablesen. Im Vergleich zu anderen ausgewerteten Feldobjekten gleicher Baualtersklasse ist dieser Wärmeverbrauch ein überdurchschnittlich guter Wert und steht repräsentativ als Best-Case-Beispiel für eine gelungene umfassende Sanierung. Dieses Objekt zeigt, dass die Ausschöpfung der bestmöglichen Sanierungseffizienz realistisch und erreichbar ist, allerdings ein hohes Maß an Sorgfalt, sowie eine fachkundige Planung und Baubegleitung und damit eine durchgehende Qualitätssicherung benötigt.

### 6.2.7 Worst-Case Gesamtsystem

Ein Beispiel für die negativen Auswirkungen von fehlender Qualitätssicherung stellt eine Anlage in der Rellinger Straße in Hamburg im Stadtteil Eimsbüttel dar.

Das Mehrfamilienhaus mit insgesamt 36 Wohneinheiten verfügt über eine Gebäudenutzfläche von ca. 3.154 m<sup>2</sup> und wurde im Jahre 2010 bis 2011 erbaut. Die anfänglich geplante Belegung mit 72 Personen ist tatsächlich auf 90 Personen angestiegen. Erbaut wurde das Gebäude in Massivbauweise in Verbindung mit einem Wärmedämmverbundsystem. Der Ausbau entspricht einem gehobenen Standard.

Als Wärmeerzeuger ist ein Gasbrennwertkessel vom Typ Viessmann Vitocrossal 300 installiert. Der Leistungsbereich bei 80/60°C beträgt 43 bis 130 kW. Der Wasserinhalt liegt bei 110 Liter (0,85 l/kW) und ist damit vergleichsweise hoch.



**Abbildung 36 Gebäude Rellinger Straße, Hamburg [eigene Grafik]**

Ergänzt wird der Wärmeerzeuger um eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Die Kollektorfläche beträgt  $108 \text{ m}^2$  und ist als Vakuumröhrenkollektoren vom Typ Vitosol 200-T ausgeführt, die Richtung Süden auf dem Flachdach des Gebäudes ausgerichtet sind. Die Röhren sind auf etwa  $30^\circ$  Neigung eingestellt (um ihre waagerechte Achse gedreht).

Die erzeugte Wärme wird in sechs Pufferspeicher mit je 1000 Litern Inhalt gespeichert. Zwei der Puffer stehen im Aufstellraum des Kessels, die anderen 4 im Nachbarraum – der Solarzentrale. Die bei Stagnation der Solaranlage überschüssige Wärme wird über vier direkt in der Solarzentrale angebrachte Heizkörper als Notkühler an den Kellerraum abgegeben.

Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt mit einer Übergabestation von Danfoss, Typ Thermo-dual-MH-500-80 kW. Es sind zwei Wärmeübertrager für die Einbindung des Kessels und der Solaranlage vorhanden. Für Kleinanzapfmengen steht ein 500-Liter-Speicher zur Verfügung.

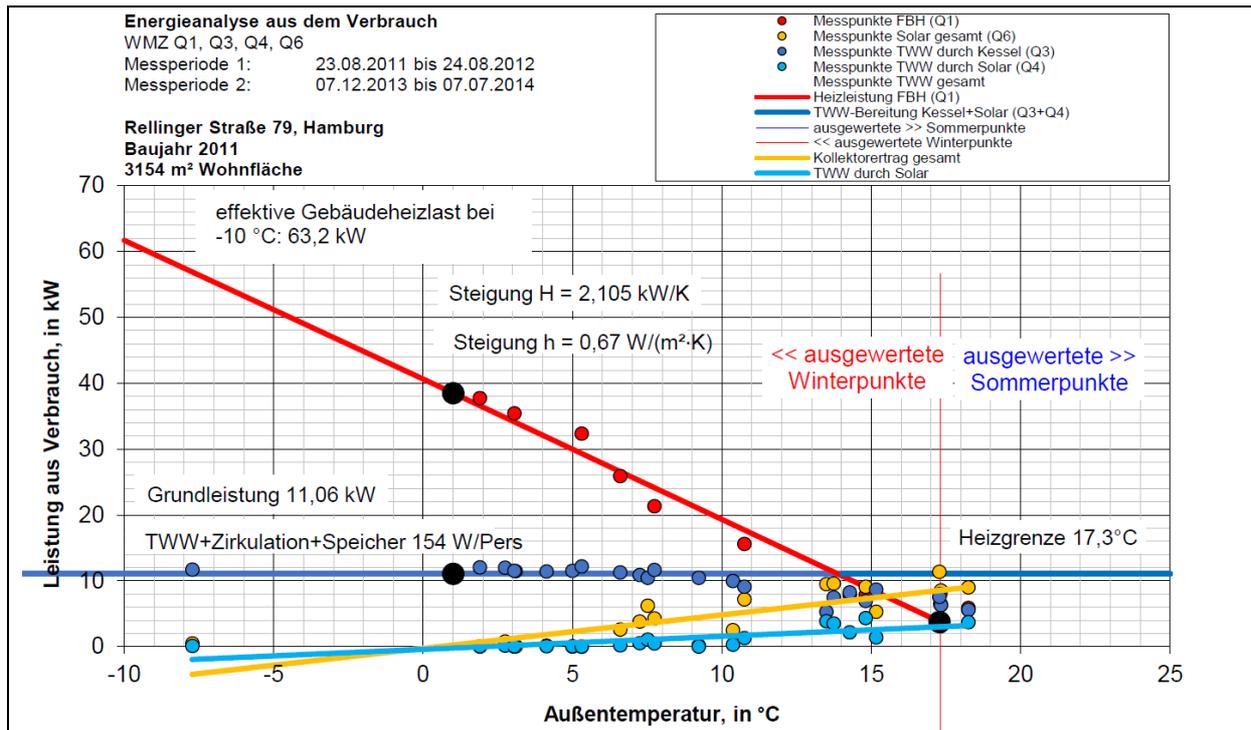
Die Regelung der Solaranlage erfolgt mit einer von Viessmann individuell programmierten Regelung, in die auch die Kesselregelung eingebunden ist.

In der Anlage sind sechs Wärmemengenzähler installiert: für die Raumheizung (WMZ 1), den solaren Beitrag zur Raumheizung (WMZ 2), die Warmwasserbereitung vom Kessel (WMZ 3), die Warmwasserbereitung von der Solaranlage (WMZ 4), die Wärmeabgabe des Kessels (WMZ 5) und den Kollektorkreisertrag (WMZ 6). Die Wärmeabgabe erfolgt über ein konventionelles Fußbodenheizungssystem.

Es wird bereits kurz nach Nutzungsbeginn ein auffällig hoher Gasverbrauch identifiziert. Messwerte der ersten Messphase für den Zeitraum 08/2011 bis 08/2012, sowie der zweiten Messphase von 12/2013 bis 07/2014 liefern nachfolgende EAV:

Der spezifische Wärmeverlust  $h$  des Gebäudes ist in Abhängigkeit der Steigung  $H$  ebenfalls leicht auf einen Wert von  $0,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  gesunken. Dies entspricht nach wie vor einem sehr guten Kennwert für die Gebäudehülle des Mehrfamilienhauses.

Die Heizgrenztemperatur liegt mit einem Wert von  $17,3^\circ\text{C}$  für einen Neubau allerdings zu hoch und lässt auf ein nicht energieeffizientes Verhalten der Nutzer bzw. auf die unzureichende Regelbarkeit des Fußbodenheizungssystems als Verursacher schließen.



**Abbildung 37 Worst-Case Gesamtsystem MFH, EAV über zwei Messperioden [eigene Grafik]**

Innerhalb der Messperiode 2011/2012 betrug die Grundlast zur TWW-Bereitung 10,8 kW, in der neuen Messperiode fällt sie mit 11,06 kW nur geringfügig höher aus. Diese Leistung enthält sämtliche Verluste der Verteilung, Speicherung und Zirkulation des Trinkwarmwassers und entspricht einem personenbezogenen Verbrauch von 154 W/Pers, der überdurchschnittlich hoch ist. In Anbetracht der Tatsache, dass es sich bei dem Objekt um einen Wohnbau mit gehobenem Standard und geringer Belegungsdichte handelt, überrascht der hohe TWW-Bedarf allerdings nicht.

Hinsichtlich der Solaranlage ist die genutzte Kollektorfläche von 108 m<sup>2</sup> überdimensioniert. Daneben fällt der Solarertrag unterdurchschnittlich für diesen Kollektortyp aus. Als Grund für den geringen Ertrag könnten das unzureichende hydraulische und regelungstechnische Konzept der Gesamtanlage, die hydraulische Verschaltung der einzelnen Kollektoren untereinander oder eine unzureichende Wärmedämmung der Kollektorkreisleitungen in Frage kommen.

Aus der EAV lässt sich entnehmen, dass die genutzte Solarwärme zur TWW-Bereitung für alle Messwerte immer unterhalb der vom Kollektor zur Verfügung gestellten Wärme liegt. Die Fläche zwischen der Ertragsgeraden des Kollektorfeldes (gelb) und dem Anteil des Warmwassers, das durch die Solaranlage erwärmt wird, entspricht aufgrund der faktisch nicht vorhandenen solaren Unterstützung des Fußbodenheizkreises direkt der Verlustwärmemenge, die ungenutzt durch Transmission von den Pufferspeichern in den Keller abgegeben wird. Darüber hinaus kann man erkennen, dass der Kessel auch im Sommer zur TWW-Bereitung eingesetzt wird, um diesen Bedarf zu decken.

Aus Analysen und Vor-Ort-Untersuchungen der Anlage ergeben sich folgende wesentliche Schwachstellen/ Mängel:

- Der Brennwertkessel ist um den Faktor 1,9 überdimensioniert: Der Kessel mit 134 kW Spitzenleistung wird durchschnittlich mit 25,1 kW genutzt. In der Heizperiode (Januar 2014) beträgt die durchschnittlich abgegebene Leistung 53,5 kW.
- Der Solarertrag für beide Messzeiträume wurde als sehr gering nachgewiesen, der versprochene solare Deckungsanteil an der Warmwasserbereitung wird deutlich nicht eingehalten.
- Kessel- und Solaranlagenregelung erfolgen über Viessmann-Regler, die Trinkwasserregelung ist unabhängig von der Solarkreisregelung erstellt (eigene Anlage). Es gibt keine übergeordnete Regelungsstrategie, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die einzelnen Regelungen ggf. gegeneinander arbeiten. Auf jeden Fall sind die Regelungsprozesse nicht aufeinander abgestimmt und führen damit maßgeblich zu einem ineffizienten Anlagenbetrieb.
- Wärmeenergieverteilung im Solarkreis merkwürdig:
  - Vorlauf- und Rücklauf des Heizkreises sowie der Solarpufferspeicher im Heizungskeller weisen ein gleiches Temperaturniveau auf, was vermutlich durch Installationsfehler (falsch eingebaute Rückschlagklappe) begründet werden kann.
  - Nachts haben die Kollektoren ein Temperaturniveau von etwa 30°C und geben damit Wärme aus dem System an die Umgebung ab.
- Zu Beginn der Untersuchungen wurden teilweise defekte Messtechnik sowie vertauschte Fühler im Heizkreis Fußbodenheizung und solarer Heizungsunterstützung identifiziert.
- Heizkessel taktet häufig und läuft nur für kurze Zeit
- Durchgehender Betrieb der Zirkulationspumpe

## 7 Fazit

Deutschland könnte bis 2020 jährlich mindestens 4,7 – 6,2 Tonnen CO<sub>2</sub> und unter der Annahme einer realistisch umsetzbaren erhöhten Modernisierungsrate zwischen 9,3 und 12,7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> zusätzlich einsparen. Notwendig ist hierzu die Forderung, geltende Qualitätsstandards bei der Planung und bei einer erhöhten Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen und begleitendes Monitoring konsequent anzuwenden. Langfristig könnte bis 2050 der oben angegebene Wert etwa verdoppelt werden, wenn im gesamten Gebäudebestand Best-Practice-Beispiele realisiert würden. Nachfolgend werden die Ursachen für mangelnde Sanierungswirkung zusammengefasst:

- Unzureichende Effizienz von Maßnahmen an der Gebäudehülle durch Nichtanpassung der Anlagentechnik der Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe sowie der Regelung nach der Sanierung: Höchstens jeder Dritte führt im Zuge der Sanierung einen hydraulischen Abgleich zusammen mit einer Heizungsoptimierung durch.
- Mangelnde Qualitätssicherung – keine Ausschöpfung der Beratungs- und Förderangebote: Nur jeder Dritte nimmt eine Energieberatung/ Maßnahmenbegleitung in Anspruch, weniger als die Hälfte (40%) nutzen Förderprogramme.
- Auch gesetzliche Anforderungen (EnEV-Vollzug) werden durch fehlende Begleitung unzureichend erfüllt und nicht ausreichend nachverfolgt.

Ein nachgeschaltetes Monitoring mit dem Werkzeug der EAV nach der Durchführung von Modernisierungsmaßnahmen weist nicht nur den Erfolg der Maßnahmen aus, sondern ermöglicht auch eine eventuell erforderliche und teilweise auch noch mögliche Nachjustierung.

### **Ergebnisse zur Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung zusammengefasst**

Bei den Maßnahmen "Dämmung der Gebäudehülle" und "Erneuerung des Wärmeerzeugers" können durch konsequente Qualitätssicherung bei der Umsetzung und mit einer Heizungsoptimierung und hydraulischem Abgleich zusätzlich ca. 25 bis 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) im Bereich Raumwärme und Warmwasserbereitung eingespart werden. (Dies betrifft Gebäude ab Baustandard 1977 bis hin zu Neubauten sowie modernisierte Gebäude aus älteren Baualtersklassen).

Im Einzelnen lassen sich durchschnittlich 15 bis 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizenergie im Bereich der Gebäudedämmung zusätzlich zu dem sowieso verminderten Heizenergieverbrauch realisieren, welcher mit den Sanierungsmaßnahmen oder im Neubau einhergeht. Dazu gehört wesentlich die Umsetzung einer Optimierung mit hydraulischem Abgleich. Bezüglich eines Kesseltausches im Zuge von Sanierungsmaßnahmen können darüber hinaus durchschnittlich 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizenergie durch vorgenannten Qualitätssicherungsmaßnahmen bei optimierter Wärmeerzeugerauswahl eingespart werden.

Ein Ergebnis zum Thema Heizkesselaustausch aus den statistischen Untersuchungen von co2-online bestätigt dies: das zusätzliche Einsparpotenzial bei einem Kesseltausch im Ein- bis Zweifamilienhaus, mit Qualitätssicherung bei der Umsetzung und hydraulischer Optimierung beträgt im Mittel 13 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Beispiele für die Gebäudehülle liegen noch nicht vor können jedoch aus mehreren Studien, auch nach dem OPTIMUS-Projekt, mit Werten zwischen 10 – 26 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben werden.

Bei den untersuchten Fallbeispielen liegt der gemessene Heizenergieverbrauch fast immer über den berechneten Bedarfswerten. Trotz umfangreicher Modernisierungen und weiterer Optimierungsmaßnahmen werden sich die notwendigen und realistisch erreichbaren Endenergieverbrauchswerte anstatt zwischen 60 (EFH/ZFH) und 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) (MFH) bei 100 bis 85 kWh/(m<sup>2</sup>a) einpendeln, wenn sich die heutigen Rahmenbedingungen des Modernisierungsmarkts nicht wie vorgeschlagen ändern.

Langfristig (2050) werden die Endenergien im Wesentlichen durch Erneuerbare Energien gedeckt werden müssen. Die CO<sub>2</sub>-Kennwerte in kg/(m<sup>2</sup>a) als Maßstab für die Wirkung zum Klimaschutz sind jedoch die tatsächliche Bewertungsgröße. 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) nicht ausgeschöpftes Einsparpotenzial durch nicht erfolgte Qualitätssicherung bedeutet allein für den Wohngebäudebestand Deutschlands langfristig ein zusätzliches jährliches Aufkommen von etwa 22 Mio. t CO<sub>2</sub>. Dies gilt ab sofort bei Einsatz von fossilen (heute noch fast 90% Anteil) aber auch bei Zunahme des Einsatzes von Biomasse-Energieträgern, wenn sie ein für Deutschland von IWU ermitteltes Biomassebudget von 30 bis 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) überschreiten.

Die Festsetzung eines Biomassebudgets ist erforderlich, damit keine für die Ernährung erforderlichen landwirtschaftlichen Flächen verdrängt werden. Jeder Zweite nutzt eine Zusatzheizung. Der Anteil an Heizenergie über Zusatzheizungen findet in bisherigen Statistiken zur Entwicklung des Heizenergieverbrauchs keine Berücksichtigung und sollte zukünftig darin Einzug halten.

Vor allem im Geschosswohnungsbau (MFH) werden die sich anbietenden Kommunikations- und Informationskanäle durch die Ausstellung unterschiedlicher Energieausweise (Bedarfs- versus Verbrauchsausweis) und durch die mangelnde Transparenz bei Modernisierungsvorhaben und damit verbundenen Erhöhungen der Mietbestandteile sowie durch komplizierte und schwer verständliche Heizkostenabrechnungen nicht oder nur unzureichend genutzt.

Die Projektpartner sehen die Hauptursachen für die ungenutzten Potenziale erfolgreicher Sanierungen in der heute noch teilweise "guten" Ausgangslage des sanierten Objekts, dem Nutzerverhalten, der falsche Einstellung der Heizregelungstechnik und einer nicht vorgenommenen Optimierung (hydraulischer Abgleich) der Wärmeverteilung.

Zu einer Steigerung des Sanierungserfolges können eine zukünftig geänderte Energieberatung vor und während des Vorhabens, im Bereich Qualitätssicherung, geschultes Handwerk und regelmäßiges Monitoring und Feedback (Erfolgsnachweise) wesentlich beitragen.

Für die Politik ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

- EnEV: Heizungsoptimierung mit hydraulischem Abgleich als bedingte Nachrüstungs-pflicht bei Veränderungen an der Wärmehülle oder -erzeugung sowie für Gebäude ab Geltungsbereich der 1. Wärmeschutzverordnung 1978 und für den Neubau in der EnEV verankern,
- Energieeffizienzgesetz/Energiewendegesetz: Zusammenführung von EnEV und EEWärmeG sowie eine Umstellung der umweltrelevante Bewertung von Primärenergiebedarf auf Endenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen,
- Energieberatung 2.0: Qualitätssicherung als fester Bestandteil der Aus- und Weiterbildung im Handwerk und in der Energieberatung,
- Mietrechtsnovelle: Klimaschutz sozial verträglich gestalten,
- EU-Ökodesign-Richtlinie, Revision 2018: Werkseitiger Einbau von Wärmemengenzählern in Heizkessel,
- EED-Umsetzung: Flächendeckende Einführung von Smart Metern für Erdgas und Fernwärme als Voraussetzung für ein automatisches Monitoring in einer von der EU vorgeschriebenen Energieeffizienz-Richtlinie,
- KfW/BAFA: Förderinstrumente mit Erfolgsnachweis verknüpfen / den Einbau von Wärmemengenzählern fördern und fordern,
- mit zielgruppendifferenzierter Kommunikation Nachfrage nach Beratungs- und Förderangeboten steigern,
- Handwerker, Planer und alle beteiligten Akteure sowie potenzielle Modernisierer für das Thema Erfolgskontrolle sensibilisieren.

## Literaturverzeichnis

- [1] Agentur für Erneuerbare Energien: Strommix in Deutschland 2014;  
<http://www.unendlich-viel-energie.de/strommix-deutschland-2014>  
Abruf Datum 8.7.2015
- [2] Auer, F. Agenda-Gruppe Lahr: Feldtests Wärmepumpen; Lahr; 2014.  
<http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html>  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [3] Barthel, Cl., et al: Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen; Kurzfassung; Studie im Auftrag der EON.AG; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; Wuppertal; 2006.  
(<http://wupperinst.org/projekte/details/wi/p/s/pd/134/>)  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [4] Beer, M. et al: CO<sub>2</sub>-Verminderung in Deutschland; Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) München: 2009.  
[https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE\\_CO2-Endbericht\\_komplett.pdf](https://www.ffe.de/download/langberichte/FfE_CO2-Endbericht_komplett.pdf)  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [5] Bettgenhäuser, K. und Boermans, T.: Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland, Umweltbundesamt, 02/2011.  
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltwirkung-von-heizungssystemen-in-deutschland>  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [6] BMUB (Hrsg.): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020,  
<http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/aktionsprogramm-klimaschutz-2020/>  
Abruf Datum: 13.7.2015
- [7] BMVBS (Hrsg.): Ergänzungsuntersuchung zur Fortentwicklung des Ansatzes "EnEV easy". Neuberechnungen gemäß Anforderungsniveau des Referentenentwurfs der Energieeinsparverordnung vom 15. Oktober 2012. BMVBS-Online-Publikation; 29/2012.
- [8] BMVBS (Hrsg.): Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit; BMVBS-Online-Publikation; 05/2012.
- [9] BMWI: Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende – Langfassung; Berlin; Dezember 2014.  
<http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=672424.html>  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [10] BMWI: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand,  
<http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=676178.html>  
Abruf Datum: 13.7.2015
- [11] Brandes, J. et al: Stadtsanierung – Ist KWK sinnvoll?; TGA Fachplaner; Nr. 01/2014; Gentner; Stuttgart; 2014.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kwk\\_bewertung\\_2013.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kwk_bewertung_2013.pdf)  
Abruf Datum: 14.12.2014
- [12] co2online; "Energiesparkonto";  
<https://www.energiesparkonto.de/index.php?cmd=esk.landingPage&action=default>  
Abruf Datum: 13.7.2015
- [13] dena-Gebäudereport 2012  
[http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb\\_udereport\\_2012\\_web?e=0](http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb_udereport_2012_web?e=0)  
Abruf Datum: 13.7.2015
- [14] Diefenbach, N., T. Loga und R. Born: Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2005.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/neh\\_ph/NEH\\_Waermeversorgung-Forschungsbericht.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/neh_ph/NEH_Waermeversorgung-Forschungsbericht.pdf)  
Abruf Datum: 14.12.2014

- [15] Drieschner, F.: Schmutziger Irrtum; ZEIT ONLINE.  
<http://www.zeit.de/2014/50/schmutziger-irrtum-energiewende-klimawandel>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [16] Eikenloff, G. et al: Verteilnetze bei der Modernisierung; Studie der Ostfalia für pro-Klima Hannover; Wolfenbüttel; 2012.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht\\_proKlima\\_verteilnetze.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht_proKlima_verteilnetze.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [17] Enseling, A. et al: Wirtschaftlichkeit energetischer Gebäudesanierung; Studie des Instituts Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2013.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/sonstiges/IWU\\_Anmerkungen\\_Wirtschaftlichkeit.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/sonstiges/IWU_Anmerkungen_Wirtschaftlichkeit.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [18] Hengstenberg, J. und D. Wolff: Energiepolitik mit Erfolgswachweis; TGA Fachplaner; Nr. 03/2013; Gentner; Stuttgart; 2013.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/energiepolitik\\_erfolgswachweis\\_2013.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/energiepolitik_erfolgswachweis_2013.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [19] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Gebäude; BMVBS-Online-Publikation 07-2012; Studie des Instituts Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2013.  
[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_1174880/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON072012.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_1174880/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON072012.html)  
 Abruf Datum 14.12.14
- [20] IWU o. Verfasser; Flyer: Häusersparsamer als verlangt – Investive Mehrkosten bei Neubau und Sanierung – Einfamilienhäuser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2014;  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/flyer/Mehrkosten\\_geg\\_EnEV\\_EFH\\_End.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/flyer/Mehrkosten_geg_EnEV_EFH_End.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [21] IWU o. Verfasser; Flyer: Häusersparsamer als verlangt – Investive Mehrkosten bei Neubau und Sanierung – Einfamilienhäuser; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt; 2014.  
[http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/flyer/Mehrkosten\\_geg\\_EnEV\\_MFH\\_End.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/flyer/Mehrkosten_geg_EnEV_MFH_End.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [22] IWU – Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden,  
[http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf)  
 Abruf Datum: 8.7.2015
- [23] Jagnow, K. et al: Solare Fehleinschätzung – Ergebnisse der Projektstudie Solarthermie im Feld Teil 1: GEB: Nr. 03/2013; Gentner; Stuttgart; 2013.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/solarthermie\\_im\\_feld\\_teil1.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/solarthermie_im_feld_teil1.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014

- [24] Jagnow, K. et al: Solare Fehleinschätzung – Ergebnisse der Projektstudie Solarthermie im Feld Teil 2: GEB: Nr. 03/2013; Gentner; Stuttgart; 2013.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/solarthermie\\_im\\_feld\\_teil2.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/solarthermie_im_feld_teil2.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [25] Jagnow, K. et al: Vereinfachung des Berechnungsverfahrens von Rohleitungslängen für eine Fortschreibung der DIN V 18599 Teile 5 und 8; Studie im Auftrag BBSR und BMVBS; 2010.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht\\_bbsr\\_leitungslaengen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht_bbsr_leitungslaengen.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [26] Jagnow, K. und D. Wolff: Auswertung von Verbrauchswerten; Handlungsanleitung für Energieberater. Wolfenbüttel; 2006.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Auswertung\\_von\\_Verbrauchswerten.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Auswertung_von_Verbrauchswerten.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [27] Jagnow, K. und D. Wolff: EAV: Energieanalyse aus dem Verbrauch Teil 1; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse\\_teil\\_1.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse_teil_1.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [28] Jagnow, K. und D. Wolff: EAV: Energieanalyse aus dem Verbrauch Teil 2; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse\\_teil\\_2.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse_teil_2.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [29] Jagnow, K. und Wolff, D.: Die EnEV 2012/2002 – Warum so kleine Schritte?; Manuskript Der Energieberater; Köln; 2001.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kommentar\\_zur\\_enev.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kommentar_zur_enev.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [30] Jagnow, K. und Wolff, D.: EnEV-Arbeitsentwurf auf dem Holzweg; TGA Fachplaner; Gentner; Stuttgart; 2012.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/enev\\_auf\\_dem\\_holzweg\\_2012.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/enev_auf_dem_holzweg_2012.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [31] Jagnow, K. und Wolff, D.; Modernisierungskonzept für ein Mehrfamilienhaus in Braunschweig; Books on Demand; Norderstedt; 2007.  
[http://www.delta-q.de/cms/de/archiv\\_veroeffentlichungen/buch\\_beratungsbericht.html](http://www.delta-q.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/buch_beratungsbericht.html)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [32] Jagnow, K., Wolff, D. et al; "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; DBU-Projekt; Abschlussbericht in mehreren Teilen; Wolfenbüttel; November 2008.  
[http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu\\_neuerkerode.html](http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_neuerkerode.html)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [33] Jagnow, K.: Große Einsparpotentiale durch Qualitätssicherung; Manuskript; 2003.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/artikel\\_zu\\_bbr.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/artikel_zu_bbr.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014

- [34] Jagnow, K.: Verfahren zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Heizungsanlagentechnik; Dissertation an der Universität Dortmund; 2004.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/dissertation\\_kati\\_jagnow.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/dissertation_kati_jagnow.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [35] Jagnow, K., Wolff, D.; "Wirtschaftlichkeitsbewertung von Energieeinsparmaßnahmen";  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/wirtschaftlichkeit\\_lesetext.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/wirtschaftlichkeit_lesetext.pdf)  
 Abruf Datum 13.7.2015
- [36] Miara, M. et al; Wärmepumpen Effizienz; Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb; Endbericht; Fraunhofer ISE; Freiburg; 2011
- [37] Miara, M. et al; Wärmepumpenmonitor; Feldmessungen von Wärmepumpenanlagen; Abschlussbericht; Fraunhofer ISE, 07/2013.
- [38] Michelsen, Cl. Et al: Wärmemonitor 2013: Gesunkener Heizenergiebedarf, gestiegene Kosten; DIW-Wochenbericht 41/2014.  
[http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.484244.de/14-41-1.pdf](http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.484244.de/14-41-1.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [39] Pfläging, N.: Niels Pfläging im Interview: Ziele werden maßlos überschätzt; BRAND EINS; 06/2010.  
<http://www.brandeins.de/archiv/2010/auf-sicht/ziele-werden-masslos-ueberschaetzt/>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [40] Schlobach, M.; Hydraulischer Abgleich – Kosten berechnen; Internetblog, Haustechnik verstehen,  
<http://www.haustechnikverstehen.de/hydraulischer-abgleich-kosten-berechnen/>  
 Abruf Datum: 13.7.2015
- [41] Schulze-Darup, B. et al: Ecofys – Preisentwicklung Gebäudeenergieeffizienz – Initialstudie – Berlin; 2014.  
<https://deneffev.app.box.com/Preisstudie>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [42] Techem: Energiekennwerte 2014: Das Wichtigste in Kürze; Eschborn; 2014.  
[http://www.techem.de/fileadmin/public/pdf/PDF\\_DE/2014\\_energiekennwerte\\_das\\_wichtigste\\_in\\_kuerze.pdf](http://www.techem.de/fileadmin/public/pdf/PDF_DE/2014_energiekennwerte_das_wichtigste_in_kuerze.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [43] Uken, M.: E.on's Ausstieg Radikalausstieg ist riskant; ZEIT online; 2014.  
<http://www.zeit.de/wirtschaft/2014-12/eon-kohle-gas>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [44] VdZ; "Gebäudesanierungsfahrplan – Diskussionspapier der VdZ",  
<http://www.gebaeudesanierungsfahrplan.de/>  
 Abruf Datum: 13.7.2015
- [45] Vorländer, J.; Es kann nur einen geben – Energieausweis mit Verbrauch und Bedarf; TGA Fachplaner; Nr. 04/2005; Gentner; Stuttgart; 2005.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/energiepass\\_tgafp\\_04\\_05.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/energiepass_tgafp_04_05.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014

- [46] Wolff, D. / Budde, J. / Teuber, P. / Jagnow, K.; Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Brennwärtekesseln; Abschlussbericht zum DBU Projekt; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel; 2003.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/bericht\\_cd.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/bericht_cd.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [47] Wolff, D. et al: Felduntersuchungen zur Begrenzung des natürlichen und erzwungenen Transmissions- und Lüftungswärmeverlusts durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen: Forschungsbericht im Auftrag des BMVBS; Wolfenbüttel; 2002.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht\\_bbr.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht_bbr.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [48] Wolff, D. et al; Analyse des Energieverbrauches von Mehrfamilienhäusern am Kronsberg in Hannover anhand monatlicher Messdaten; Institut für Heizungs- und Klimatechnik; Wolfenbüttel; 2005.  
<http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kukaedition7.pdf>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [49] Wolff, D. et al; OPTIKON; Abschlussbericht; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Institut für Heizungs- und Klimatechnik; Wolfenbüttel; 2002
- [50] Wolff, D. und Jagnow, K.; EAV - Energieanalyse aus dem Verbrauch; TGA Fachplaner; Nr. 09/2004 und 10/2004; Gentner; Stuttgart; 2004.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse\\_teil\\_1.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse_teil_1.pdf)  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse\\_teil\\_2.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/verbrauchsanalyse_teil_2.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [51] Wolff, D. und Jagnow, K.; Optimus; Abschlussbericht zum DBU Projekt – Technischer Teil; Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; Wolfenbüttel; 2005.  
[http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu\\_optimus.html#bericht](http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_optimus.html#bericht)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [52] Wolff, D. und Jagnow, K.; Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung; Braunschweig, Wolfenbüttel; 2011.  
<http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/fernwaermestudie.pdf>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [53] Wolff, D. und K. Jagnow: Umsetzungsprojekt Neuerkerode - Abschlussbericht; Projekt gefördert durch die DBU; Wolfenbüttel; 2013.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Kurzbericht\\_Umsetzungsprojekt.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Kurzbericht_Umsetzungsprojekt.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [54] Wolff, D., Deidert, J. et al; Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen; Forschungsprojekt BMU; Endbericht;; Wolfenbüttel; 2012.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Endbericht\\_T1\\_Feldanlagen.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/Endbericht_T1_Feldanlagen.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014

- [55] Wolff, D., Jagnow, K., Ullrich, C. und Halper, C.; Felduntersuchungen zur Begrenzung des Lüftungswärmeverbrauchs bei mechanischer Wohnungslüftung und Fensterlüftung durch Nutzerinformation sowie durch heiz- und regelungstechnische Maßnahmen; BBR Forschungsvorhaben; Endbericht; Institut für Heizungs- und Klimatechnik an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel; 2002.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht\\_bbr.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/endbericht_bbr.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [56] Wolff, D.: Abschlussbericht: Effizienz und erneuerbare Energien: Akzeptanz- und Motivationskampagne Hydraulischer Abgleich; Wolfenbüttel; 2014.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/PtJ\\_HA-Kampagne\\_Abschlussbericht\\_Ostfalia.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/PtJ_HA-Kampagne_Abschlussbericht_Ostfalia.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [57] Wolff, D.: Energetische Modernisierung – Schwerpunkt Wohnungswirtschaft; VdW-magazin; Hannover; 2011.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/vdw\\_wohnungswirtschaft.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/vdw_wohnungswirtschaft.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [58] Wolff, D.: Erfolgskontrolle sollte Pflicht sein; TGA Fachplaner; Nr. 09/2011; Gentner; Stuttgart; 2004.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/erfolgskontrolle\\_2011.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/erfolgskontrolle_2011.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [59] Wolff, D.: Standard Angebot oder Top-Level-Modernisierung; Fachjournal 2006/2007.  
[http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/ehrliche\\_bewertung\\_2007.pdf](http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/ehrliche_bewertung_2007.pdf)  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [60] Wolff, D. et al.; "BMUB- Studie zur Wirkungsanalyse von Sanierungsmaßnahmen, Zwischenbericht lang 2014"
- [61] Wolff, D., et al.; Stadtsanierung – Ist KWK sinnvoll?; TGA-Fachplaner Nr. 01/2014; Gentner; Stuttgart; 2004.  
[https://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kwk\\_bewertung\\_2013.pdf](https://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/kwk_bewertung_2013.pdf)  
 Abruf Datum 13.7.2015
- [62] Wuppertal-Institut: Entwicklung des Energieverbrauchs für Deutschland; Meta-Analyse Forschungsradar Energiewende der Agentur für Erneuerbare Energien; Dezember 2014.  
<http://www.forschungsradar.de/service/nachrichten/einzelansicht/news/metaanalyse-vergleicht-prognosen-zum-energieverbrauch-in-deutschland.html>  
 Abruf Datum: 14.12.2014
- [63] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013.

# 8 Anhänge

## A1 Energieausweise für EFH Albertstraße/ Braunschweig

**Verbrauchsausweis**
**2013**

**Albertstraße 3**  
**38124 Braunschweig**  
Wohn-/Bürogebäude

Fläche: **211,2 m<sup>2</sup>**  
Personen: **2 P**  
Baujahr: 1900  
Modernisierung: 2008

	von	bis	f <sub>Klima</sub>
①	01.01.11 -	31.01.11	1,185
②	01.01.12 -	31.12.12	1,075
③	01.01.13 -	31.12.13	1,013

**Wärmeverbrauch**      Energieträger: Erdgas      Werte brennwertbezogen

↓ 54,0 kWh/m²a

↑ Ø D

	kWh	kWh/(m²a)	kWh/(Pa)
①	11.912	56,4	5.956
②	10.776	51,0	5.388
③	10.944	51,8	5.472
Ø Messzeit	11.211	53,1	5.605
Ø Langzeit	<b>11.413</b>	<b>54,0</b>	<b>5.707</b>

**Energieanalyse aus dem Verbrauch**

**EAV Gebäude**

**EAV Erzeuger**

**Stromverbrauch**

↓ 1036 kWh/Pa

↑ Ø D

	kWh	kWh/(m²a)	kWh/(Pa)
①	2.020	9,6	1.010
②	2.150	10,2	1.075
③	2.045	9,7	1.023
Ø Messzeit	2.072	9,8	1.036
Ø Langzeit	<b>2.072</b>	<b>9,8</b>	<b>1.036</b>

**Wasserverbrauch**

↓ 97 l/Pd

↑ Ø D

	m³	m³/(m²a)	l/(P d)
①	66,9	0,32	92
②	71,1	0,34	97
③	74,0	0,35	101
Ø Messzeit	70,7	0,33	97
Ø Langzeit	<b>70,7</b>	<b>0,33</b>	<b>97</b>

**CO<sub>2</sub>-Emissionen für Wärme- und Stromverbrauch**

Ø Langzeit	3711 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{a}}$	17,6 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^2\text{a}}$	<b>1,86</b> $\frac{\text{t CO}_2}{\text{Pa}}$
------------	--	--	---

Albertstraße 3  
38124 Braunschweig  
Wohn-/Bürogebäude

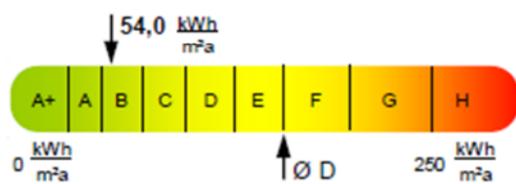
Fläche: 211,2 m<sup>2</sup>  
Personen: 2 P  
Baujahr: 1900  
Modernisierung: 2008

	von	bis	f <sub>Klima</sub>
①	01.01.11 -	31.01.11	1,185
②	01.01.12 -	31.12.12	1,075
③	01.01.13 -	31.12.13	1,013

## Wärmeverbrauch

Energieträger: Erdgas

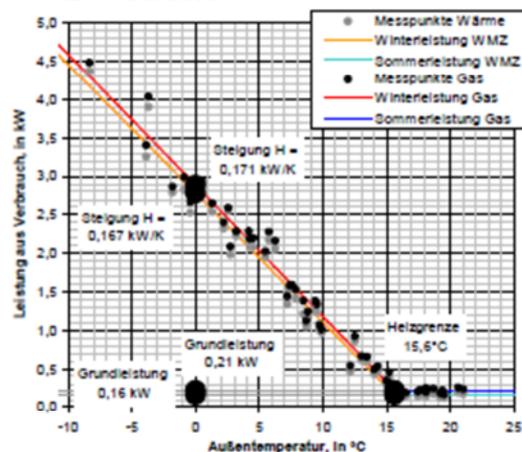
Werte brennwertbezogen



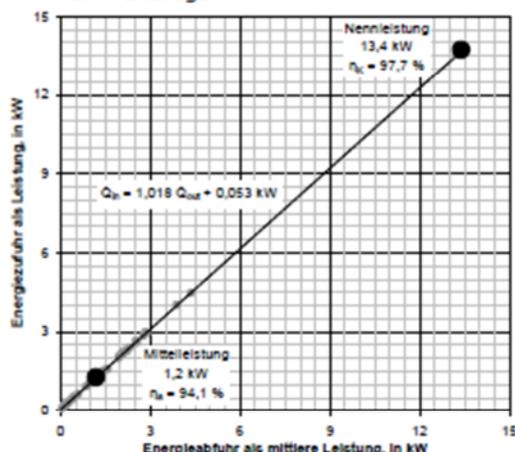
	kWh	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(Pa)
①	11.912	56,4	5.956
②	10.776	51,0	5.388
③	10.944	51,8	5.472
Ø Messzeit	11.211	53,1	5.605
Ø Langzeit	11.413	54,0	5.707

## Energieanalyse aus dem Verbrauch

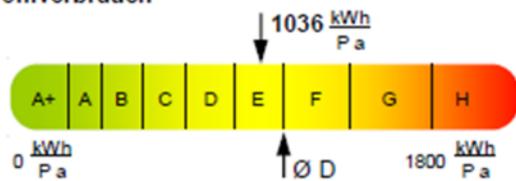
## EAV Gebäude



## EAV Erzeuger

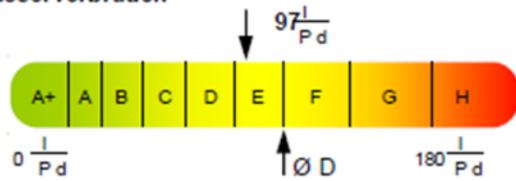


## Stromverbrauch



	kWh	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(Pa)
①	2.020	9,6	1.010
②	2.150	10,2	1.075
③	2.045	9,7	1.023
Ø Messzeit	2.072	9,8	1.036
Ø Langzeit	2.072	9,8	1.036

## Wasserverbrauch



	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> a)	l/(P d)
①	66,9	0,32	92
②	71,1	0,34	97
③	74,0	0,35	101
Ø Messzeit	70,7	0,33	97
Ø Langzeit	70,7	0,33	97

CO<sub>2</sub>-Emissionen für

## Wärme- und Stromverbrauch

Ø Langzeit	3711	kg CO <sub>2</sub> /a	17,6	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> a	1,86	t CO <sub>2</sub> /Pa
------------	------	-----------------------	------	--------------------------------------	------	-----------------------

## A2 Anwendungsbeispiel Sanierungswegweiser

Am nachfolgenden Beispiel von zwei Mehrfamilienhäusern in Burgdorf / Hannover soll das Vorgehen einer schrittweisen und strukturierten Sanierung dargestellt werden, so wie es auch durch den Wegweiser beschrieben wird:

Bei der Feldanlage Liebermannstraße 5/7 und 9/11 in Burgdorf handelt es sich um zwei baugleich errichtete Mehrfamilienhäuser in der Region Hannover aus dem Baujahr 1964/1965. In der Liebermannstraße 5/7 wurde 1985 zusätzlich das Dachgeschoss ausgebaut, dadurch vergrößerte sich die Wohnfläche in diesem MFH auf 764 m<sup>2</sup>, die sich auf 14 Wohneinheiten aufteilen. Die Wohnfläche der Liebermannstraße 9/11 beträgt 664 m<sup>2</sup>, welche sich in 12 Wohneinheiten gliedern.

Bis 1981 wurden beide MFH mit Heizöl beheizt, darauffolgend wurde die Energieversorgung auf Erdgas umgestellt. Die Wärmebereitstellung erfolgt seit der Errichtung der MFH zentral aus einer Heizzentrale im Keller, in der sowohl Heizwärme als auch Trinkwarmwasser erzeugt werden. In beiden Häusern kommt seit 2007 ein Gasbrennwertkessel mit einer modulierenden Leistung von 18,9–84,5 kW zum Einsatz.

Weitere Informationen zur Gebäudesubstanz lassen sich aus den Steckbriefen in Abbildung 38 und Abbildung 39 entnehmen.

Anlagensteckbrief Liebermannstraße 5,7					
	<b>Adresse:</b> Liebermannstraße 5,7 31303 Burgdorf <b>Nutzung:</b> Mehrfamilienhaus <b>Baujahr:</b> 1964 <b>Wohnfläche:</b> 763,66 m <sup>2</sup> <b>Wohneinheiten:</b> 14 WE <b>Bewohner:</b> 21 P <b>Messstellen:</b> Gaszähler, 2x Kaltwasserzähler WMZ für die TWW-Bereitung & Raumheizung <b>Messzeitraum:</b> 01.12.2013 - 01.01.2015				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Allgemeine Anlagendaten</th> <th>Wärmeerzeuger</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserbereitung (TWW)  <input checked="" type="checkbox"/> Raumheizung (RH)  <input type="checkbox"/> Raumlufttechnische Anlage  <input type="checkbox"/> Nahwärmenetz  <input checked="" type="checkbox"/> Zirkulation                 </td> <td> <b>Typ:</b> wandhängender Brennwert-Kessel  <b>Energieträger:</b> Erdgas  <b>Fabrikat:</b> Buderus Logamax Plus GB162-80 G25 (Bj. 2007)  <b>Nennleistung:</b> 19,3 - 82 kW  <b>Wirkungsgrad:</b> 98,8%      <b>Nutzungsgrad:</b> 84,6%                 </td> </tr> </tbody> </table>	Allgemeine Anlagendaten	Wärmeerzeuger	<input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserbereitung (TWW) <input checked="" type="checkbox"/> Raumheizung (RH) <input type="checkbox"/> Raumlufttechnische Anlage <input type="checkbox"/> Nahwärmenetz <input checked="" type="checkbox"/> Zirkulation	<b>Typ:</b> wandhängender Brennwert-Kessel <b>Energieträger:</b> Erdgas <b>Fabrikat:</b> Buderus Logamax Plus GB162-80 G25 (Bj. 2007) <b>Nennleistung:</b> 19,3 - 82 kW <b>Wirkungsgrad:</b> 98,8% <b>Nutzungsgrad:</b> 84,6%
Allgemeine Anlagendaten	Wärmeerzeuger				
<input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserbereitung (TWW) <input checked="" type="checkbox"/> Raumheizung (RH) <input type="checkbox"/> Raumlufttechnische Anlage <input type="checkbox"/> Nahwärmenetz <input checked="" type="checkbox"/> Zirkulation	<b>Typ:</b> wandhängender Brennwert-Kessel <b>Energieträger:</b> Erdgas <b>Fabrikat:</b> Buderus Logamax Plus GB162-80 G25 (Bj. 2007) <b>Nennleistung:</b> 19,3 - 82 kW <b>Wirkungsgrad:</b> 98,8% <b>Nutzungsgrad:</b> 84,6%				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Art der Trinkwarmwasserbereitung</th> <th>Gebäudehülle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <input type="checkbox"/> Durchlaufwasserheizer  <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserspeicher  <input type="checkbox"/> Wohnungsstation  <input type="checkbox"/> Frischwasserstation                 </td> <td> <b>Fassadendämmung:</b> 5 cm WDVS (außer Westfassade)  <b>Oberste Geschossdämmung:</b> 10 cm Zwischensparrendämmung  <b>Kellerdeckendämmung:</b> nicht vorhanden  <b>Fensterqualität:</b> 2-Scheiben-Isolierglas, Kunststoffrahmen                 </td> </tr> </tbody> </table>	Art der Trinkwarmwasserbereitung	Gebäudehülle	<input type="checkbox"/> Durchlaufwasserheizer <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserspeicher <input type="checkbox"/> Wohnungsstation <input type="checkbox"/> Frischwasserstation	<b>Fassadendämmung:</b> 5 cm WDVS (außer Westfassade) <b>Oberste Geschossdämmung:</b> 10 cm Zwischensparrendämmung <b>Kellerdeckendämmung:</b> nicht vorhanden <b>Fensterqualität:</b> 2-Scheiben-Isolierglas, Kunststoffrahmen	
Art der Trinkwarmwasserbereitung	Gebäudehülle				
<input type="checkbox"/> Durchlaufwasserheizer <input checked="" type="checkbox"/> Trinkwarmwasserspeicher <input type="checkbox"/> Wohnungsstation <input type="checkbox"/> Frischwasserstation	<b>Fassadendämmung:</b> 5 cm WDVS (außer Westfassade) <b>Oberste Geschossdämmung:</b> 10 cm Zwischensparrendämmung <b>Kellerdeckendämmung:</b> nicht vorhanden <b>Fensterqualität:</b> 2-Scheiben-Isolierglas, Kunststoffrahmen				

Abbildung 38 Anlagensteckbrief Liebermannstraße 5/7 [eigene Grafik]

## Anlagensteckbrief Liebermannstraße 9,11



<b>Adresse:</b>	Liebermannstraße 9,11 31303 Burgdorf
<b>Nutzung:</b>	Mehrfamilienhaus
<b>Baujahr:</b>	1965
<b>Wohnfläche:</b>	663,66 m <sup>2</sup>
<b>Wohneinheiten:</b>	12 WE
<b>Bewohner:</b>	18 P
<b>Messstellen:</b>	Gaszähler, 2x Kaltwasserzähler, Stromzähler WMZ für Raumheizung
<b>Messzeitraum:</b>	01.12.2013 - 01.01.2015

### Allgemeine Anlagendaten

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

### Wärmeerzeuger

<b>Typ:</b>	wandhängender Brennwert-Kessel
<b>Energieträger:</b>	Erdgas
<b>Fabrikat:</b>	Buderus Logamax Plus GB162-80 G25 (Bj. 2007)
<b>Nennleistung:</b>	19,3 - 82 kW
<b>Wirkungsgrad:</b>	98,8% <b>Nutzungsgrad:</b> 76,9%

### Art der Trinkwarmwasserbereitung

- Durchlaufwasserheizer
- Trinkwarmwasserspeicher
- Wohnungsstation
- Frischwasserstation

### Gebäudehülle

<b>Fassadendämmung:</b>	5 cm WDVS (außer Westfassade)
<b>Oberste Geschossdämmung:</b>	10 cm Dachbodendämmung
<b>Kellerdeckendämmung:</b>	nicht vorhanden
<b>Fensterqualität:</b>	2-Scheiben-Isolierglas, Kunststoffrahmen

Abbildung 39 Anlagensteckbrief Liebermannstraße 9/11 [eigene Grafik]

Die Anlagentechnik ist abgesehen von der Messtechnik annähernd identisch in beiden Gebäuden. Für die Trinkwarmwasserbereitung stehen jeweils zwei liegende Speicher mit einem Gesamtvolumen von 400 Litern und Zirkulationsanschluss zur Verfügung. Die Versorgung der Heizkörper erfolgt aus dem Kellergeschoss, die Anschlussleitungen werden strangweise zu den übereinander angeordneten Heizflächen geführt. Heizkreis und Kesselkreis sind durch eine hydraulische Weiche voneinander entkoppelt.

Es wurde seit der Errichtung der Gebäude die jeweiligen Wasserverbräuche, Gasmengen und Wärmemengen manuell erfasst. Seit der Umstellung der Brennstoffversorgung liegen Jahresgasverbräuche vor, die einen Rückschluss auf durchgeführte Maßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik zulassen.

Im Zuge der energetischen Bewertung wurden die Gasverbräuche zunächst witterungskorrigiert um die Wirkung einzelner Maßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik zu rekonstruieren. Zur Abschätzung des anteiligen Endenergieaufwands der TWW-Bereitung wurde der Ansatz nach Heizkostenverordnung § 9 Absatz 2 gewählt. Dementsprechend werden die parallel erfassten Jahresverbräuche des jeweiligen Kaltwasserzählers herangezogen, der ausschließlich der Speisung des Warmwasserspeichers dient.

Seit dem 01.01.2014 erfolgt die Verbrauchserfassung in beiden MFH in monatlichen Intervallen. Es wurden Wärmemengenzähler in der TWW-Bereitung und im Heizkreis nachgerüstet, sodass die aufgewendeten Anteile für Raumwärme, Trinkwarmwasser und Erzeugerverluste einzeln bewertet werden können.

Darüber hinaus wurde mit Hilfe der monatlich erfassten Gasverbräuche eine Energieanalyse aus dem Verbrauch (EAV) für das Gebäude erstellt. Da die WMZ für die Heizkreise der Raumwärmeverteilung erst Mitte 2014 eingebaut wurden, wurde die Gebäude-EAV behelfsmäßig mit den Endenergieeinsätzen an Erdgas erstellt. Die rote Gerade der Steigung H bildet demnach in dieser Darstellung den Endenergieeinsatz an Erdgas ab. Die beiden Analysen sind nachfolgend in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellt:

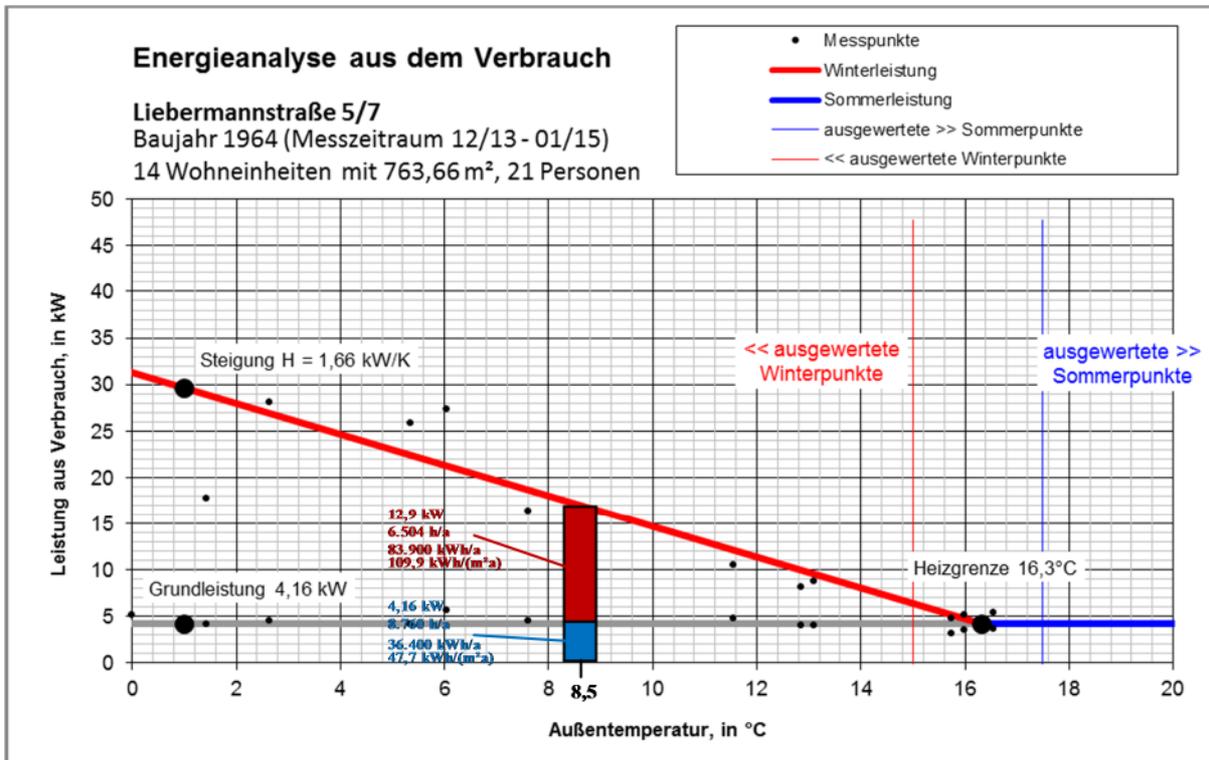


Abbildung 40 Gebäude-EAV Liebermannstraße 5/7 [eigene Grafik]

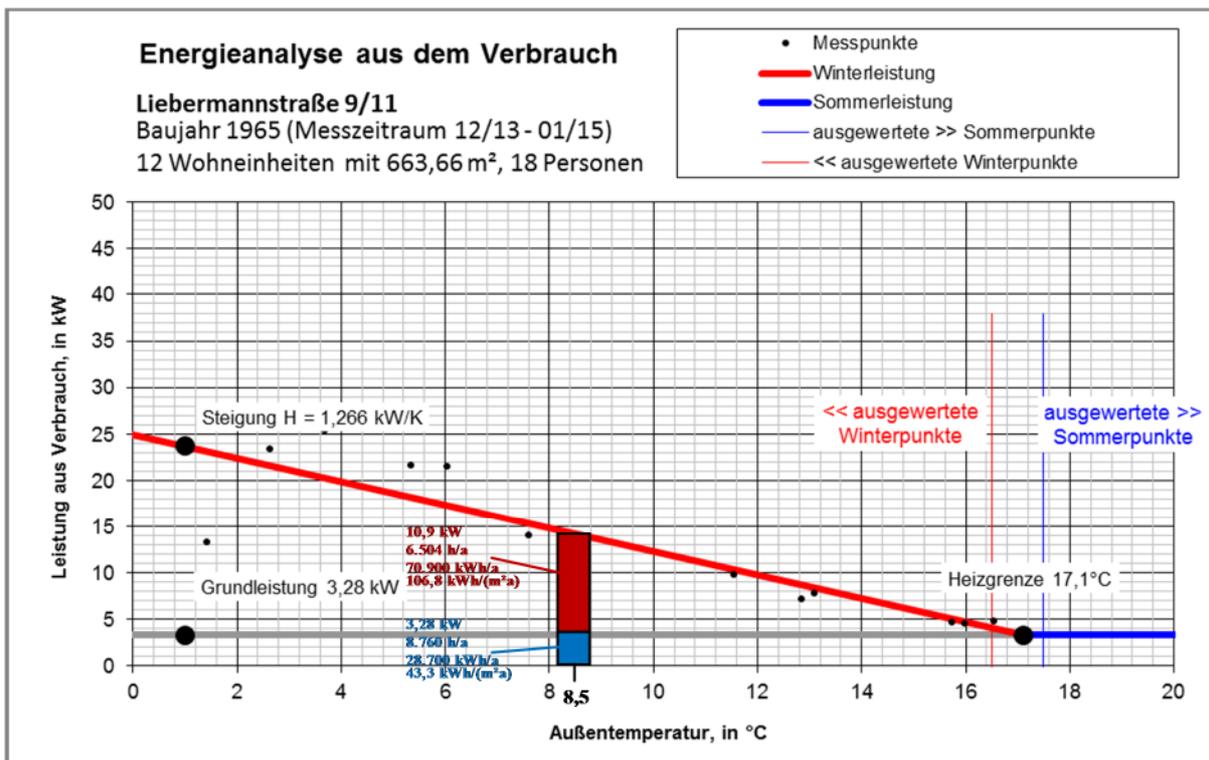


Abbildung 41 Gebäude-EAV Liebermannstraße 9/11 [eigene Grafik]

	Liebermannstraße 5/7	Liebermannstraße 9/11
Heizgrenztemperatur	16,3 °C	17,1
Steigung H	1,660 kW/K	1,266 kW/K
Steigung h	2,174 W/(m <sup>2</sup> K)	1,908 W/(m <sup>2</sup> K)
Effektive Gebäudeheizlast bei -14 °C	56,4 kW	43,0 kW
Mittlere Heizleistung in der Heizperiode bei $\vartheta_{a,HP,m}=8,5^{\circ}\text{C}$	12,5 kW	10,9 kW
Grundleistung der zentralen TWW-Bereitung	4,16 kW	3,28 kW
Jahresendenergieverbrauch Erdgas (Brennwertbezug)	120.300 kWh/a 157,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	99.600 kWh 150,1 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Anteiliger Jahresendenergieverbrauch Heizung (inkl. Kesselverluste, 271 Heiztage bei $\vartheta_{a,HP,m}=8,5^{\circ}\text{C}$ )	83.900 kWh/a 109,9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	70.900 kWh/a 106,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Anteiliger Jahresendenergieverbrauch TWW-Bereitung	36.400 kWh/a 47,7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	28.700 kWh/a 43,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)

**Tabelle 8 Ergebnisse der Gebäude-EAV**

Um die Effizienz der Brennwertkessel näher zu untersuchen, wurde aus den monatlich erfassten Gasmengen und dem addierten Wärmeverbrauch der WMZ von TWW-Bereitung und Heizkreis eine Kesselanalyse erstellt. Die Kesselanalyse ergibt für die Liebermannstraße 5/7 einen brennwertbezogenen Kesselwirkungsgrad von 87,2 %, für die Liebermannstraße 9/11 hat der Kessel einen Wirkungsgrad von 84,0 %. Bezogen auf die eingesetzten Gasmengen ergibt sich für die Nr. 5/7 ein Jahresnutzungsgrad von 85 % und für die Nr. 9/11 ein Jahresnutzungsgrad von 77 %.

Die Auswertung der jährlichen Gasverbräuche beider MFH verdeutlicht den großen Einfluss von Mieteranzahl und individuellem Heizverhalten, welches zum einen deutlich wird durch die höhere Grundlast des Objekts Liebermannstr. 5/7, zum anderen aber auch in dem erhöhten Jahresendenergieverbrauch zu erkennen ist.

Die Giebel- und Hauseingangsseiten der MFH wurden im Laufe der Jahre mit einem 5 cm starken Wärmedämmverbundsystem nach WSVO '95 ertüchtigt. Die Westfassaden mit Balkonen (auf durchgehender Geschosdecke) und großzügigen Fensterflächen sind jedoch noch nicht energetisch saniert worden und weisen mehrere Wärmebrücken auf. Der letzte Fenstertausch fand vor 26 Jahren statt, dementsprechend weisen sowohl Westfassade als auch Glasflächen ein erhebliches Energieeinsparpotenzial auf.

Die zentrale TWW-Bereitung der MFH nimmt mit fast 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) in beiden Gebäuden nahezu ein Drittel des Endenergiebedarfs ein. Es ist naheliegend, dass die Speicherung, Verteilung und Zirkulation des Warmwassers davon mindestens die Hälfte, also über 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) beansprucht. Hier besteht also ebenfalls ein großes Energieeinspar- bzw. Optimierungspotenzial.

Der Wirkungsgrad der Brennwertkessel fällt mit unter 90% nicht besonders gut aus. Ein Grund dafür kann in der vorhandenen Anlagenkonstellation durch die hydraulische Weiche liegen. Wahrscheinlich wird durch die Weiche die Rücklaufemperatur angehoben, was zu geringerem Brennwertnutzen führt. Dennoch wird von vielen Kesselherstellern ab einer bestimmten Kesselnennleistung und analog steigenden Volumenströmen die Trennung von Kesselkreis und Verbraucherseite durch eine hydraulische Weiche empfohlen. Teilweise verliert der Anlagenbetreiber ohne den Einsatz von hydraulischen Weichen sogar Gewährleistungsansprüche für den eingesetzten Brennwertkessel.

Die Tätigung größerer Investitionen in die Gebäudehülle und die Anlagentechnik sind nicht geplant. Eine Stellschraube zur einfachen und kostengünstigen Möglichkeit den Endenergieverbrauch an zentraler Stelle zu reduzieren, ist die Regelung der Heizungsanlage. Nach einem vollendeten Verbrauchsjahr, welches durch monatliches Monitoring begleitet wurde, wurden umfassende Veränderungen an den Regelungsparametern vorgenommen. Dabei wurden der Bereitschaftsbetrieb deutlich eingeschränkt, aber auch Schaltpunkte und Solltemperaturen reduziert. Im Zuge des fortlaufenden Monitorings werden weitere Energieeinsparungen erwartet, die es noch auszuwerten gilt.

### A3 Anhang zur Fehlerbetrachtung der EAV

#### A3.1 Grundformeln

$$Q_E = \frac{H \cdot G_{15}}{\eta_a \cdot \eta_K}$$

$$\eta_a = \frac{\eta_K}{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1}$$

$$Q_E = \frac{H \cdot G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)}{\eta_K}$$

$$H = \frac{Q_E \cdot \eta_K}{G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)}$$

#### A3.2 Absoluter Fehler (Fehlerfortpflanzung (linear))

$$\Delta H = \left| \frac{\partial H}{\partial \eta_K} \right| \cdot \Delta \eta_K + \left| \frac{\partial H}{\partial q_B} \right| \cdot \Delta q_B + \left| \frac{\partial H}{\partial \beta} \right| \cdot \Delta \beta$$

#### A3.3 Ableitungen

$$\Delta H = \left| \frac{Q_E}{G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \right| \cdot \Delta \eta_K + \left| -\frac{Q_E \cdot \eta_K \cdot \left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)^2} \right| \cdot \Delta q_B$$

$$+ \left| \frac{Q_E \cdot \eta_K \cdot q_B}{G_{15} \cdot \beta^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)^2} \right| \cdot \Delta \beta$$

#### A3.4 Relativer Fehler

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\frac{Q_E}{G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \left[ \Delta \eta_K + \frac{\eta_K \cdot \left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{\left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta q_B + \frac{\eta_K \cdot q_B}{\beta^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta \beta \right]}{\frac{Q_E \cdot \eta_K}{G_{15} \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)}}$$

### A3.5 Kürzen

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta \eta_K}{\eta_K} + \frac{\eta_K \cdot \left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{\eta_K \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta q_B + \frac{\eta_K \cdot q_B}{\eta_K \cdot \beta^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta \beta$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta \eta_K}{\eta_K} + \frac{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{\left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta q_B + \frac{q_B}{\beta^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \cdot q_B + 1\right)} \cdot \Delta \beta$$

### A3.6 Einzusetzende Zahlen

$$\eta_K = 0,9 \pm 0,05$$

$$q_B = 0,01 \pm 0,005$$

$$\beta = 0,25 \pm 0,2$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{0,05}{0,9} + \frac{\left(\frac{1}{0,25} - 1\right)}{\left(\left(\frac{1}{0,25} - 1\right) \cdot 0,01 + 1\right)} \cdot 0,005 + \frac{0,01}{0,25^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{0,25} - 1\right) \cdot 0,01 + 1\right)} \cdot 0,2$$

$$\frac{\Delta H}{H} = 0,1012$$

**A4 Konzeptpapier zur Beschreibung der Nachweismethodik hinsichtlich einer Sanierungswirkung im Rahmen der Sanierungsfeldtests**



**Konzeptpapier zur Beschreibung der Nachweismethodik hinsichtlich einer Sanierungswirkung im Rahmen der Sanierungsfeldtests**

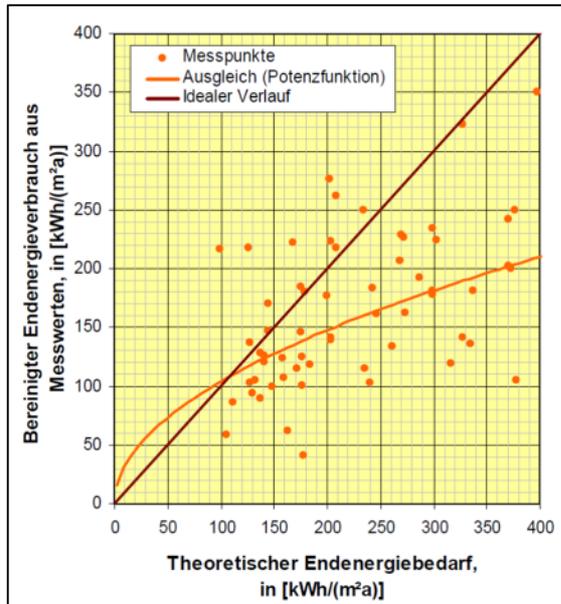
---

**Bearbeitet durch:**

Dipl.-Ing. Gunnar Eikenloff M. Eng.  
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff

## a) Einleitung

Aktuelle Veröffentlichungen und Hochrechnungen [5] belegen, dass die Ziele der Energiewende mit den derzeitigen Entwicklungen nicht erreichbar sind. Besonders im Bereich der Wohngebäude ist dies im Wesentlichen auf eine starke Diskrepanz zwischen Wunsch und Wirklichkeit – also berechnetem Bedarf und tatsächlichem Verbrauch – zurückzuführen. Die Auswertung von realen Feldanlagen zeigt dies ganz deutlich: Bereits die OPTIMUS-Studie [3] der Ostfalia beweist, dass im unsanierten Bestand berechnete Energiebedarfswerte deutlich oberhalb gemessener Verbräuche liegen – bei neu errichteten Gebäuden bzw. wesentlich energetisch modernisierten Gebäuden kehrt sich dieses Verhältnis um.



**Abbildung 42 Gegenüberstellung des gemessenen Endenergieverbrauchs über dem berechneten Endenergiebedarf, Quelle: OPTIMUS [3]**

Auch eine aktuellere Auswertung aus dem Gebäudereport der dena 2012 [2] stützt die Ergebnisse der oben gezeigten Grafik. Hierbei wurde auf Basis der bei der dena eingegangenen Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweise in Abhängigkeit des Baujahres – also der bautechnischen Qualität – folgende Grafik erstellt:

Die Übereinstimmung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch liegt hier bei Energiekennwerten ab etwa  $80 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \text{ a})$ . Berücksichtigt man, dass die fiktive Gebäudenutzfläche in etwa 20 bis 30 Prozent größer ist als die Wohnfläche der Gebäude, ergibt sich bezogen auf die Wohnfläche ein Kennwert von rund  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wfl}} \text{ a})$  – der selbe Schnittpunkt wie in Abbildung 42.

Gründe für diese Abweichungen sind die oftmals sehr pauschalen und nicht realitätsgetreuen Annahmen in den Berechnungsmodellen von Bedarfsbilanzen in den festgelegten Parametern für Qualität der Gebäudehülle, Qualität der Anlagentechnik und Nutzerverhalten.

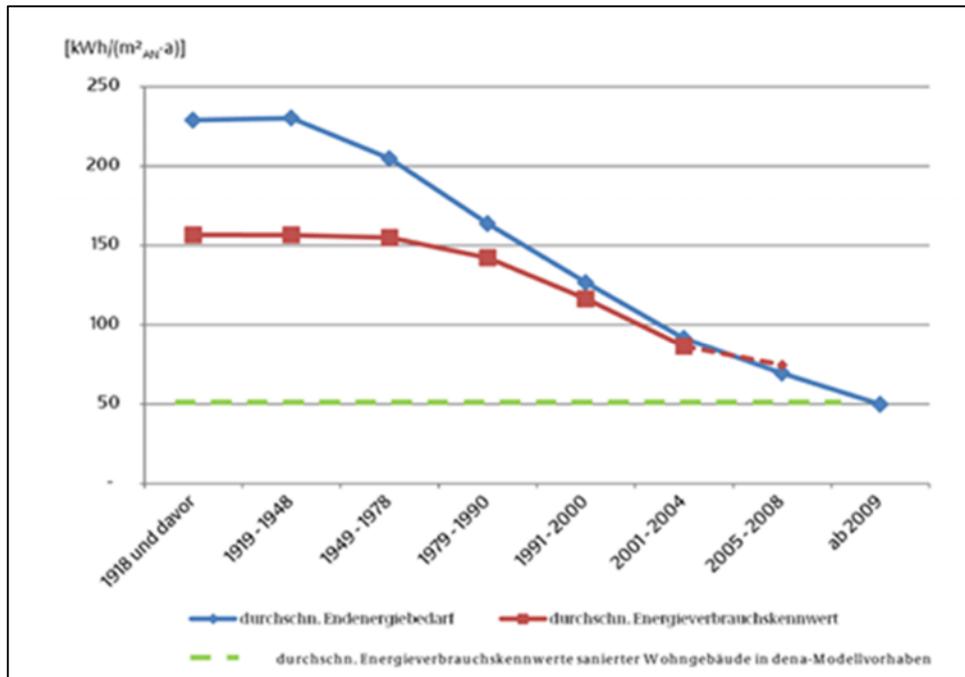


Abbildung 43 Gegenüberstellung baualtersabhängiger Energiebedarfs- und Verbrauchsausweise Quelle: dena-Gebäudereport 2012 [2]

## b) Einflussgrößen und Parameter

Nachfolgend wird dargestellt, welche Berechnungsgrößen in die Bilanzierung des Jahres-Endenergiebedarfs eingehen und welche vereinfachten Modellansätze die Bilanz beeinflussen bzw. inwiefern der Nutzer unter realen Bedingungen vom modellhaften Ansatz abweicht. Die Berechnung des jährlichen Bedarfs an Endenergie für ein herkömmliches Wohngebäude beschreibt vereinfacht folgender Zusammenhang:

$$Q_{end} = \frac{1}{\eta_a} \cdot (Q_H + Q_{TWW})$$

Dabei werden die benötigten Energiemengen für Raumheizung  $Q_H$  und für die Warmwasserbereitung  $Q_{TWW}$  aufsummiert und anschließend durch den Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers  $\eta_a$  dividiert. Für eine detaillierte Betrachtung ist weiter zu differenzieren:

$$Q_{end} = \frac{1}{\eta_a} \cdot \left( \begin{aligned} &\dot{Q}_H \cdot z_{HP} \\ &+ \dot{Q}_{TWW} \cdot 8.760 \frac{h}{a} \end{aligned} \right)$$

$$Q_{end} = \frac{1}{\eta_a} \cdot \left( \begin{aligned} &(\dot{Q}_h + \dot{Q}_{h,d}) \cdot z_{HP} \\ &+ (\dot{Q}_{tww} + \dot{Q}_{tww,d} + \dot{Q}_{tww,zrik} + \dot{Q}_{tww,s}) \cdot 8.760 \frac{h}{a} \end{aligned} \right)$$

$$Q_{end} = \frac{1}{\eta_a} \cdot \left( \begin{aligned} &\left( (H_T + H_V) \cdot (t_{HG} - t_{a,m,HP}) + \dot{Q}_{h,d} \right) \cdot z_{HP} \\ &+ (\dot{Q}_{tww} + \dot{Q}_{tww,d} + \dot{Q}_{tww,zrik} + \dot{Q}_{tww,s}) \cdot 8.760 \frac{h}{a} \end{aligned} \right)$$

$$Q_{end} = \frac{1}{\eta_a} \cdot \left( \begin{aligned} &\left( \left( \left( \sum U_i \cdot A_i + n \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \right) \cdot (t_{HG} - t_{a,m,HP}) + \dot{Q}_{h,d} \right) \cdot z_{HP} \right) \\ &+ (\dot{Q}_{tww} + \dot{Q}_{tww,d} + \dot{Q}_{tww,zrik} + \dot{Q}_{tww,s}) \cdot 8.760 \frac{h}{a} \end{aligned} \right)$$

mit

## Anhang A4

$\dot{Q}_H$	Mittlere Gesamtleistung der Raumheizung
Z <sub>HP</sub>	Dauer der Heizperiode
$\dot{Q}_{TWW}$	Mittlere Gesamtleistung der Warmwasserbereitung
$\dot{Q}_h$	Mittlere Heizlast des Gebäudes (Nutzwärme)
$\dot{Q}_{h,d}$	Verlustleistung der Heizverteilung im beheizten und unbeheizten Bereich
$\dot{Q}_{tww}$	Mittlere Nutzleistung des Warmwasserbedarfs
$\dot{Q}_{tww,d}$	Verlustleistung der Warmwasserverteilung
$\dot{Q}_{tww,zirk}$	Verlustleistung der Warmwasserzirkulationsleitungen
$\dot{Q}_{tww,s}$	Verlustleistung des Warmwasserspeichers
H <sub>T</sub>	bezogener Transmissionswärmeverlust
H <sub>V</sub>	bezogener Lüftungswärmeverlust
t <sub>HG</sub>	Heizgrenztemperatur
t <sub>a,m,HP</sub>	Mittlere Außentemperatur der Heizperiode
U <sub>i</sub>	U-Wert des Bauteils i
A <sub>i</sub>	Fläche des Bauteils i
n	Luftwechsel
V	Luftvolumen des Gebäudes
ρ	Dichte des Luft
c <sub>p</sub>	Wärmekapazität der Luft

Während Bauteilflächen und Luftvolumen des Gebäudes hinreichend genau bestimmt werden können, gibt es in den oben aufgeführten Ansätzen diverse Parameter, die im Zuge einer Wärmebedarfsberechnung aus entsprechenden Typologien und anderen Kennwertkatalogen angepasst werden müssen – dies bietet den Spielraum, der im Nachgang häufig zu Abweichungen zwischen berechnetem Bedarf und tatsächlichem Verbrauch führt. Einige Beispiele:

### Transmissionswärmeverlustkoeffizient H<sub>T</sub>

Neben der Bauteilfläche A<sub>i</sub>, die durch ein Aufmaß relativ genau bestimmt werden kann, liegt die Schwierigkeit hier in der Einordnung des vorhandenen U-Wertes. Um diesen etwas genauer zu bestimmen, besteht die Möglichkeit sich des Schichtenaufbaus zu bedienen, bei dem jede Schicht des Bauteils mit seiner Dicke und den zugehörigen stofflichen Wärmeleitfähigkeiten berücksichtigt wird.

Die Praxis zeigt jedoch, dass es für ein und dasselbe Material durchaus unterschiedliche Materialeigenschaften hinsichtlich der Wärmeleitung geben kann – auch die Dicke einzelner Schichten kann im Bestand nicht immer zweifelsfrei bestimmt werden.

In Fällen, bei denen kein Schichtaufbau vorliegt oder aufgrund eines zu hohen Aufwands nicht erfasst wird, wird die Dämmqualität von Bauteilen aus Typologien entnommen, die in Abhängigkeit des Gebäudes und seines Alters vergleichbare Bauteile ausweisen. Diese Vorgehensweise unterliegt einer hohen Willkürlichkeit und kann somit das Ergebnis maßgeblich verfälschen. Auch der Einfluss von Wärmebrücken nimmt zu, je besser die Außenbauteile eines Gebäudes wärmetechnisch modernisiert werden – pauschale Zuschläge wie in der Bedarfsberechnung nach EnEV nehmen einen mit zunehmender Dämmdicke einen hohen Stellenwert ein.

### Lüftungswärmeverlustkoeffizient $H_v$

Auf der bilanziellen Seite der Lüftungsverluste ist der mittlere Luftwechsel eine unbekannte Größe. Meist werden Standard-Luftwechsel aus anerkannten Berechnungsverfahren angenommen, die in etwa die vorgefundene Dichtheit des Gebäudes und das Nutzerverhalten der Bewohner widerspiegeln sollen. Besonders in der Übergangszeit zwischen Sommer- und Heizperiode konnte in der OPTIMUS-Studie [3] durch Verbrauchserfassung realer Gebäude festgestellt werden, dass mitunter ein erhöhtes Lüften der Nutzer stattfindet. Ein Grund hierfür ist die oftmals überdimensionierte Anlagentechnik, die es ermöglicht, die Rauminnentemperatur trotz eines dauerhaft gekippten Fensters konstant zu halten und somit Verschwendungspotential generiert.

### Kennwerte für die Heizgrenze $t_{HG}$ , $t_{a,m,HP}$ , $Z_{HP}$

Die Heizgrenztemperatur legt die Dauer der Heizperiode  $Z_{HP}$  und die mittlere Außentemperatur der Heizperiode  $t_{a,m,HP}$  fest. Entgegen der Realität mit individuellen Heizgrenzen in Abhängigkeit des Gebäudestandards und des Nutzerverhalten (hier speziell die Rauminnentemperaturen) werden in normierten Berechnungsverfahren diese Parameter standardisiert festgelegt – je nach Berechnungsverfahren mit einem Wert oder einer abgestuften Bandbreite von z.B. 15°C, 12°C oder 10°C.

Für eine Bedarfsberechnung auf Grundlage der EnEV wird die Heizgrenztemperatur auf 10°C festgelegt, was real in den seltensten Fällen eintritt. Die Rauminnentemperatur wird hierbei mit 19°C angenommen – auch hier ist der realistische Bezug fraglich. Daraus ergibt sich eine Heizperiodendauer von 185 Tagen pro Jahr, die bei real genutzten Gebäuden deutlich länger ausfällt. Eine weitere Abweichung des Bedarfs gegenüber dem Verbrauch liegt bei öffentlich-rechtlichen Nachweisen des Energiebedarfs in der Bezugsgröße der Klimadaten nach einem festgelegten Klimastandort, der unabhängig vom tatsächlichen Standort des Gebäudes festgeschrieben wird (heute Potsdam, früher Würzburg).

### Heizverteilverluste $\dot{Q}_{h,d}$

Die Verteilverluste des Heizungssystems im unbeheizten und im beheizten Bereich sind abhängig von der Verteilungsart und den sich daraus ergebenden Leitungslängen sowie von der Dämmqualität der Leitungen und der herrschenden Temperaturdifferenz des Wärmediums gegenüber der Umgebungsluft. Felduntersuchungen wie in der Verteilnetzstudie [4] zeigen, dass pauschale Ansätze aus unterschiedlichen Richtlinien und Berechnungsverfahren nicht immer die tatsächlich verbauten Verteilsysteme näherungsweise abbilden können.

Zudem können die Dämmstärken einer Feldanlage wesentlich von denen einer Berechnungsvorschrift abweichen und sind unter Umständen in Bestandsanlagen nicht mehr direkt nachvollziehbar, sofern sie im Estrich oder hinter anderweitigen Verkleidungen liegen. Losgelöst von der Betrachtungsweise des Wärmeverlustes sorgen warmgehende Verteilleitungen andererseits für einen ungeregelten Wärmeeintrag im beheizten Bereich.

Je besser die Dämmqualität der thermischen Hülle eines Gebäudes, desto größeren Einfluss nimmt dieser ungeregelte Wärmeeintrag auf die Wärmebilanz. Erhöht sich die Rauminnentemperatur ungewollt, hat dies wiederum Einfluss auf die Lage der Heizgrenztemperatur, die sich bei erhöhten Innentemperaturen ebenfalls erhöht. Im Fall gut gedämmter Gebäude nach EnEV 2009 und KfW-Effizienzstandard < 85 können die so erzeugten Einträge sogar zu einer Überhitzung von Räumen führen, die durchaus durch den Nutzer abgelüftet werden müssen, sobald das Raumklima aufgrund der zu hohen Temperaturen unbehaglich wird.

### Nutzen Trinkwarmwasser $\dot{Q}_{tww}$

Die bedarfsbasierte Bestimmung des Nutzwärmebedarfs der Trinkwarmwasserbereitung hat mit Sicherheit den höchsten Grad an Fehlerpotential bei der Betrachtung von Differenzen zwischen Norm-Randdaten und dem realen Nutzerverhalten. Hält man sich weiterhin vor Augen, dass aufgrund des zunehmend verbesserten Wärmedämmstandards der Gebäude der bilanzielle Anteil der Warmwasserbereitung zunimmt, birgt dieser Bereich einer Bedarfsbilanz die mitunter größte Unsicherheit im Hinblick auf eine realistische Abschätzung des einzusetzenden Endenergiebedarfs.

### Verluste der Trinkwarmwasserverteilung Zirkulation $\dot{Q}_{tww,d}$ & $\dot{Q}_{tww,zirk}$

siehe  $Q'_{h,d}$ . Abweichend vom zuvor gezeigten Einfluss der generellen Verteilverluste ist bei den Verlusten der Warmwasserzirkulation zusätzlich die Dauer dieses Zirkulationsbetriebs im Wesentlichen zu berücksichtigen.

### Verluste des Trinkwarmwasserspeichers $\dot{Q}_{tww,s}$

Die mittlere Verlustleistung eines Wärmespeichers ist grundsätzlich von seiner Oberfläche und der Qualität seiner Dämnhülle sowie der Temperaturdifferenz des Wärmemediums gegenüber der Umgebungstemperatur abhängig. Eine saubere Datenerfassung vor Ort minimiert diese Einflussgröße als mögliche Fehlerquelle gegenüber pauschalen Annahmen im Hinblick auf eine Bedarfs-Verbrauchs-Abweichung auf ein Minimum.

### Nutzungsgrad $\eta_a$

Entgegen der Tendenz den Energiebedarf älterer Gebäude für Raumwärme und Warmwasser meist zu hoch abzuschätzen, werden die Jahresnutzungsgrade neu eingebauter Kessel oftmals bilanziell zu gut und alter Bestandskessel zu schlecht bewertet. Abweichend von Herstellerangaben wie dem Kesselwirkungsgrad (unter Vollast) oder dem Normnutzungsgrad (unter Normbedingungen) weisen Feldanlagen meist eine schlechtere Umwertung von zugeführte Endenergie zu abgegebener Nutzwärme auf, wie in der Brennwertkesselstudie 0 belegt wurde.

Ursache dafür ist u.a. die Tatsache, dass Wärmeerzeuger in den meisten Fällen überdimensioniert sind – teils deutlich mit Faktor 1,5 bis 2 und höher – wodurch Kessel stets in Teillast betrieben werden und die lastunabhängigen Verluste den temporären Nutzungsgrad stark herabsetzen. Auch wenn Wärmeerzeuger generell in Teillast laufen, da nicht permanent die maximale Heizlast anliegt oder eine ständige Warmwasserbereitung betrieben wird, unterscheidet sich die reale Auslastung deutlich von der im Optimalfall erwarteten.

Unter diesen Randbedingungen, dass die berechnete Wärmemenge für Raumerwärme und Warmwasserbereitung im Gebäude zu hoch eingeschätzt wird, der Jahresnutzungsgrad neuer Kessel hingegen zu gut bilanziert wird und der berechnete Bedarf dennoch über dem realen Verbrauch des Gebäudes liegt, zeigt sich eine weitere große Unsicherheit in der Abwägung der gebäude- und nutzerbedingten Verluste gegenüber den technischen Verlusten des Wärmeerzeugers.

Eine klare Aussage über eine priorisierte Maßnahme an Gebäude oder Kessel ist damit in vielen Fällen nicht möglich bzw. führen getätigte Maßnahmen meist nicht zu den gewünschten Effekten.

### **c) Verbrauchs-Bedarfs-Abgleich**

Die beschriebenen Unsicherheiten und Freiheitsgrade der bedarfsbasierten Bilanzierung von Endenergiemengen sollten in der Fachwelt den meisten bekannt sein. Um dennoch eine realitätsgetreue Abschätzung von Bestand und Modernisierungsvarianten zu leisten, wird häufig ein Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich durchgeführt. Im einfachsten Fall wird ein Faktor zwischen dem Bedarfs- und Verbrauchskennwert im Bestand gebildet, der dann im gleichen Maße auf die Modernisierungsvarianten übertragen wird, um kein gesteigertes Einsparversprechen abzugeben.

Diese Vorgehensweise bildet jedoch nicht die Berücksichtigung der bereits skizzierten Abweichungen ab, sofern die Bedarfsberechnung unter den rein standardisierten Randbedingungen belassen wird. Die nächste Stufe einer besseren Annäherung an die realen Gegebenheiten wird durch einen Abgleich mittels "bekannter Stellschrauben der Bilanz" erreicht. Hierbei wird an den entsprechenden Parametern rechnerisch eingegriffen, bis der Bedarfskennwert in etwa dem Verbrauch entspricht. Dennoch bleibt die Unsicherheit, inwiefern das richtige Maß an der richtigen Stelle eingesetzt wurde. Als Beispiel sei die manuelle Anpassung der Verhältnisse Raumwärme- zu Warmwasseranteil genannt. Hierbei könnte der zunächst hohe Bedarf durch Reduzierung der Warmwassernutzwärmemenge angepasst werden – tatsächlich liegt die Abweichung unter Umständen aber im Bereich der Gebäudehülle oder Anlagentechnik?!

Ein in dieser Studie verwendetes Modell zur "Energieanalyse aus dem Verbrauch" (E-A-V), das bereits seit Jahren in allen Projekten der Ostfalia Anwendung findet und stetig verbessert und optimiert wird, soll genau diese durch Abwägungen in der Bilanz erzeugte Lücke zwischen Bedarf und Verbrauch schließen, indem durch unterjährige Verbrauchserfassung ein Großteil der abzuschätzenden Parameter ausreichend genau ermittelt wird.

### **d) Nachweismethodik innerhalb der Felduntersuchungen**

In einem Feldtest soll untersucht werden, wie groß die Diskrepanz zwischen dem technischen Potential einer Modernisierungsmaßnahme und der tatsächlicher Energieeinsparung ist und welche Faktoren für eine erfolgreiche Modernisierung entscheidend sind.

Die Akquise von Hauseigentümern für den Sanierungstest erfolgt in Federführung und hauptsächlich durch die co2online gemeinnützige GmbH. Im Rahmen des Akquiseprozesses wurden rund 60.000 Direktkontakte aktiviert. Über das Formular auf der Website [www.wirksam-sanieren.de](http://www.wirksam-sanieren.de) wurden 400 qualifizierte Bewerbungen für den Test eingereicht. Die Auswahl erfolgte aufgrund der Angaben und in detaillierten Telefonaten mit den potentiellen Kandidaten. Im Rahmen der Akquise wurden rund 150 geeignete Teilnehmer (größtenteils EFH) für den Test gewonnen. Rund 40 weitere Gebäude (größtenteils MFH) wurden von den Partnern akquiriert. Jeder Teilnehmer wurde aufgefordert ein Energiesparkonto (ESK) anzulegen und zu pflegen.

Wurde ursprünglich ein homogenes Sample mit Einzelmaßnahmen angestrebt, so zeigte sich in der Akquise, dass viele Nutzer Kombimaßnahmen durchgeführt oder komplexe Anlagen installiert haben. Im Sample Dämmung werden Maßnahmen im Bereich des Daches, der Fassade, der Fenster und der Geschossdecke untersucht. Im Sample Heizkessel werden neben den klassischen "Kesseltauschern" (mit und ohne hydraulischen Abgleich) auch Wärmepumpen (Fraunhofer ISE) und Gebäude mit Fußbodenheizungen und Thermosolaranlagen untersucht.

## Anhang A4

Im Rahmen der Begehungen durch einen Fachkundigen (BAFA-Energieberater) werden mit Hilfe 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 liegen bei Freigabe der Nutzer aus dem Energiesparkonto vor. Der Erfassungsbogen für die Begehungen enthält folgende Themen:

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

Zudem werden bis zu 20 Testhaushalte ausgewählt, in denen Wärmemengenzähler installiert werden. Diesen Haushalten gilt besondere Beachtung - sie sind sozusagen das Kernstück der Untersuchung zur Sanierungswirkung. Die übrigen Feldtestteilnehmer sind angehalten, in etwa zweiwöchigem Abstand Zählerstände in ihr Energiesparkonto einzutragen.

Das Ergebnis der hier durchgeführten Felduntersuchungen soll die zuvor beschriebenen Unwägbarkeiten und Unsicherheiten der reinen Bedarfsberechnung, aber auch der verbrauchsangepassten Bilanzierung, aufzeigen, die mitunter für das Nichterreichen der hochgerechneten Klimaschutzziele verantwortlich sind.

In erster Linie soll der bereits oftmals dargestellte Unterschied zwischen Bedarf und Verbrauch einzelner Gebäude vor und nach Modernisierungsmaßnahmen aufgezeigt werden. Wünschenswert wäre dabei eine erweiterte Gegenüberstellung des rein standardisierten und des verbrauchsorientierten Bedarfs.

Anhand dieses Ansatzes sollten zunächst die in OPTIMUS [3] und im dena-Gebäudereport [2] erzielten Aussagen bestätigt werden. Letztendlich verbleibt dabei die Frage, welche konkreten Einflussgrößen zu den ausgewiesenen Abweichungen geführt haben.

Durch die messtechnische Erfassung und Auswertung von Verbräuchen vor und nach einer energetischen Modernisierung an Gebäudehülle und/oder Anlagentechnik soll die tatsächliche Sanierungswirkung gegenüber der optimal abgeschätzten Einsparung aufgezeigt werden. Folgende Punkte zur Ermittlung der Ursachen von Abweichungen sind in der Untersuchung zu berücksichtigen:

- Rechenmethode Einzelgebäude
- Planung mit/ohne Qualitätssicherung
- Ausführung mit / ohne Qualitätssicherung
- Betrieb / Regelung / Parametrierung
- Eigenschaften Produkte
- Messfehler
- Nutzerverhalten/ Rebound-Effekte/ unregelmäßige Wärmeeinträge durch das Verteilnetz

In diesem Zuge werden zur Erweiterung der Vergleichswerte die Ergebnisse aus bereits durchgeführten Studien und Projekten herangezogen, die sich aus einer vorgezogenen Literaturrecherche ergeben. Diese Kennwerte beziehen sich je nach Studie auf unterschiedliche Komponenten der Gebäudehülle, Lüftungstechnik, Anlagentechnik oder Wärmeerzeuger.

Mit Hilfe der erwähnten E-A-V sollen mögliche Ursachen der Fehleinschätzungen innerhalb der Bedarfsberechnungen aufgedeckt und behoben werden, um ein realistisches Einsparergebnis für unterschiedlichen Maßnahmen an Gebäudehülle oder Anlagentechnik zu erzielen. Da die Energieanalyse aus dem Verbrauch unterjährige Verbrauchserfassung voraussetzt, die nicht bei jedem Objekt (zumindest vor der Maßnahmendurchführung) gegeben sein dürfte, besteht die Alternative einer rückwärts entwickelten Analyse anhand des Jahres-Endenergieverbrauchs.

Diese Vorgehensweise ist in ihrer korrekten Ergebnisfindung bisher nicht durch Vergleiche mit Vorher- / Nachher-EAVs belegt. Die Aussichten, hierdurch eine korrekte Analyse zu erstellen, werden nach bisherigen Erfahrungen als gering eingeschätzt. Bevorzugt wird die vor einer Modernisierung durchzuführende unterjährige Verbrauchserfassung (monatlich mindestens – besser wöchentlich). Dabei sollte zusätzlich mindestens ein Wärmemengenzähler hinter dem Wärmeerzeuger eingebaut werden.

Neben der Veranschaulichung der rechnerischen Bedarfs- gegenüber der tatsächlichen Verbrauchsreduzierung unterschiedlicher Maßnahmen soll ein weiterer Schwerpunkt auf der qualitätsgesicherten Durchführung liegen. Dabei ist herauszuarbeiten, inwieweit optimal geplante, betreute und umgesetzte Maßnahmen effizienter und energiesparender ausfallen als "herkömmliche Umsetzungen nach gängiger Praxis".

Sofern sich maßgebliche Differenzen ergeben, soll weiterhin durch Maßnahmenempfehlungen zur Qualitätssicherung das entstandene Defizit verringert werden, um langfristig das volle Potenzial von Modernisierungsvorhaben ausschöpfen zu können.

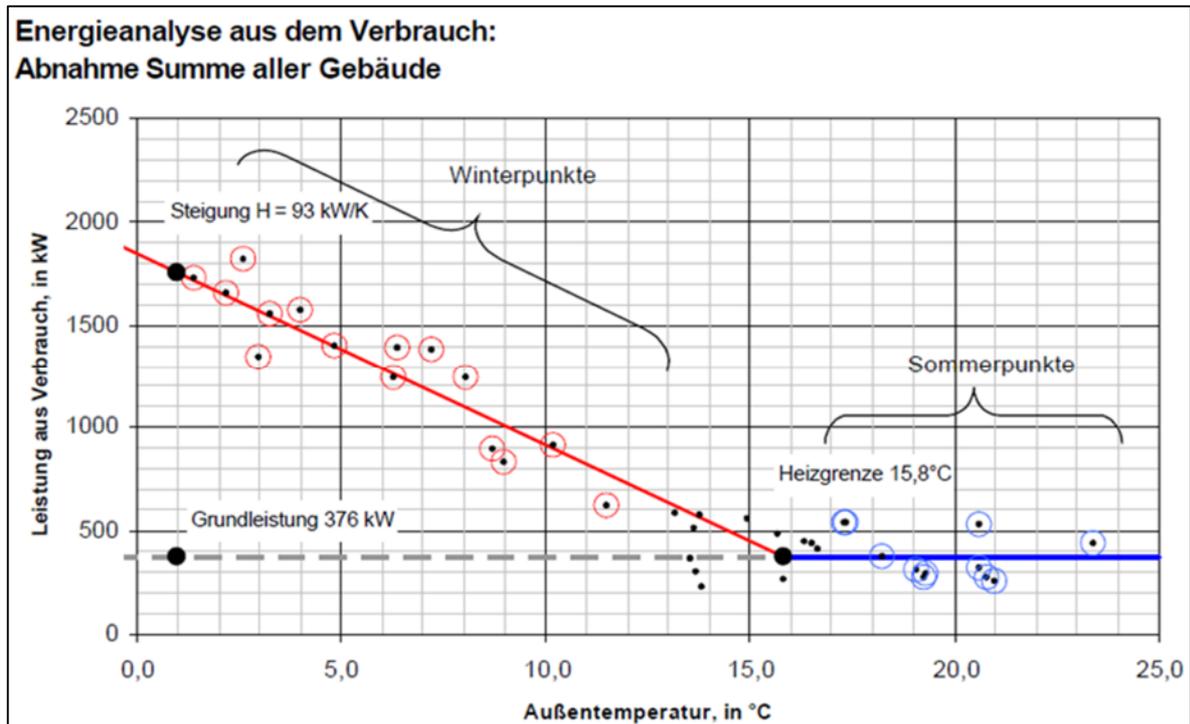
Die nachfolgenden Kapitel beschreiben zunächst die E-A-V in ihren Grundzügen und schließen mit der Deutung einzelner Eigenschaften im Hinblick auf die "bilanziellen Stellschrauben" im Nutzerverhalten sowie der Gebäudehülle und Anlagentechnik.

### e) Grundlagen E-A-V

Die E-A-V ist eine von der Ostfalia entwickelte Methode zur Auswertung von Verbrauchsdaten. Grundlage der Berechnung ist der Energieverbrauch eines Gebäudes. Dieser sollte über mindestens 9 Monate (mit Datumsvermerk) inklusive einer Heizperiode idealerweise wöchentlich bis monatlich dokumentiert werden [7].

Der Heizenergieverbrauch wird anschließend als mittlere Leistung der Ablesezeiträume mit den zugehörigen mittleren Außentemperaturen korreliert und in einem Diagramm aufgetragen. Durch Auswertung der Verbrauchswerte können wichtige Erkenntnisse über die Qualität der Gebäudehülle geschlossen werden. Unter anderem zeigt es, wie das Gebäude auf Außentemperaturen reagiert, ob die Heizungsanlage die richtige Dimensionierung für das Objekt hat und wie der Zustand der Dämmung des Hauses oder einer gesamten Liegenschaft im Mittel ist – siehe nachfolgendes Beispiel aus dem Projekt Neuerkerode [6]. Aus diesen Aussagen können Modernisierungsmaßnahmen vorgeschlagen und mögliche Einsparpotenziale bestimmt werden.

Nachfolgend ein Beispiel einer aufgestellten E-A-V (Fingerabdruck der Gebäude einer Liegenschaft):



**Abbildung 44 Beispiel einer E-A-V (Fingerabdruck des Gebäudes) [eigene Grafik]**

Aus der E-A-V sind die entsprechend relevanten Kenngrößen einer Energiebilanz innerhalb des Gebäudes ablesbar:

- Heizgrenztemperatur  $t_{HG}$  und damit die Dauer der Heizperiode sowie die mittlere Außentemperatur der Heizperiode
- Grundlast der Warmwasserbereitung  $Q'_{TWW}$  (je nach Messstelle üblicherweise inkl. der technischen Verluste für Verteilung und Speicherung)
- Geradensteigung  $H = H_T + H_V$  (je nach Messstelle üblicherweise inkl. der technischen Verluste für Verteilung und Speicherung)
- Normheizlast des Gebäudes am kältesten Tag der Heizperiode

Diese Art der Darstellung setzt voraus, dass ein Wärmemengenzähler hinter dem Kessel eingebaut ist, der Anlagentechnik und Gebäude bilanziell trennt. Sofern die einzige Messstelle die der Endenergie ist, also vor dem Kessel, kann anhand von Herstellerangaben (Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$  & Bereitschaftsverluste  $q_B$ ) der "Fingerabdruck des Kessels" nur mit Rechenwerten und den oben beschriebenen Unwägbarkeiten erzeugt werden, um ebenfalls eine Trennung zu vollziehen. Mit einem im Idealfall installierten Wärmemengenzähler hinter dem Kessel können die erwähnten Herstellerangaben in umgekehrter Weise überprüft werden.

Der Fingerabdruck des Kessels dient dazu, die Effizienzmerkmale des Heizkessels zu bestimmen und eine mögliche Kesseltauschempfehlung zu geben. Um im Vorfeld abzuschätzen, welche Ersparnis durch einen Heizkesseltausch erreichbar ist, gibt es mindestens zwei konkurrierende Ansätze: Die Berechnung allein mit theoretischen Kennwerten, z. B. aus der DIN V 18599-5 oder die Abschätzung auf der Basis einer Datenbank mit real gemessenen Verbrauchswerten vor und nach Kesselaustausch. Hierzu muss der Brennstoffverbrauch für einen möglichst langen Zeitraum vor und nach Kesseltausch bekannt sein und in ausreichend feiner Aufteilung der Ablesezeiträume vorliegen. Grundsätzlich valide Ergebnisse werden erzielt, wenn zeitgleich die Nutzwärmeabgabe der Kessel mit geeichten Wärmemengenzählern erfasst wird.

## Anhang A4

Für eine theoretische Abschätzung nach dem einfacheren ersten Ansatz ohne nachträgliche Wärmemengenzähler sind das Kesselbaujahr und die Kesselnennleistung vom Typenschild des Heizkessels oder aus dem Schornsteinfegermessprotokoll sowie aus Herstellerdaten (Vorsicht Prüfstandswerte!) abzulesen. Wichtig für die Bewertung eines möglichen Kesseltauschs sind die Kennwerte Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$ , spezifischer Bereitschaftsverlust  $q_B$  und die mittlere Kesselauslastung  $\beta$  bezogen auf die maximale Kesselnennleistung. Aus diesen drei Größen lässt sich ein mittlerer rechnerischer Nutzungsgrad ermitteln. Der Nutzungsgrad wird zur Effizienzbewertung von Kesseln herangezogen, da der Wirkungsgrad nur eine Momentaufnahme und nicht repräsentativ für die gesamte Heizperiode ist.

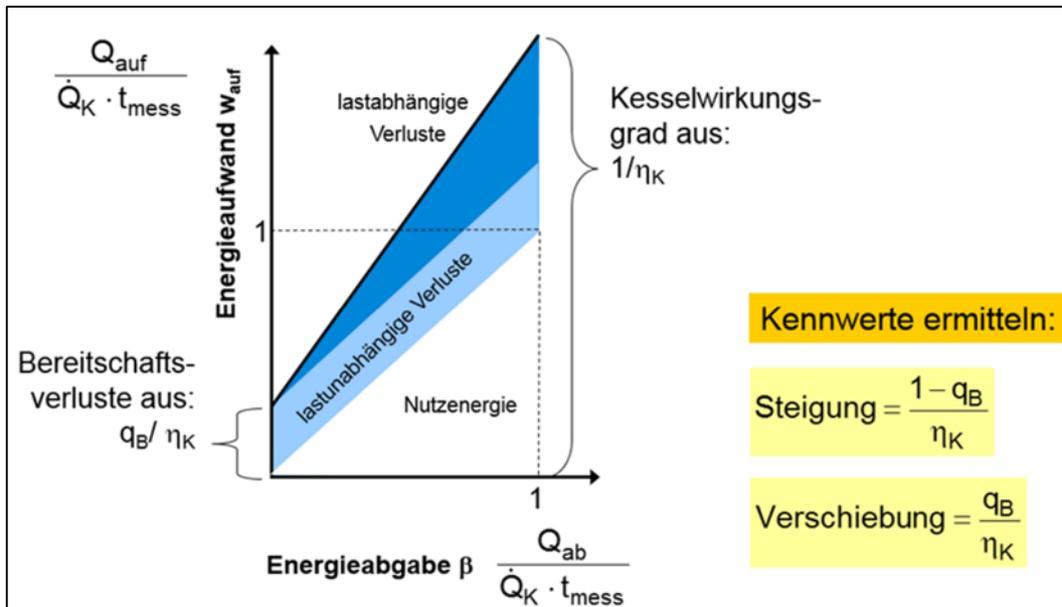


Abbildung 45 Gegenüberstellung zugeführter Endenergie zu abgegebener Wärmemenge (Fingerabdruck des Kessels) [eigene Grafik]

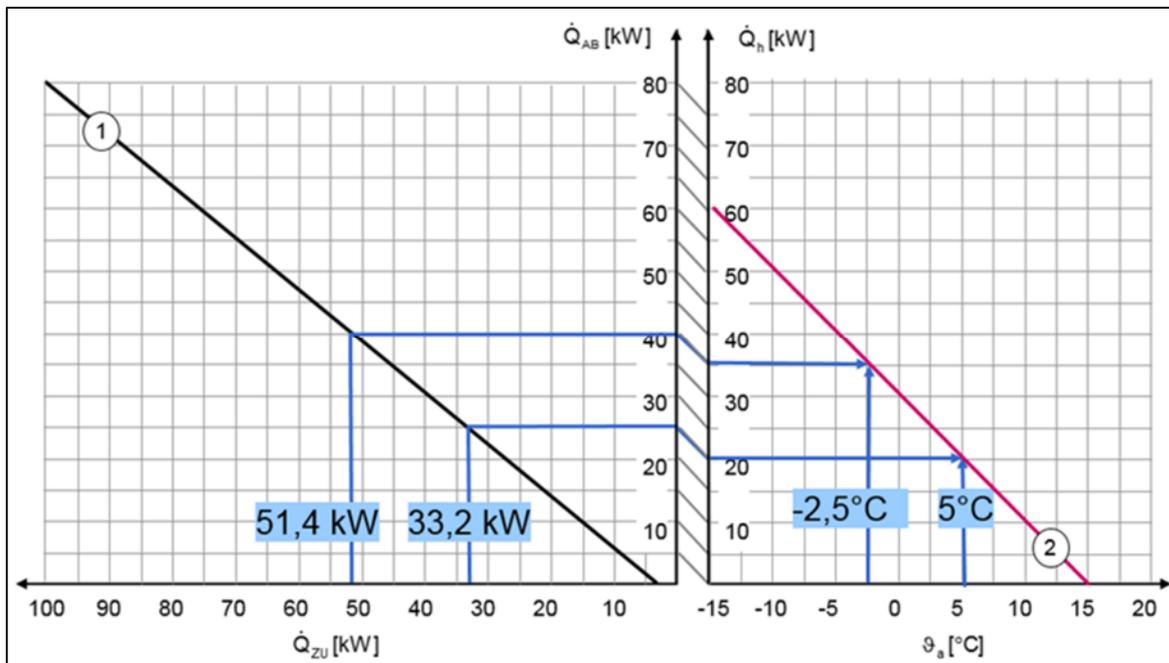


Abbildung 46 Zusammenführung der Fingerabdrücke von Kessel und Gebäude [eigene Grafik]

Den Fingerabdruck des Kessels und die Gebäude E-A-V lassen sich auch gegenseitig in einander überführen. Dabei werden die Koordinatensysteme nebeneinander gelegt. Mit Hilfe der Außentemperatur und den vom Kessel aufgenommenen und abgegebenen Leistungen sowie unter Berücksichtigung abgeschätzter Verteilverluste lässt sich die Gebäudegerade konstruieren.

### f) Rückwärts-E-A-V

Für den Fall, dass eine Energieanalyse aus dem Verbrauch im Vorfeld einer bereits durchgeführten Maßnahme mangels fehlender Verbrauchserfassung nicht mehr möglich ist, besteht die Möglichkeit die Fingerabdrücke des Gebäude und des Kessels anhand der relevanten Parameter aus Jahresverbräuchen zu erstellen – immer im Bewusstsein der damit verbundenen Ungenauigkeiten.

Da diese Methode aufgrund der abgeschätzten Kennwerte und unterschiedlicher Annahmen einer ähnlichen Willkür unterliegt wie eine dem Verbrauch angepasste Bedarfsrechnung sind diese Ergebnisse mit der E-A-V nach der Maßnahme einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen – wie beispielsweise die Korrektur der sommerlichen Grundlast der Warmwasserbereitung, sofern diese vor und nach der Maßnahme unverändert bleibt oder die Anpassung der Geradensteigung aus dem Delta der verminderten Transmissionsverluste bei Dämmung von Hüllflächen.

#### Konstruktionsbeispiel Fingerabdruck des Kessels

Gegeben:

Kesselnennleistung 250 kW  
Kesselwirkungsgrad 96 %  
Bereitschaftsverluste 0,5 %

Ergibt:

Nennwärmebelastung 260,4 kW (= 250 kW / 0,96)  
Absolute Bereitschaftsverlustleistung 1,3 kW (= 260,4 kW x 0,005)

Der Fingerabdruck des Kessels wird wie folgt konstruiert:

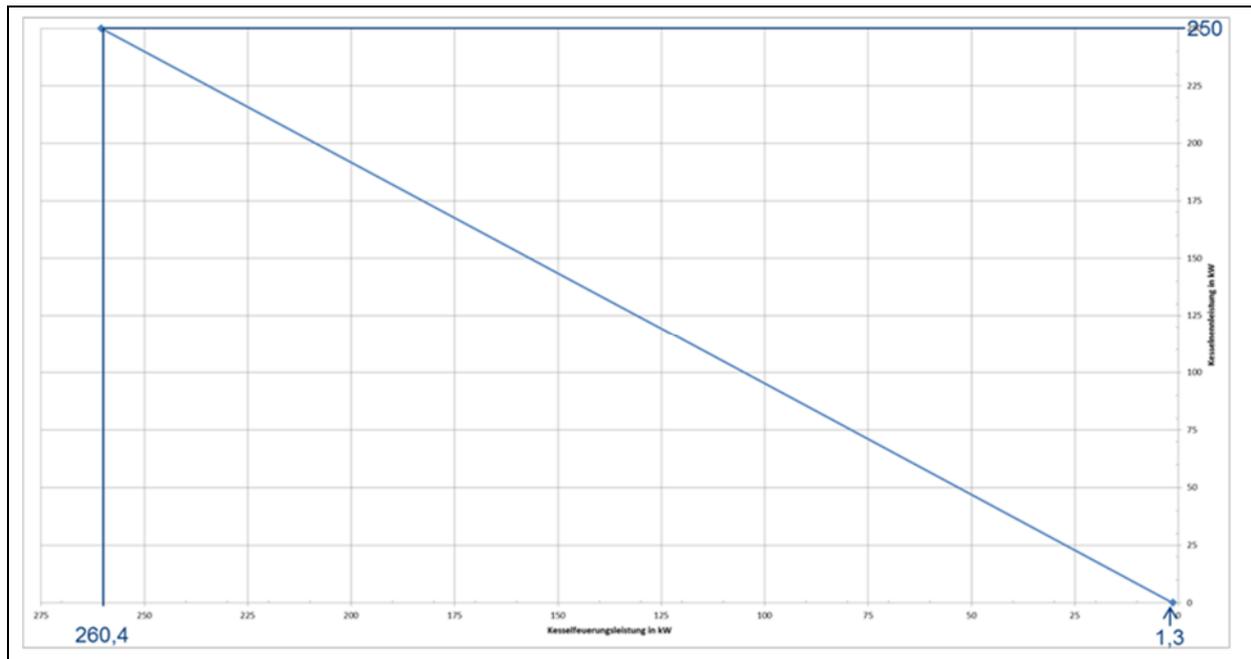


Abbildung 47 Konstruierter Fingerabdruck des Kessels aus Herstellerangaben [eigene Grafik]

### Konstruktionsbeispiel Fingerabdruck des Gebäudes

Mit Hilfe des so erstellten Fingerabdrucks des Kessels lässt sich die zugeführte Endenergiemenge in eine vom Kessel an das System abgegebene Energiemenge umwandeln. Unter Annahme einer typischen Heizgrenztemperatur und der sich ergebenden Heizperiodendauer bzw. mittleren Außentemperatur kann in Abhängigkeit eines der Personenzahl angepassten Warmwassersockels folgender Fingerabdruck des Gebäudes erstellt werden:

Gegeben:

Abgegebene Wärmemenge hinter Kessel 639.827 kWh/a

Annahmen:

Nutzwärmemenge Warmwasser 116.684 kWh/a (z.B. 600...700 kWh/Pers·a)  
 Nutzungsgrad der Warmwasserbereitung 50 %  
 Heizgrenze 15°C  
 Mittlere Außentemperatur der Heizperiode 6,5°C  
 Dauer der Heizperiode 275 d/a

Ergibt:

Nutzleistung Warmwasser 13,3 kW (= 116.684 kWh/a : 8.760 h/a)  
 Gesamt-Leistungsanforderung Warmwasser 26,6 kW (= 13,3 kW / 0,5)  
 Gesamt-Wärmemenge Raumwärme 406.459 kWh/a  
 (= 639.827 kWh/a – 116.684 kWh/a : 0,5)  
 Gesamt-Leistungsanforderung Raumwärme 61,6 kW  
 (= 406.459 kWh/a : 275 d/a : 24 h/d)

Der Fingerabdruck des Gebäudes wird wie folgt konstruiert:

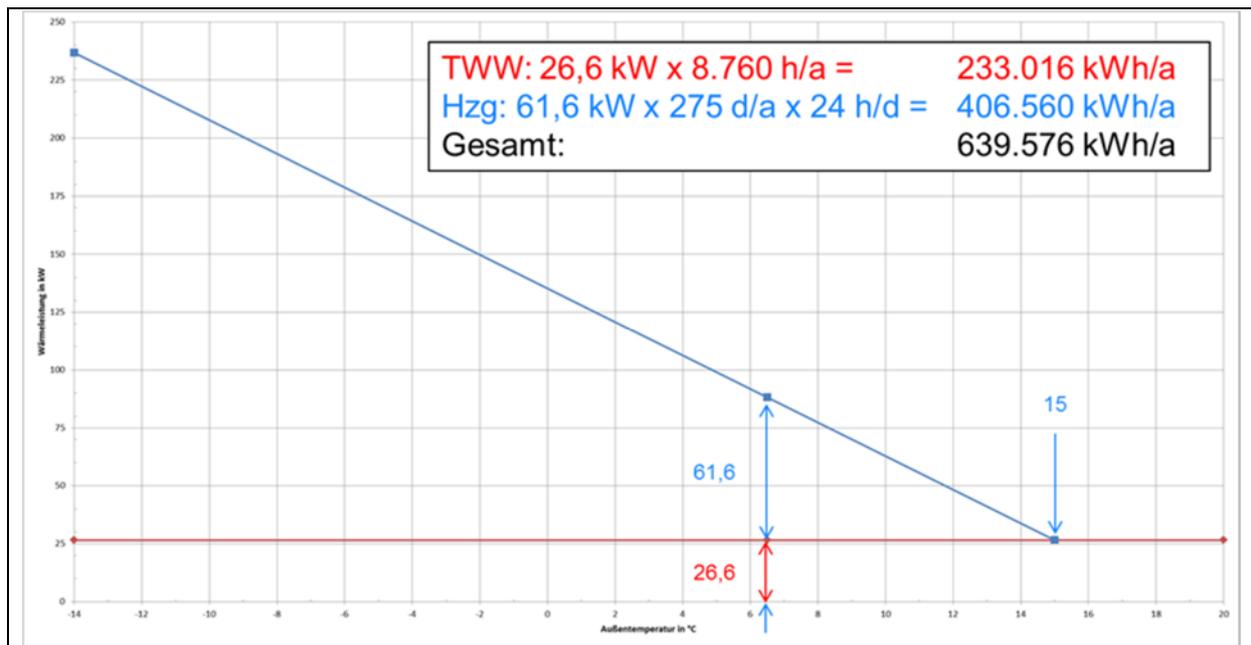


Abbildung 48 Konstruierter Fingerabdruck des Gebäudes aus abgegebener Kesselwärmemenge [eigene Grafik]

### g) Nachweis von Maßnahmenwirksamkeit und Nutzereinfluss

Die E-A-V ermöglicht die Darstellung und Quantifizierung vieler Einflussfaktoren einer energetischen Bilanz von Gebäuden und Anlagentechnik.

Bei Modernisierung der thermischen Hülle eines Gebäudes würde die Maßnahme zu einer Reduzierung der Transmissionsverluste führen. Im gleichen Zuge sollte zu beobachten sein, dass parallel die Heizgrenztemperatur zurückgehen müsste, da die inneren Lasten und passiv solaren Gewinne bei besser gedämmten Gebäuden bei verminderter Heizlast einen verzögerten Heizbeginn begünstigen.

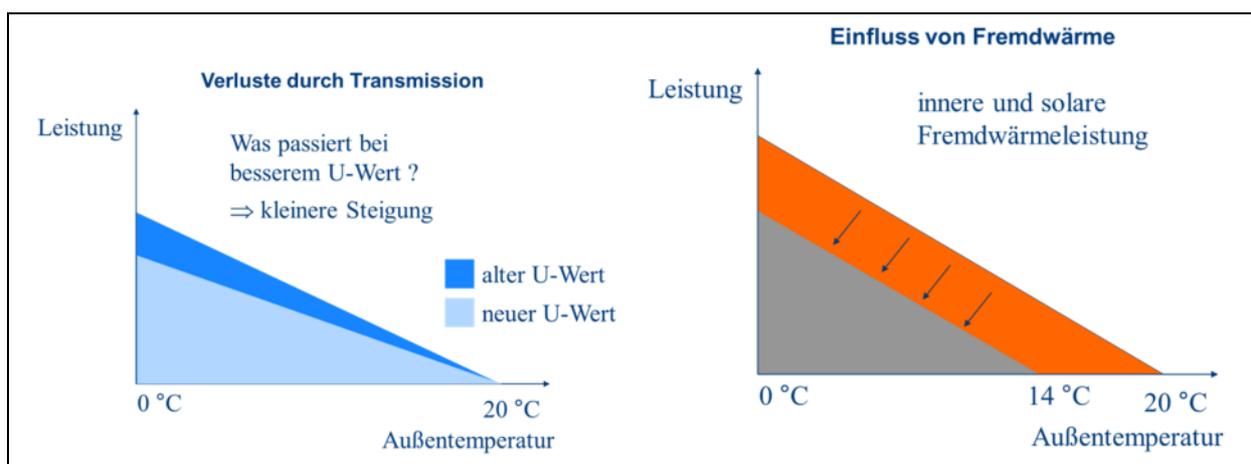


Abbildung 49 Einfluss von Dämmmaßnahmen auf Transmissionsverluste und Heizgrenztemperatur [eigene Grafik]

## Anhang A4

Hinsichtlich der Heizgrenztemperatur ist entgegen der Annahme des theoretischen Ansatzes real häufig zu beobachten, dass sich die Heizgrenze nur kaum verändert oder sogar ansteigt. Dies liegt wesentlich in erhöhten Raumtemperaturen begründet. Dabei sind im Wesentlichen zwei Szenarien zu unterscheiden: Zum einen könnte es sich um eine gewollte Erhöhung der Rauminnentemperatur im Sinne des Komfortanspruchs des Nutzers handeln, wenn beispielsweise aufgrund des zuvor schlechten energetischen Zustands der Gebäudehülle die nun erreichte Raumtemperatur praktisch nicht möglich war.

Andererseits ist sehr wahrscheinlich, dass es sich hierbei eher um ein ungewolltes Verschwendungspotential handelt, das aus einer nach wie vor überdimensionierten Anlagentechnik gegenüber einem nun energetisch modernisierten Gebäude resultiert. Dabei deuten erhöhte Leistungsanforderungen in der Übergangszeit der E-A-V auf ein gesteigertes Ablüften überschüssiger Energie hin. Ebenfalls tragen die unregelmäßigen und somit nicht beeinflussbaren Wärmeeinträge von schlecht gedämmten oder ungedämmten Verteilungen im beheizten Bereich dazu bei, dass sich die Raumtemperatur ungewollt erhöht – je besser der Dämmstandard eines Gebäudes, desto größer der Einfluss des unregelmäßigen Wärmeeintrags.

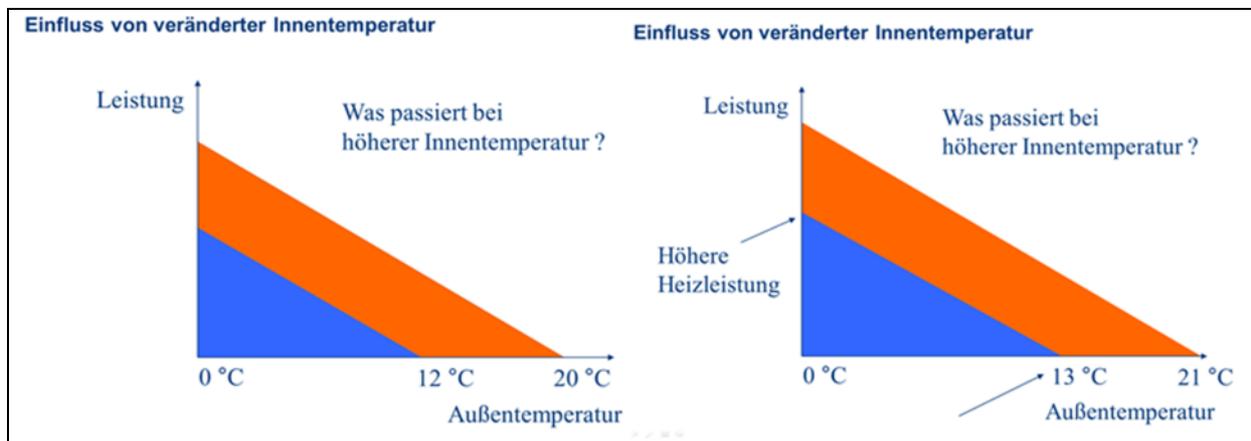


Abbildung 50 Einfluss der Raumtemperaturen auf die Heizgrenztemperatur [eigene Grafik]

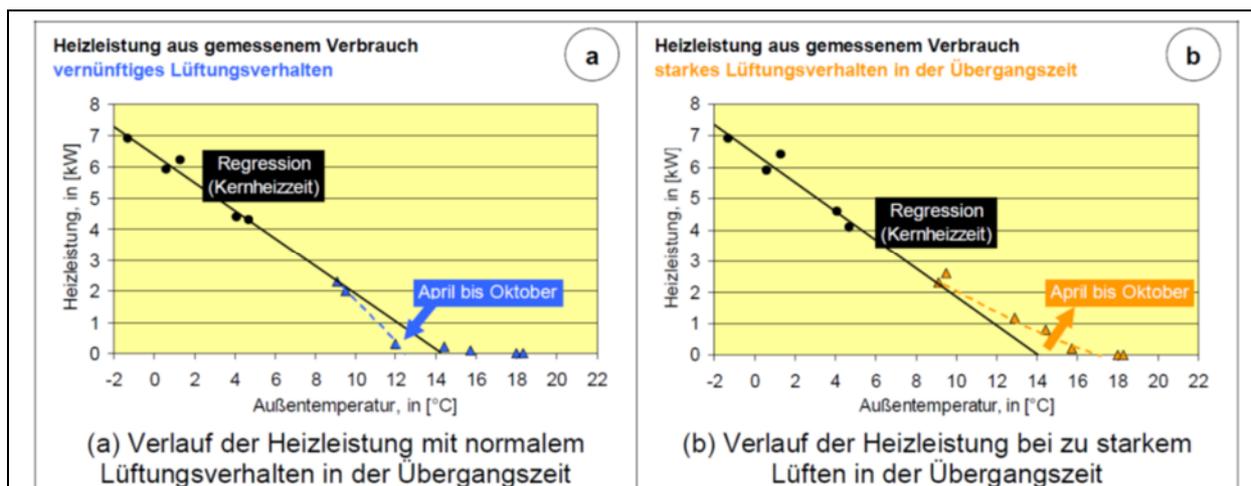
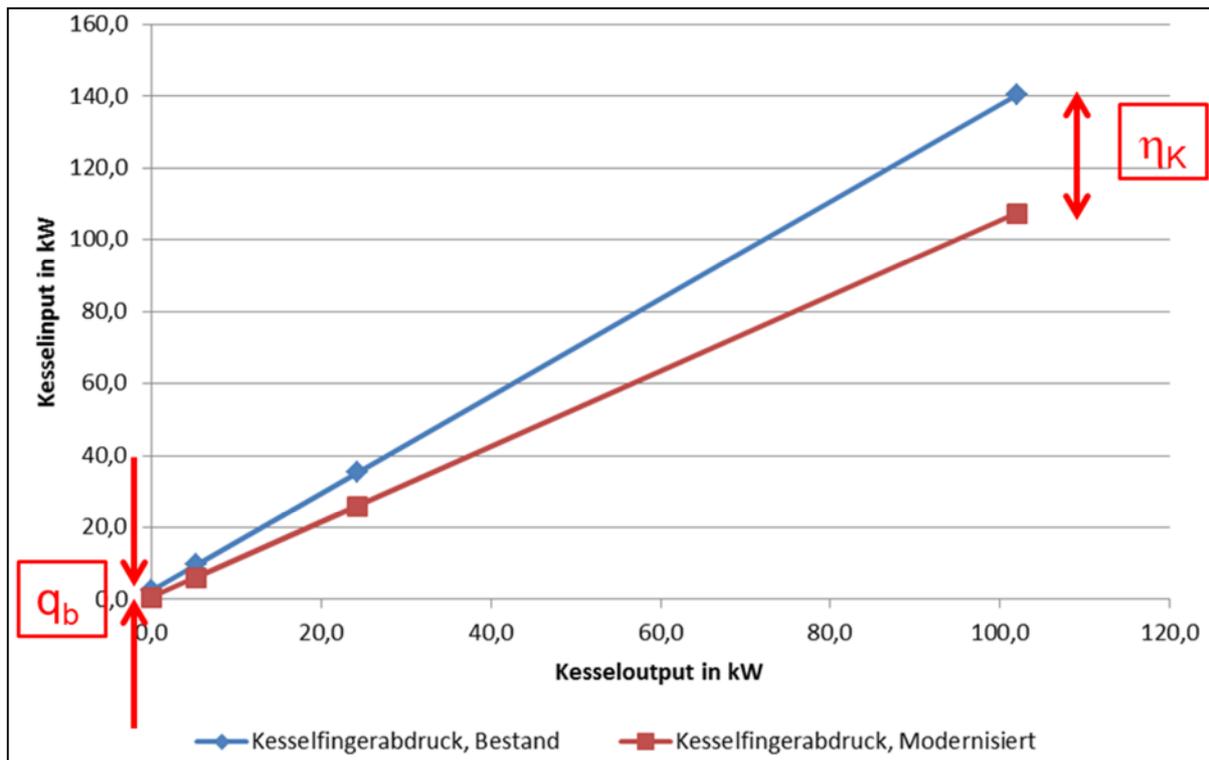


Abbildung 51 Verschwendungspotential durch Lüftung in der Übergangszeit [eigene Grafik]

Auf Seiten des Wärmeerzeugers spiegelt sich eine Modernisierungsmaßnahme im Fingerabdruck des Kessels wider, der im Nachgang einen verbesserten Kesselwirkungsgrad  $\eta_K$  und reduzierte Bereitschaftsverluste  $q_B$  aufweisen müsste.



**Abbildung 52 Reduzierung des Kesselwirkungsgrades und der Bereitschaftsverluste nach Kesseltausch [eigene Grafik]**

Maßnahmen im Bereich der Warmwasserbereitung – z.B. der Einbau einer Solaranlage - können mittels des Sommersockels nachverfolgt werden, der entsprechend einer Einsparmaßnahme sinken sollte. Im gleichen Zuge können Maßnahmen im Bereich der Verteilung und Speicherung beispielsweise aus Kennwerten der Verteilnetzstudie [4] bilanziell berücksichtigt und in der resultierenden Darstellung nachverfolgt werden – speziell bei Umstellung der Verteilungsart von Einrohr- auf Zweirohrsysteme oder beispielsweise bei Zentralisierung oder Dezentralisierung der Warmwasserbereitung.

Auch Kennwerte und Ergebnisse weiterer Studien der Literaturrecherche können auf diese Weise analysiert werden, um tatsächliche Effekte im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen sichtbar zu machen, die ggf. entgegen der theoretisch berechneten Erwartung eintreten.

### g) Quellen zu Anhang 4

- [1] DBU-Projekt: Brennwertkessel  
[http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu\\_brennwertkessel.html](http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_brennwertkessel.html)
- [2] dena-Gebäudereport 2012  
[http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb\\_udereport\\_2012\\_web?e=0](http://issuu.com/effizienzhaus/docs/dena-geb_udereport_2012_web?e=0)
- [3] DBU-Projekt: Optimus  
[http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu\\_optimus.html](http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_optimus.html)
- [4] Verteilnetzstudie  
<http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/netze.html>
- [5] Fortschrittsbericht, Aktionsprogramm Klimaschutz 2020
- [6] DBU-Projekt: Neuerkerode  
[http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu\\_neuerkerode.html](http://www.delta-q.de/cms/de/projekte/dbu_neuerkerode.html)
- [7] Gebäudeenergieberater – Ausgaben 04/05/06-2006