



## dena-Studie.

Auswertung von Verbrauchskennwerten  
energieeffizienter Wohngebäude.

# Impressum.

## Herausgeber.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Energieeffiziente Gebäude  
Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin  
Tel: +49 (0)30 72 61 65-600  
Fax: +49 (0)30 72 61 65-699  
E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de)  
Internet: [www.dena.de](http://www.dena.de)

## Autoren.

Teil 1:

Uwe Bigalke, dena  
Heike Marcinek, dena

Teil 2:

Michael Grafe, IWU Darmstadt  
Marc Großklos, IWU Darmstadt  
Tobias Loga, IWU Darmstadt  
Rolf Born, IWU Darmstadt

Stand: 06/2016

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Titelbild: dena/delectus

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Executive Summary.

## Bedeutung von Energieverbrauchseinsparungen im Gebäudebereich.

Für das gesamtgesellschaftliche Ziel des Klimaschutzes spielt der Energieverbrauch des Gebäudebereichs eine wesentliche Rolle. Über 30 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland werden durch Gebäudewärme verursacht. Das Energieeinsparpotenzial ist ebenso wie das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial im Bereich der Gebäudewärme so hoch wie in kaum einem anderen Sektor. Obwohl eine Vielzahl von Technologien zur Verfügung steht, wird die tatsächliche Erreichbarkeit von Verbrauchseinsparungen durch energieeffizientere Gebäude – sei es durch Sanierung oder Neubau – noch immer vielfach in Frage gestellt.

## Ziel der Studie.

Ziel dieser Studie ist es, anhand der Energieverbrauchsabrechnungen von effizienten Wohngebäuden (Neubau und Sanierung) aus der Effizienzhaus-Datenbank der dena tatsächlich erreichbare End- und Primärenergieverbrauchskennwerte zu ermitteln. Die über 121 verwertbaren Verbrauchsabrechnungen der effizientesten Gebäude – teilweise ergänzt durch Angaben der Eigentümer – stammen dabei nur zu einem kleinen Teil von den Leuchtturmprojekten des dena-Modellvorhabens und zu einem großen Teil von in üblicher Baupraxis entstandenen und damit in der Breite realisierbaren Neubau- und Sanierungsprojekten ab ca. 2006.

## Wesentliche Erkenntnisse.

1)

**Der Energieverbrauch energieeffizienter Wohngebäude liegt in der Praxis im Durchschnitt ca. 60 bis 95 Prozent niedriger als der eines Durchschnittsgebäudes im Jahr 2008 (Referenzjahr).**

Die Größenordnung der Energieverbrauchsreduzierung der Gebäude **hängt sehr stark von verschiedenen Parametern ab:**

- Die Auswertung aller Verbrauchskennwerte vor und nach Sanierung/Errichtung zeigt, dass eine **Gebäudedämmung** einen ganz erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Während der durchschnittliche Endenergieverbrauch eines Wohngebäudes 2008 bei ca. 150 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) lag, verbrauchten die Häuser mit effizienter Gebäudehülle zu 90 Prozent **unter rund 70 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) je nach Energieträger und Effizienzniveau sogar noch deutlich weniger.**
- Bei effizienten strombeheizten Gebäuden liegt der **Endenergieverbrauch** mit ca. 20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) im Durchschnitt deutlich niedriger als bei denen mit nicht-strombasierter Hauptheizung (ca. 50-60 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a)). Dies ist u. a. durch die anteilige Nutzung von Umweltwärme durch Wärmepumpen begründet.
- Bei Betrachtung der **Primärenergie** (d. h. unter Berücksichtigung der Energie der Vorketten, die benötigt wird, um den Strom, das Gas, die Fernwärme etc. herzustellen) liegen im Durchschnitt dagegen Gebäude mit Holzheizungen (ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a)) deutlich niedriger als Gebäude, die mit Strom (ca. 30-40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a)) oder fossilen Energieträgern wie Gas oder Öl (ca. 55 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a)) beheizt werden (s. Tabelle 1). Grund dafür ist die positive primärenergetische Bewertung des erneuerbaren Energieträgers Holz.

- Die Nutzung bestimmter Energieträger beeinflusst den Verbrauch: **Solarthermie- oder Photovoltaik-Anlagen** etwa mindern den Endenergieverbrauch, der ansonsten fossil bereitgestellt werden müsste. Aber auch das **Nutzerverhalten** spielt eine wichtige Rolle.

	Primärenergieverbrauch		Endenergieverbrauch	
	Absolutwert [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>AN</sub> ·a)]	Reduzierung ggü. 2008	Absolutwert [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>AN</sub> ·a)]	Reduzierung ggü. 2008
<b>Gebäudedurchschnitt 2008 (Referenzjahr)</b>	160	-	150	
<b>Strombasiertes Hauptheizsystem</b>	30 - 40	ca. 80 %	ca. 20	ca. 90 %
<b>Nicht-strombasiertes Hauptheizsystem</b>	10 (Holz) bis 55 (Gas/Öl)	ca. 60 % (Gas/Öl) bis 95 % (Holz)	50 - 60	60 - 65 %

Tabelle 1: Durchschnittliche End- und Primärenergieverbräuche von Neubauten und sanierten Altbauten nach Hauptheizsystem.

2)

**Vorab berechnete Kennwerte für sanierte und neu errichtete Gebäude werden im Mittel erreicht. Im Einzelfall ist immer die Berücksichtigung der individuellen Gegebenheiten vor Ort für realistische Berechnungsergebnisse erforderlich.**

- Im Mittel stimmen vorab berechneter End- und Primärenergiebedarf sehr gut mit dem tatsächlich gemessenen End- und Primärenergieverbrauch überein. Im Einzelfall kann es durch vielfältige Einflussfaktoren (insbesondere Anlagentechnik, Solarthermie, Photovoltaik, Nutzerverhalten etc.) jedoch größere Abweichungen geben (vgl. Kap. 3.3). Ein deutlicher verbrauchserhöhender „Rebound-Effekt“ z. B. durch weniger achtsames Nutzerverhalten konnte nicht beobachtet werden.
- Um vorab ein realistisches Ergebnis zu erhalten, müssen bei der Energiebedarfsberechnung individuelle Parameter einbezogen werden – insbesondere zur genauen Nutzung der Räume, der Anzahl der im Haus lebenden Personen etc. Nur auf Basis dieses sogenannten Bedarfs-Verbrauchsabgleichs können belastbare Aussagen zum Einsparpotenzial einzelner Gebäude getroffen werden.
- Bei der Analyse von 10 „Ausreißern“, bei denen Endenergiebedarf und Endenergieverbrauch in der ersten Berechnung nicht gut übereinstimmten, wurde ein solcher Abgleich nach einer Vor-Ort Begehung, einem Gespräch mit dem Eigentümer/Nutzer sowie einer erneuten Berechnung durchgeführt (vgl. Teil 2 der Studie).

Durch eine schrittweise Anpassung der Bedarfsberechnung an die tatsächliche Nutzung konnte in allen Fällen eine **weitgehende Übereinstimmung zwischen Energiebedarf und -verbrauch** erreicht werden. Große Abweichungen zwischen den beiden Werten konnten durch die Berücksichtigung u. a. von Teilnutzung bzw. -beheizung, den Einfluss des lokalen Klimas und die tatsächlichen Deckungsanteile der Energieträger weitestgehend aufgelöst werden. Auch Fehler oder eine fehlende Aktualisierung der vom Bauherrn veranlassten Energiebedarfsrechnung oder der Flächenangaben können erhebliche Abweichungen verursachen.

# **Teil 1: Breitenanalyse gemessener Endenergieverbräuche effizienter Wohngebäude.**

## **Autoren.**

Uwe Bigalke, dena

Heike Marcinek, dena

# Inhalt, Teil 1.

<b>Executive Summary</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1 Bedeutung von Verbrauchseinsparungen im Gebäudebestand.....	8
1.2 Ziel der Studie.....	9
1.3 Herausforderungen der Datenerhebung und -auswertung.....	9
1.4 Organisation der Datenerhebung.....	11
<b>2 Vorgehensweise und Methodik</b> .....	<b>12</b>
2.1 Grundlagen zum Vergleich von Endenergiebedarf und -verbrauch.....	12
2.2 Herangehensweise zur Datenabfrage.....	15
2.3 Herangehensweise zur Datenauswertung.....	16
<b>3 Auswertungsergebnisse</b> .....	<b>19</b>
3.1 Daten der zur Auswertung insgesamt einbezogenen Projekte (vor/nach Sanierung/Errichtung).....	19
3.2 Energieverbrauch der Gebäude nach Sanierung/Errichtung.....	21
3.2.1 Überblick über die ausgewerteten Gebäude.....	21
3.2.2 Auswirkung der Verbrauchskennwert-Bereinigung.....	23
3.2.3 Verteilung der Verbrauchskennwerte.....	24
3.2.4 Durchschnittliche Energiekennwerte und prozentuale Verbrauchsminderung gegenüber dem Gebäudebestand.....	26
3.2.5 Darstellung der Kennwerte der einzelnen Gebäude.....	30
3.3 Vergleich Endenergiebedarf und -verbrauch.....	33
3.4 Erzielte prozentuale Verbrauchsminderung vor/nach Sanierung in der Stichprobe.....	36
<b>4 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>39</b>

<b>5</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>41</b>
5.1	Fragebögen.....	41
5.1.1	Fragebogen Neubau Einfamilienhäuser. ....	42
5.1.2	Fragebogen Neubau Mehrfamilienhäuser.....	44
5.1.3	Fragebogen Sanierung Einfamilienhäuser. ....	46
5.1.4	Fragebogen Sanierung Mehrfamilienhäuser. ....	48

# 1 Einleitung.

## 1.1 Bedeutung von Verbrauchseinsparungen im Gebäudebestand.

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) hat seit 2003 in Zusammenarbeit mit dem damaligen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der KfW Bankengruppe das Modellvorhaben Effizienzhäuser (zuvor „Niedrigenergiehaus im Bestand“) durchgeführt. Im Rahmen des Modellvorhabens hat die dena bisher fast 400 Neubau- und Sanierungsvorhaben begleitet, die für ihre Zeit einen besonders anspruchsvollen Energieeffizienz-Standard erfüllt haben.

Diese Gebäude finden sich zusammen mit rund 1.000 weiteren Gebäuden in der Effizienzhaus-Datenbank der dena ([www.effizienzhausdatenbank.de](http://www.effizienzhausdatenbank.de)), um der interessierten Öffentlichkeit die vielfältigen Möglichkeiten des energieeffizienten Neubaus und der energieeffizienten Sanierung direkt in ihrer Nachbarschaft zu zeigen.

Dies ist von großer Bedeutung, denn die Energieeffizienz von Gebäuden ist ein zentraler Pfeiler zur Erreichung der Energiewendeziele der Bundesregierung, nach denen der Gebäudebestand bis 2050 ca. 80 Prozent Primärenergie einsparen muss (BMW, 2011a). Für Wohngebäude bedeutet dies, dass statt durchschnittlich etwa  $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  im Jahr 2008 – unter Berücksichtigung der durch den Neubau steigenden Wohnfläche – im Jahr 2050 nur noch rund  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  Primärenergie für Raumwärme und Warmwasser aufgewendet werden dürfen (berechnet auf Basis der Zahlen aus (Prognos et al., 2015), vgl. S. 3 und 8). Derart niedrige Primärenergieverbräuche sind nur durch den Dreiklang aus effizienter Gebäudehülle, effizienter Anlagentechnik und den – zumindest anteiligen – Einsatz erneuerbarer Energien erreichbar.

Für die Finanzierung der Gebäudesanierungsmaßnahmen ist es vor allem von grundlegender Bedeutung, dass sich niedrige Energiebedarfswerte nach der Sanierung auch tatsächlich beim Endenergieverbrauch einstellen. Eine Vielzahl von Presseartikeln, aber auch einige Fachartikel haben in den letzten Jahren die Effizienz der energetischen Sanierung in Frage gestellt (z. B. (IWH, 2010)). Auch der sogenannte Rebound-Effekt, der u. a. dadurch zustande kommt, dass sich Bewohner eines Gebäudes nach der Sanierung weniger sparsam verhalten als vor Sanierung, wird oft als Grund dafür aufgeführt, dass geplante Energieeinsparungen nicht erreicht werden.

Jedoch ist energetische Sanierung nicht gleich energetische Sanierung: Anstelle einer pauschalen Betrachtung von Gebäuden als „energetisch saniert“ oder „energetisch unsaniert“ ist sehr genau zu analysieren, welche Maßnahmen im Detail umgesetzt wurden und mit welcher Bauteilqualität, aber auch mit welcher Ausführungsqualität saniert wurde. Zudem verändern sich mit einer umfassenden Sanierung oft die Anzahl der Bewohner, die Größe der beheizten oder genutzten Fläche (z. B. weniger Leerstände oder Nutzung bisher ungenutzter Flächen) und die Heizgewohnheiten z. B. in Bezug auf Zusatzheizungen wie Kamine. All das erschwert eine präzise Auswertung der Sanierungseffekte, ist aber für ihre präzise Analyse erforderlich.

Im Unterschied zur Vorgängerstudie „Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude“ (Marcinek et al., 2013), die die dena im Jahr 2011 durchgeführt hat, sind in die vorliegende Studie nicht nur Sanierungsvorhaben eingeflossen, die im Rahmen der dena-Modellprojekte intensiv begleitet wurden, sondern stattdessen eine Vielzahl von Gebäuden, die unter

für alle Hauseigentümer verfügbaren Bedingungen ggf. unter Einbeziehung der KfW-Breitenförderung saniert wurden. Insofern können die Ergebnisse als in der Breite erreichbar angesehen werden.

## 1.2 Ziel der Studie.

Diese Studie zielt im Wesentlichen auf die Auswertung von drei Parametern ab, die sich unterschiedlich genau ermitteln lassen und daher unterschiedlich gut auf den deutschen Gebäudebestand übertragbar sind:

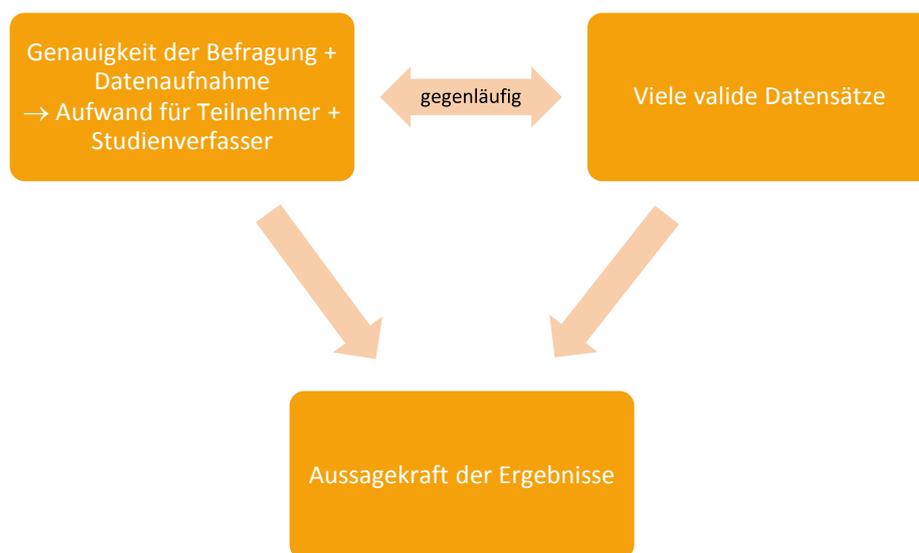
1. Der Fokus dieser Studie liegt auf der Frage, welche **Endenergieverbrauchskennwerte** in der Praxis in Neubau und Sanierung tatsächlich erreichbar sind. Dabei soll u. a. der Einfluss des Energieträgers nach Sanierung gesondert beleuchtet werden, da dieser sich sehr stark auf den Endenergieverbrauchskennwert nach Sanierung auswirkt. Für die präzise Ermittlung dieser Endenergieverbrauchskennwerte sind insbesondere vollständige Verbrauchsangaben und genaue Angaben zur beheizten Fläche erforderlich.
2. Darüber hinaus spielt die Frage eine wichtige Rolle, inwieweit die vor einer Sanierung oder vor der Errichtung der Wohngebäude **rechnerisch ermittelten Endenergiebedarfskennwerte** in der Praxis **erreicht** werden. Eine hohe Verlässlichkeit dieser Werte ist nicht zuletzt für das Vertrauen der Eigentümer in Energieeffizienzmaßnahmen von entscheidender Bedeutung. Die Ermittlung von Abweichungen zwischen Endenergiebedarf und tatsächlichem Verbrauch erfordert vollständige Angaben zum berechneten Endenergiebedarf und zum Endenergieverbrauch der auszuwertenden Gebäude. Die Gegenüberstellung der beiden Werte ist zudem eine wichtige Grundlage für die Identifizierung von „Ausreißern“, d. h. ungewöhnlichen Werten, die im Teil 2 dieser Studie genauer untersucht werden.
3. Als dritter Parameter sind **prozentuale Einsparungen** durch eine energetische Sanierung eine sehr wichtige Größe – insbesondere in der Kommunikation mit Eigentümern. Sie sind jedoch nicht nur von der Qualität der energetischen Sanierung, sondern vor allem auch sehr stark vom Verbrauch eines Gebäudes vor Sanierung abhängig und sind daher nur sehr eingeschränkt auf den Gebäudebestand übertragbar. Zudem liegen Verbrauchsangaben aus der Zeit vor der Sanierung lange Zeit nach der Sanierung nur selten vollständig vor, da die Sanierung oftmals mit Eigentümerwechseln einherging. Abhilfe für einen belastbaren Vergleichswert vor Sanierung können daher Mittelwerte des Gebäudebestands darstellen, die aus Energiestatistiken ermittelt werden können.

Die jeweiligen Herangehensweisen, Berechnungen, Ergebnisse und ihre Darstellung wurden mit dem Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) intensiv fachlich diskutiert.

## 1.3 Herausforderungen der Datenerhebung und -auswertung.

Für die Durchführung von Heizenergieverbrauchsanalysen bestehen unterschiedliche Anforderungen, die sich teilweise diametral gegenüberstehen und daher sinnvoll gegeneinander abgewägt werden müssen, um ein optimales Studienergebnis zu erzielen:

- Das wichtigste methodische Ziel ist es, mit den Studienergebnissen eine hohe Aussagekraft für den Gebäudebestand zu erreichen.
- Dazu ist eine hohe Genauigkeit bei der Befragung der Eigentümer und Nutzer und bei der Datenaufnahme der Energieverbrauchs- und Gebäudedaten erforderlich. Je höher die Genauigkeit bei der Datenaufnahme ist, desto aussagekräftiger sind die Ergebnisse der Studie.
- Jedoch gilt auch: Je höher die Präzision bei der Datenaufnahme, desto höher ist im Allgemeinen auch der Aufwand für die Teilnehmer. Und je höher der Aufwand für die Studienteilnehmer ist, desto weniger Eigentümer und Nutzer nehmen an einer Studie teil.
- Die Gesamtmenge der in der dena-Effizienzhaus-Datenbank vorhandenen Sanierungsbeispiele ist jedoch auf knapp über 1.000 begrenzt. Um möglichst hohe Rücklaufquoten und damit eine optimale Aussagekraft der Studienergebnisse zu erhalten, wurde angestrebt, die Datenerfassung auf Seiten der Gebäudenutzer und -eigentümer so einfach wie möglich zu gestalten – ohne jedoch dabei zu hohe Einbußen bei der Qualität der Datensätze zu erhalten, was die Verwertbarkeit der Daten zu sehr einschränken würde.



**Abbildung 1: Zieldreieck für die Aussagekraft der Studienergebnisse.**

Im Ergebnis dieser Abwägung wurde der Fragebogen auf zwei Seiten beschränkt. Zudem wurden lediglich Angaben abgefragt, die ein Eigentümer oder Nutzer mit großer Wahrscheinlichkeit korrekt beantworten kann (z. B. Energieträger für Heizung und Warmwasser), nicht aber Angaben, bei denen ein hohes Fehlerpotenzial besteht – insbesondere die Verbrauchsangaben selbst oder technische Details zur Heizungsanlage (z. B. Angaben zur Zirkulationspumpe etc.). Die Angaben zu den Energieverbräuchen wurden stattdessen soweit verfügbar in Form von Energierechnungen abgefragt und durch qualifizierte Mitarbeiter ausgewertet.

Von insgesamt 1.068 angeschriebenen Nutzern und Eigentümern gingen 220 Antworten ein, was einer Rückläuferquote von über 20 Prozent entspricht. Etwa zwei Drittel dieser Antworten (141) enthielten vollständige, plausible und damit verwertbare Angaben und Verbrauchsdaten.

## **1.4 Organisation der Datenerhebung.**

Die Datenerhebung für die Verbrauchsauswertung erfolgte durch Ansprache von Hauseigentümern per Brief, in welchem sie um Rücksendung eines zweiseitigen Formulars per Brief oder Fax einschließlich Abrechnungen relevanter Energieträger gebeten wurden. Alternativ konnten das Formular nach Eingabe eines kurzen Links online ausgefüllt und Verbrauchsdaten in elektronischer Form auf einen dena-Server hochgeladen werden.

Zur Befragung wurden vier verschiedene Fragebögen versandt:

- Einfamilienhaus Neubau
- Mehrfamilienhaus Neubau
- Einfamilienhaus Sanierung
- Mehrfamilienhaus Sanierung

Der wesentliche Unterschied der Fragebögen bestand darin, dass im Fragebogen zu Neubauprojekten keine Angaben zum Zustand vor Sanierung gemacht werden mussten. Der Mehrfamilienhausfragebogen unterschied sich gegenüber dem Einfamilienhausfragebogen insbesondere darin, dass hier Vermieter oder Hausverwalter angesprochen wurden. Im Einfamilienhausfragebogen wurden dagegen die Nutzer des Hauses angesprochen und zudem einige Fragen über die Nutzung der einzelnen Wohneinheit (z. B. Anzahl der Bewohner und teilweise Nichtnutzung der Wohneinheit) gestellt, während sich die Fragen des Mehrfamilienhausfragebogens jeweils auf ganze Wohneinheiten (z. B. den Leerstand der gesamten Wohneinheiten, nicht aber Teilen davon) bezogen.

## 2 Vorgehensweise und Methodik.

### 2.1 Grundlagen zum Vergleich von Endenergiebedarf und -verbrauch.<sup>1</sup>

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die Energiemengen betrachtet, die die Gebäude des Modellvorhabens für Raumwärme und Warmwasser und ggf. für eine elektrische Lüftungsanlage benötigen. Es wird dabei unterschieden zwischen dem **Endenergiebedarf** und dem **Endenergieverbrauch**.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV, (BMWi, 2013)) gibt für Endenergiebedarfs- und verbrauchskennwerte Rechenregeln vor, die jedoch zu systematischen Abweichungen zwischen Bedarfs- und Verbrauchskennwerten führen können. Um eine optimale Vergleichbarkeit zwischen den beiden Werten zu erreichen, wird im Rahmen dieser Studie punktuell von diesen Berechnungsregeln abgewichen („bereinigter Endenergiebedarf“ und „bereinigter Endenergieverbrauch“). Dies kann in Einzelfällen zu deutlichen Änderungen der Kennwerte gegenüber dem Standardverfahren der EnEV führen.

Der **Endenergiebedarf** ist die berechnete Energiemenge, die beispielsweise der Heizung in Form eines Brennstoffs oder auch in Form von Strom von außen zugeführt werden muss, um die gewünschten Rahmenbedingungen wie z. B. eine übliche Raumtemperatur zu erreichen. Der Endenergiebedarf wurde in den Projekten von den Planern gemäß Energieeinsparverordnung basierend u. a. auf den DIN Normen 4108-6 und 4701-10 bzw. 12 berechnet. Dabei wird ein standardisiertes Klima- und Nutzungsverhalten angenommen (z. B. 19 °C Innentemperatur und ein flächenabhängiger Trinkwarmwasserbedarf). Der Endenergiebedarf beinhaltet – anders als der Endenergieverbrauch – neben dem eigentlichen Brennstoff (z. B. Gas und Öl) immer auch die elektrische Hilfsenergie z. B. für Heizungs-pumpen oder Lüftungsanlagen.

Als **Endenergieverbrauch** wird im Rahmen dieser Studie die tatsächliche Energiemenge, die für die Beheizung und Warmwassererwärmung des Gebäudes eingesetzt wurde, betrachtet, also z. B. die vom Gasversorger abgerechnete Menge Erdgas. Die Energiemenge für Lüftungsanlagen und für Hilfsenergie wird in den Gebäuden – insbesondere bei nicht-elektrischer Heizung – in der Regel nicht einzeln gemessen und daher meist nicht berücksichtigt. Entsprechend der Bilanzgrenze und Vorgehensweise der EnEV und der dazugehörigen Normen werden die am Gebäudestandort zur Wärmeerzeugung genutzten erneuerbaren Energien ohne nicht-erneuerbaren Anteil (d. h. insbesondere Solarthermie und Umweltwärme) nicht als Endenergieverbrauch betrachtet. Nach DIN EN 15603, die für die Berechnungen zur Effizienzstrategie Gebäude des BMWi angewandt wurde (Prognos et al., 2015), zählen diese Energieträger zum Endenergieverbrauch und erhöhen den erneuerbaren Deckungsanteil. Die dort angegebenen Endenergieeinsparungen (z. B. der Maximalwert von 54 Prozent) enthalten somit nur durch Gebäudedämmung und Anlageneffizienz erzielte Verbrauchsminderungen und fallen dadurch niedriger aus als nach EnEV berechnete Einsparungen.

Der Endenergieverbrauch eines Gebäudes hängt einerseits vom lokalen und jährlich wechselnden Klima ab, andererseits von der Art der Nutzung, d. h. davon, ob das Gebäude vollständig bewohnt ist und wie die Bewohner das Gebäude nutzen (Anzahl Bewohner, Vorlieben für die Raumtemperatur,

<sup>1</sup> Dieses Kapitel wurde teilweise aus der Vorgängerstudie „Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude“ (Marcinek et al., 2013) übernommen, um den Kontext für alle Leser zu erhalten.

Warmwassernutzung und Lüftungsgewohnheiten, zeitweise Abwesenheit über den Tag oder über mehrere Tage etc.). Um den Endenergieverbrauch möglichst gut mit dem Endenergiebedarf vergleichen zu können, kann dieser leerstandsbereinigt und klimabereinigt werden. Die Bekanntmachung zur EnEV „Energieverbrauchswerte im Wohngebäudebestand“ (BMWi, 2015) bietet dazu zwar ein entsprechendes Verfahren an. Dies ist jedoch sehr pauschal und berücksichtigt beispielsweise nicht die Unterschiede, die zwischen Zwei- und kleinen oder großen Mehrfamilienhäusern in dieser Hinsicht bestehen bzw. sind nicht für teilweise Leerstände innerhalb von Wohneinheiten anwendbar. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Studie ein eigener Schätzansatz zur Leerstandsbereinigung gewählt.

Trotz Leerstands- und Klimabereinigung besteht mit dem Nutzereinfluss ein sehr großer Einflussfaktor, aufgrund dessen sich die Berechnung des Endenergiebedarfskennwerts deutlich von der Berechnung des Energieverbrauchskennwerts unterscheiden kann. Während die Bedarfsberechnung vom oben beschriebenen „Normnutzer“ ausgeht, spiegelt sich im Verbrauchskennwert das tatsächliche Nutzerverhalten wider. Gerade in unsanierten Gebäuden führt dies häufig dazu, dass der Energieverbrauchskennwert unter dem Endenergiebedarfskennwert liegen kann.

Die wichtigsten Gründe für Abweichungen zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch bei einzelnen Gebäuden sind:

- Einfluss der Nutzung und Raumtemperatur:

Insbesondere unsanierte Gebäude weisen häufig sowohl eine niedrigere Durchschnittsraumtemperatur als auch einen geringeren Luftwechsel auf als in der EnEV angenommen (PASSIVHAUS INSTITUT, 2015). Eine geringere Durchschnittsraumtemperatur resultiert beispielsweise aus Teilnutzungen von Wohneinheiten. Wird ein Obergeschoss eines Einfamilienhauses nicht mehr ständig beheizt, weil die Kinder der Familie ausgezogen sind, wird ein Schlafzimmer tagsüber nicht beheizt oder werden beheizbare Kellerräume selten genutzt, so sind dies Nutzungen, die sich von der „Normnutzung“ unterscheiden. Darüber hinaus haben die Belegung der Wohnungen sowie das konkrete Nutzerverhalten allgemein einen erheblichen Einfluss auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Einpersonenhaushalte verbrauchen naturgemäß weniger Energie als Mehrpersonenhaushalte, Haushalte mit Personen, die tagsüber in der Regel außer Haus sind (z. B. Berufstätige) verbrauchen in der Regel weniger Energie als Haushalte, die sich viel in der Wohnung aufhalten (z. B. Familien oder Senioren), etc. Darüber hinaus werden gerade in unsanierten Gebäuden die Räume vor dem Hintergrund steigender Energiepreise häufig nicht vollständig beheizt.

- Leerstände:

Das Verfahren zur Leerstandsbereinigung der EnEV erhöht den Energieverbrauchskennwert von Wohngebäuden auch bei größeren Leerständen nur geringfügig. Stehen beispielsweise 50 Prozent der Fläche eines Wohngebäudes das ganze Jahr über leer, wird der gemessene Energieverbrauch zur Berechnung des Kennwerts lediglich um 12,5 Prozent erhöht. Als deutlich zu niedrig erscheint dieser Wert beispielsweise bei Zweifamilienhäusern, bei denen eine der beiden Wohneinheiten leer steht. Dies würde bedeuten, dass sich der Verbrauch der bewohnten Wohneinheit bei Leerstand der zweiten Wohneinheit um fast 80 Prozent gegenüber einer Wohneinheit mit angrenzender beheizter Wohnung erhöhen müsste. Die bewohnte Wohneinheit würde die unbewohnte also fast vollständig „mitbeheizen“.

- **Nicht leitungsgebundene Energieträger:**  
Bei Energieträgern, die nicht leitungsgebunden sind (wie beispielsweise Holzpellets oder Heizöl) werden die verbrauchten Energiemengen anhand der Lieferrechnungen bestimmt. Eine Ungenauigkeit entsteht dadurch, dass in der Regel die Füllmenge des Lagers oder des Tanks zu Beginn und am Ende des Betrachtungszeitraums nicht bekannt ist.
- **Klimabereinigung:**  
Die Klimabereinigung geht von einer Heizgrenztemperatur von 15 ° C aus. Gerade bei sanierten Gebäuden wird die Heizung aber teilweise erst bei deutlich niedrigeren Temperaturen eingeschaltet, was zu Differenzen zwischen Endenergiebedarf und Energieverbrauchskennwert führen kann.
- **Dezentrale Warmwasserbereitung:**  
Für dezentrale Warmwasserbereitung liegen nur sehr selten tatsächliche Verbrauchsdaten (z. B. Stromverbrauch) vor. Pauschalwerte für den Warmwasserverbrauch können aber je nach Nutzung und Wohnungsgröße deutlich zu niedrig oder zu hoch liegen.
- **Stromverbrauch für Heizwärmebereitung:**  
Der abgerechnete Stromverbrauch für eine Nachtstromspeicherheizung oder eine Wärmepumpe kann unter Umständen nicht nur den Energieverbrauch für Heizwärme und Warmwasser, sondern auch den Verbrauch für Haushaltsstrom enthalten. Dieser Anteil wurde aufgrund einer Annahme, die sich an einem durchschnittlichen Verbrauch orientiert, herausgerechnet. Abweichungen im Gesamtergebnis werden verursacht, wenn der tatsächliche Verbrauch für Haushaltsstrom vom Durchschnittswert abweicht.
- **Nutzungstyp:**  
Bei einzelnen Objekten werden Bereiche im Gebäude nicht ausschließlich zum Wohnen genutzt. Geprüft werden muss bei diesen Objekten in der Detailauswertung, welche Bereiche durch die Heizungsanlage versorgt werden. Die Ergebnisse können sich erheblich verschieben, wenn z. B. ein sich im Erdgeschoss befindliches Jugendheim über die Heizungsanlage mitversorgt wird.
- **Nutzerverhalten:**  
Ein besonderes Problem beim Vergleich von Energieverbräuchen vor und nach einer Sanierung stellt die Nutzungsänderung dar, etwa durch einen Eigentümerwechsel im Einfamilienhaus. Selbst wenn ein Haus vor und nach einer Sanierung von den gleichen Bewohnern genutzt wird, ist davon auszugehen, dass sich deren Nutzungsgewohnheiten über die Zeit ändern, etwa weil Familienmitglieder zuziehen oder ausziehen. Wird ein Gebäude jedoch mit dem Eigentümerwechsel saniert, können sich besonders starke Unterschiede zwischen der Nutzung vorher und der Nutzung nachher ergeben, etwa wenn ein zuvor von einem Rentnerehepaar genutztes Haus nach der Sanierung von einer Familie bewohnt wird.  
Zudem werden in der Literatur Verhaltensänderungen der Bewohner aufgrund der Sanierung beschrieben, da mit der Sanierung oftmals eine Komforthöhung bzw. der Wunsch nach mehr Komfort und einer dann als geringer empfundenen Notwendigkeit zu sparsamem Verhalten einhergeht, die dazu führen können, dass ein Teil der geplanten Einsparungen wieder aufgezehrt wird. Auch aus physikalischen Gründen wirken sich in einem sanierten Gebäude Teilbeheizungen oder Nachtabsenkungen oftmals weniger stark aus als in unsanierten Gebäuden. Solche Effekte werden in der Literatur auch als „Rebound-Effekte“ bezeichnet (Hacke, 2015).

- Sonstige Abweichungen zwischen pauschalen Rechenwerten und tatsächlichen Werten in der Praxis:

Neben den o.g. Faktoren führen auch Vereinfachungen und Normierungen innerhalb des Standardverfahrens für die Berechnung des Endenergiebedarfs dazu, dass sie sich von Energieverbrauchs-kennwerten unterscheiden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise:

- Vereinfachung der Anlagenverluste durch eine Erzeugeraufwandszahl, die in der Praxis aufgrund des Fabrikats, des Aufstellorts, der Steuerung etc. insbesondere bei Wärmepumpen deutlich abweichen kann.
- Vereinfachung des Einflusses der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (in der Praxis Abhängigkeit vom Fabrikat, Steuerung etc.)
- Vereinfachung des Einflusses der Solarthermie oder Photovoltaik (in der Berechnung: monatliche Bilanz, Ansatz von Standard-Strahlungswerten, die in der Praxis je nach Ort und Jahresklima deutlich abweichen können)
- Einfluss Hilfsenergie (in der Praxis abhängig vom u. a. vom Pumpentyp und -fabrikat)

Aus den genannten Gründen kann ein Energiebedarf die tatsächlichen Verbräuche immer nur näherungsweise abbilden.

## 2.2 Herangehensweise zur Datenabfrage.

Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, gilt es in Studien zur Verbrauchsauswertung von Gebäuden in besonderem Maße, ein Optimum zwischen Genauigkeit der Befragung und Minimierung des Aufwands für die Befragten zu finden.

Zur Datenaufnahme für diese Studie wurde daher eine möglichst große Zahl von Gebäudeeigentümern, deren Gebäude in der dena-Effizienzhaus-Datenbank eingetragen sind, mit einem zweiseitigen Fragebogen angeschrieben, der in nur wenigen Minuten online oder auf Papier auszufüllen ist. Dieser beinhaltet jedoch nur ein Minimum der für die Auswertung erforderlichen Daten. Dazu gehören insbesondere:

- Angaben zum Zeitraum der Sanierung bzw. Baufertigstellung
- Angaben zur Wohnfläche des Gebäudes und zur Zahl der Wohneinheiten, bei EFH zur Zahl der Nutzer, bei Sanierung jeweils vor und nach Sanierung
- Angaben zum Leerstand, bei EFH auch zu kaum beheizten Flächen
- Angaben zur Art der Heizung und der Warmwasserbereitung und den jeweiligen Energieträgern
- Angaben zum Bezug der mitgelieferten Verbrauchsangaben oder Verbrauchsabrechnungen

Parallel zum Fragebogen konnten die Teilnehmer entweder Originalabrechnungen einreichen und/oder händische Angaben zu Energieverbräuchen machen. Letzteres wurde vielfach genutzt, ganz besonders bei Energieträgern, für die anderweitig keine Daten vorlagen, wie z. B. Verbräuche des Voreigentümers oder Verbräuche von Kaminholz.

Die vom Eigentümer bzw. Nutzer abgefragten Daten konnten zur Auswertung durch die Daten der Effizienzhaus-Datenbank ergänzt werden. In dieser liegen detaillierte Angaben zum Gebäude allge-

mein, den einzelnen Bauteilen der Gebäudehülle und zur Anlagentechnik sowie meist einige Fotos vor.

Lagen im Fragebogen oder in den Daten der Effizienzhaus-Datenbank Lücken oder unplausible Werte vor (z. B. fehlende Transmissionswärmeverluste  $H_T$ -Werte oder einzelne U-Werte, unklare Angaben zum Energieträger etc.), die nicht durch weitere Recherche mit vertretbarem Aufwand geklärt werden konnten, wurden sinnvolle Annahmen getroffen, sofern die zu erwartenden Abweichungen klein waren. Ließen die Angaben bzw. fehlenden Angaben erwarten, dass sich kein verwertbarer Verbrauchskennwert errechnen lässt, wurden die jeweiligen Datensätze nicht in die Auswertung einbezogen – etwa bei nur monatsweiser Nutzung eines Hauses als Ferienhaus.

## 2.3 Herangehensweise zur Datenauswertung.

Die Datenauswertung erfolgte in folgenden Schritten:

### Schritt 1: Vorbereitung der Daten

- Digitalisierung aller nicht-digitalen Angaben aus den Formularen und Abrechnungen
- Händische Ergänzung des Anwendungszwecks der einzelnen Energieträger aus dem Zusammenhang und den Freitextangaben des Nutzers

### Schritt 2: Plausibilitätsprüfung

- Prüfung der Abrechnungszeiträume vor/nach Sanierung durch Vergleich mit dem Sanierungszeitpunkt
- Vollständigkeit der vorliegenden Verbrauchsabrechnungen – Überprüfung mit der Nutzerangabe zu Energieträgern
- Ermittlung eines überschlägigen Verbrauchskennwerts und Vergleich mit dem Verbrauchskennwert nach Bereinigung. Werte mit besonders hohen Abweichungen wurden detailliert geprüft, um die Korrektheit des Verfahrens und der zugrundeliegenden Angaben sicherzustellen und ggf. fehlerhafte Werte von der Auswertung auszuschließen.
- Plausibilisierung des Verhältnisses von Primärenergiebedarf zu Endenergiebedarf aus der Effizienzhaus-Datenbank mit dem Energieträger
- Plausibilisierung der Wohnflächenangabe aus dem Fragebogen mit der Angabe aus der Effizienzhaus-Datenbank
- Plausibilisierung der aus der Wohnfläche berechneten Nutzfläche  $A_N$  mit der Angabe aus der Effizienzhaus-Datenbank (ersatzweise z. T. aus Volumen ermittelt)
- Plausibilisierung der Wohnfläche je Wohneinheit
- Detaillierte Prüfung der Validität der Daten bei Angabe, dass der angegebene Verbrauch nicht den Verbrauch des gesamten Gebäudes widerspiegelt, insbesondere um zu gewährleisten, dass die angegebene Wohnfläche mit den erfassten Verbräuchen übereinstimmt und zu vermeiden, dass Gebäudeverbräuche nur teilweise – z. B. für einzelne Wohnungen – erfasst wurden

### Schritt 3: Berechnung des Verbrauchskennwerts

- Umrechnung der Verbrauchsangaben in kWh Heizwert (in seltenen Fällen Umrechnung aus Kostenangaben mithilfe von Durchschnittspreisen des Abrechnungsjahrs)
- Berechnung des Warmwasseranteils
  - bei EFH über die Anzahl der Bewohner, falls Angabe vorhanden, sonst über einen Pauschalwert je genutzter (also nicht leerstehender) Wohnfläche
  - dabei Berücksichtigung der Anlagenaufwandszahl in Abhängigkeit vom Sanierungsstand (vor/nach Sanierung), Vorhandensein einer Solaranlage, Gebäudegröße (EFH/MFH), zentraler/dezentraler Erzeugung
  - Umrechnung des jahresbezogenen Werts auf die Anzahl der Tage der Abrechnung, falls diese von 365 Tagen abweicht
  - Deckelung des Warmwasseranteils auf den Gesamtverbrauch
- Berechnung des Abzugs für Haushaltsstrom für strombasierte Heiz-/Warmwassersysteme mit gemeinsamer Abrechnung
- Aufteilung des Gesamtverbrauchs der verschiedenen Energieträger auf die Anwendungszwecke Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom für die jeweiligen Abrechnungszeiträume
- Zeitbereinigung: Umrechnung des Heizenergieverbrauchs von Abrechnungszeiträumen, die von 365 Tagen abweichen, auf 365 Tage mithilfe einer für den Klimastandort Würzburg tagesgenau ermittelten Gradtagszahl
- Leerstandsberichtigung: Leerstandsberichtigung des Heizenergieverbrauchs durch einen Faktor, der sich aus einer geschätzten Raumtemperatur bei Leerstand ergibt. Diese ist von der Gebäudegröße und dem Sanierungszustand (vor/nach Sanierung) abhängig.
- Klimabereinigung: Klimabereinigung des Heizenergiekennwerts mithilfe der postleitzahlengenauen Klimafaktoren des DWD für den jeweiligen Zeitraum
  - Ermittlung des bereinigten Gesamtverbrauchs aus klimabereinigtem Heizenergiekennwert für 365 Tage und zuvor abgezogenem Warmwasseranteil für 365 Tage
- $A_N$ -Bezug: Ermittlung der Nutzfläche  $A_N$  aus den Angaben zur Wohnfläche aus dem Fragebogen mithilfe der Faktoren aus der EnEV (1,2 bzw.  $1,35 \cdot A_N$ , je nach Gebäudetyp). Bei fehlender Angabe im Fragebogen: Angabe ersatzweise aus der dena-Effizienzhaus-Datenbank übernommen
- Ermittlung des flächenbezogenen, zeitlich, klima- und leerstandsberinigten Endenergieverbrauchs-kennwerts für Heizung und Warmwasser aus Gesamtverbrauch durch die Nutzfläche  $A_N$  – im folgenden Verbrauchskennwert genannt – einheitlich strombasierte Heizsysteme inkl. Hilfsenergie, Brennstoffe ohne Hilfsenergie

### Schritt 4: Berechnung des Endenergiebedarfs für den Vergleich

- Um die Vergleichbarkeit zwischen Endenergiebedarf und Verbrauchskennwert der Gebäude zu erhöhen, wird bei nicht-strombasierten Anlagensystemen ein Pauschalwert für Hilfsenergie vom Endenergiebedarfskennwert abgezogen. Dieser Wert wurde auf Basis der Tabellenwerte der Bekanntmachungen zur EnEV (BMWi, 2015) aus den Einzelwerten für Hilfsenergie Verteilung, Spei-

cherung und Erzeugung Warmwasser/Heizung sowie den entsprechenden Werten für Lüftung ermittelt und nach Gebäudegröße ( $A_N$ ) interpoliert.

<b>Pauschale Abzugswerte</b>	$A_N$	150 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	2500 m <sup>2</sup>
<b>Hilfsenergie Heizung und Warmwasser [kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b>		2,8	1,8	1,2
<b>Hilfsenergie Lüftung [kWh/(m<sup>2</sup>·a)]</b>		2,2	2,2	2,2

Tabelle 2: Pauschale Abzugswerte für Hilfsenergie.

### Schritt 5: Berechnung weiterer für die Auswertung bzw. grafische Darstellung erforderlicher Kennwerte

- Abschätzung des hüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlusts  $H'_T$ , sofern nicht vorhanden, aus den Bauteil-U-Werten mithilfe von Flächen von zwei Mustergebäuden (EFH/MFH)
  - Sofern U-Werte nicht vollständig vorhanden: Abschätzung von U-Werten einzelner Bauteile auf Basis von sanierungsjahrabhängigen Standard-U-Werten und Angaben aus Freitextanmerkungen
  - Derartige Abschätzungen waren in 32 von 132 Fällen erforderlich (vgl. Kapitel 3.2.1).

Der Einfluss der Bereinigung der Kennwerte wird in Kapitel 3.2.2 im Detail dargestellt.

## 3 Auswertungsergebnisse.

Während im 1. Teil dieser Studie die im Mittel der betrachteten Gebäude erreichten Kennwerte untersucht werden, sind die Ergebnisse einzelner Gebäude Gegenstand des 2. Teils der Studie.

Der Fokus der Ergebnisdarstellung im 1. Teil liegt auf dem absoluten Energieverbrauch der neu errichteten bzw. sanierten Gebäude (Kapitel 3.2). Dieser absolut erzielte Wert lässt sich einfach mit durchschnittlichen Kennwerten des deutschen Gebäudebestands vergleichen.

Nichtsdestotrotz stellt sich in der Praxis auch immer wieder die Frage, ob der zuvor durch den Energieberater berechnete Endenergiebedarf nach der Sanierung tatsächlich erreicht wird. Das ist für die Erreichung der Klimaschutzziele von großer Bedeutung. Dies wird in Kapitel 3.3 dargestellt.

Die tatsächlich erzielbare Einsparung ist für die Fälle, in denen ein plausibler Energieverbrauch vor Sanierung vorlag, in Kapitel 3.4 aufgeführt – diese Ergebnisse sind für die ökonomische Betrachtung von Maßnahmen wichtig.

Zur Vereinfachung werden in diesem Kapitel vielfach durchschnittliche Kennwerte dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass diese zwar maßgeblich z. B. von den teilweise in den Grafiken dargestellten Parametern Energieträger und Neubau/Sanierung (und u. a. dem damit verbundenen unterschiedlichen Dämmstandard) abhängig sind. Darüber hinaus beeinflussen jedoch eine Vielzahl von weiteren Faktoren den Endenergieverbrauch, wie z. B. weitere Energieträger/Heizsysteme (insbesondere Energieträger, die den Endenergieverbrauch mindern, wie Solaranlagen, Photovoltaik etc.), ebenso wie Lüftungsanlagen oder die in Kapitel 2.1 dargestellten Nutzungsfaktoren. Damit können diese Werte nur als Indikatoren für eine Größenordnung gelten, die in effizienten Gebäuden erreichbar ist, nicht aber als repräsentativ für den gesamten Neubau oder die Sanierung im Allgemeinen.

### 3.1 Daten der zur Auswertung insgesamt einbezogenen Projekte (vor/nach Sanierung/Errichtung).

Insgesamt haben 220 Gebäudeeigentümer auf die Befragung geantwortet, nicht alle davon jedoch mit allen erforderlichen Unterlagen – d. h. einem ausgefüllten Fragebogen und Verbrauchsabrechnungen zu allen für die Beheizung und Warmwasserbereitung genutzten Energieträgern. 79 konnten nicht verwendet werden, da Angaben zu mindestens einem Energieträger – insbesondere Stückholz für vorhandene Kamine – fehlten und so kein vollständiger Verbrauch ermittelt werden konnte.

141 Datensätze waren für die vorgesehenen Analysen nutzbar – enthalten also insbesondere sinnvolle und vollständige Angaben zum Energieverbrauch **vor Sanierung oder nach Sanierung/Errichtung**.

Im Einzelnen lassen sich die 141 insgesamt nutzbaren Datensätze wie folgt beschreiben:

	energetische Sanierung	Neubau	Summe
EFH / ZFH	59	50	109
MFH	25	7	32
Summe	84	57	141

Tabelle 3: Aufteilung der 141 nutzbaren Datensätze nach Sanierung/Neubau und Gebäudegröße.

■ Größenverteilung:

- Tabelle 3 zeigt, dass die meisten untersuchten Gebäude neu errichtete und energetisch sanierte Ein- und Zweifamilienhäuser sind.
- Abbildung 2 stellt die Größenverteilung nach Neubau und Sanierung getrennt grafisch dar.

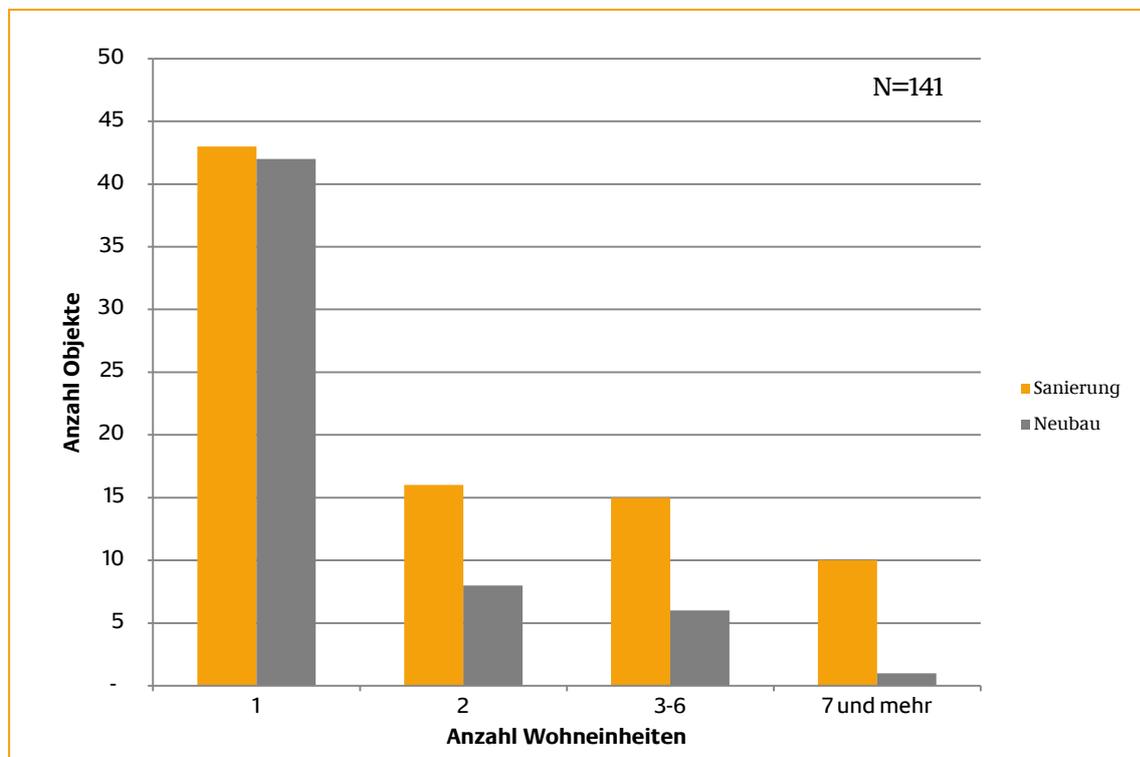


Abbildung 2: Verteilung der Gebäudegrößenklassen der insgesamt untersuchten Objekte mit validen Daten (vor/nach Sanierung/Errichtung).

■ Sanierungstiefe (modernisierte Gebäude)

- Die Gebäude sind mit unterschiedlichen energetischen Standards saniert worden (vgl. Abbildung 4). Teilweise wurden einzelne Bauteile nicht saniert, in wenigen Einzelfällen beschränkten sich die Sanierungsmaßnahmen weitgehend auf die Heizungsanlage.

■ Sanierungs-/Errichtungszeitraum

- Etwa drei Viertel der Gebäude (108 von 141 bzw. 77 Prozent) wurden zwischen 2006 und 2010 errichtet bzw. saniert, die übrigen zwischen 2001 und 2005 bzw. nach 2011.

## 3.2 Energieverbrauch der Gebäude nach Sanierung/Errichtung.

### 3.2.1 Überblick über die ausgewerteten Gebäude.

Zur Auswertung der Verbrauchsdaten **nach Sanierung/Errichtung** standen 136 valide Datensätze zur Verfügung. 5 der 141 insgesamt nutzbaren Datensätze enthielten lediglich plausible Daten vor Sanierung, nicht jedoch nach Sanierung. Jeweils deutlich mehr als ein Drittel der nutzbaren Daten **nach Sanierung** entfällt auf die Hauptenergieträger Holz und Strom (meist Wärmepumpen), etwa ein Viertel der untersuchten Häuser nutzt nach der Sanierung Gas, Heizöl oder Fernwärme.

Die Energieträger der Neubauten und der modernisierten Bestandsgebäude verteilen sich wie folgt:

- 50 Gebäude mit dem Hauptenergieträger Holz (insbesondere Pellets)
- 55 Gebäude mit dem Hauptenergieträger Strom (insbesondere Wärmepumpen)
- 31 Gebäude mit dem Hauptenergieträger Gas, Heizöl oder Fernwärme

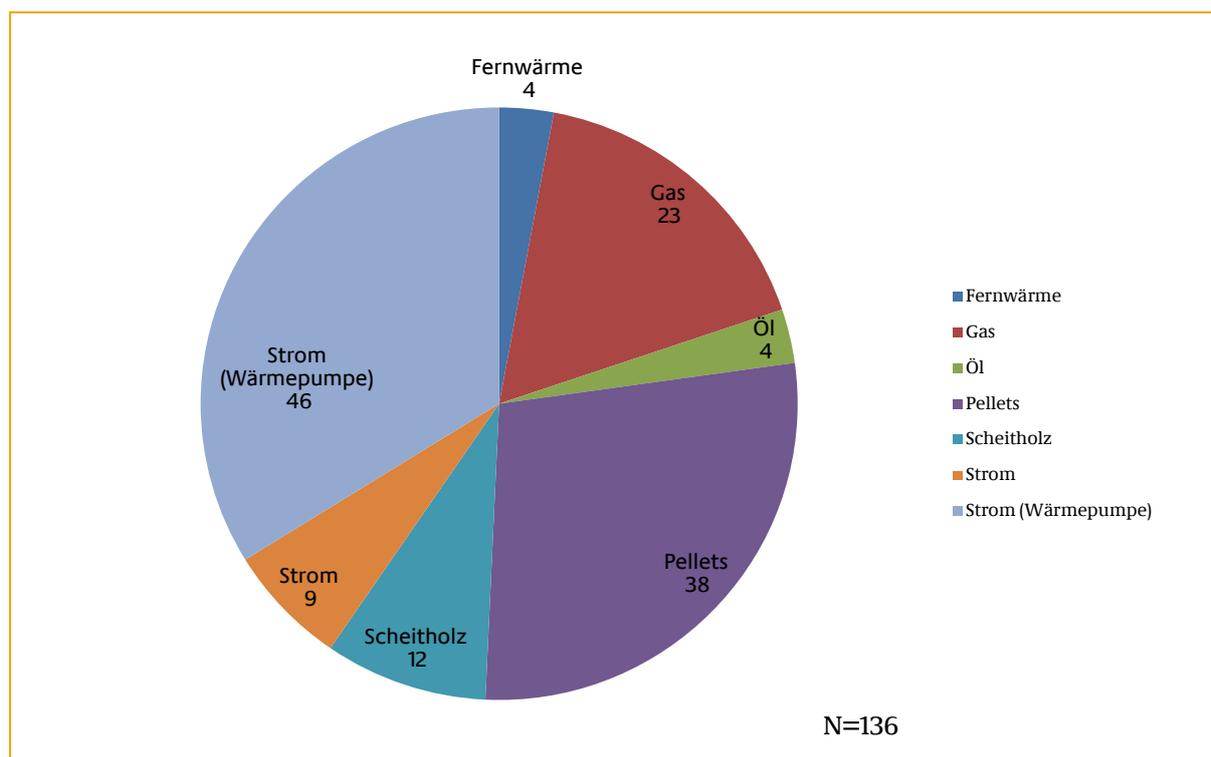


Abbildung 3: Verteilung der Hauptenergieträger nach Errichtung/Sanierung.

Die einbezogenen Gebäude sind weitestgehend effiziente bis hocheffiziente Neubauten oder weitgehend sanierte Gebäude. Nur in einzelnen Fällen wurde die Gebäudehülle nicht bzw. nicht vollständig energetisch saniert. Abbildung 4 stellt dies anhand des Transmissionswärmeverlusts  $H'_{T}$  der Gebäude

dar, der für 132 der 136 Gebäude zumindest näherungsweise ermittelt werden konnte (zur Berechnung der Werte vgl. Kapitel 2.3). 121 der 132 Gebäude (89 Prozent) weisen einen  $H'_T$ -Wert von unter  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  auf. Die meisten Neubauten (88 Prozent) liegen unter  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , die meisten Sanierungsobjekte unter  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  (73 Prozent).

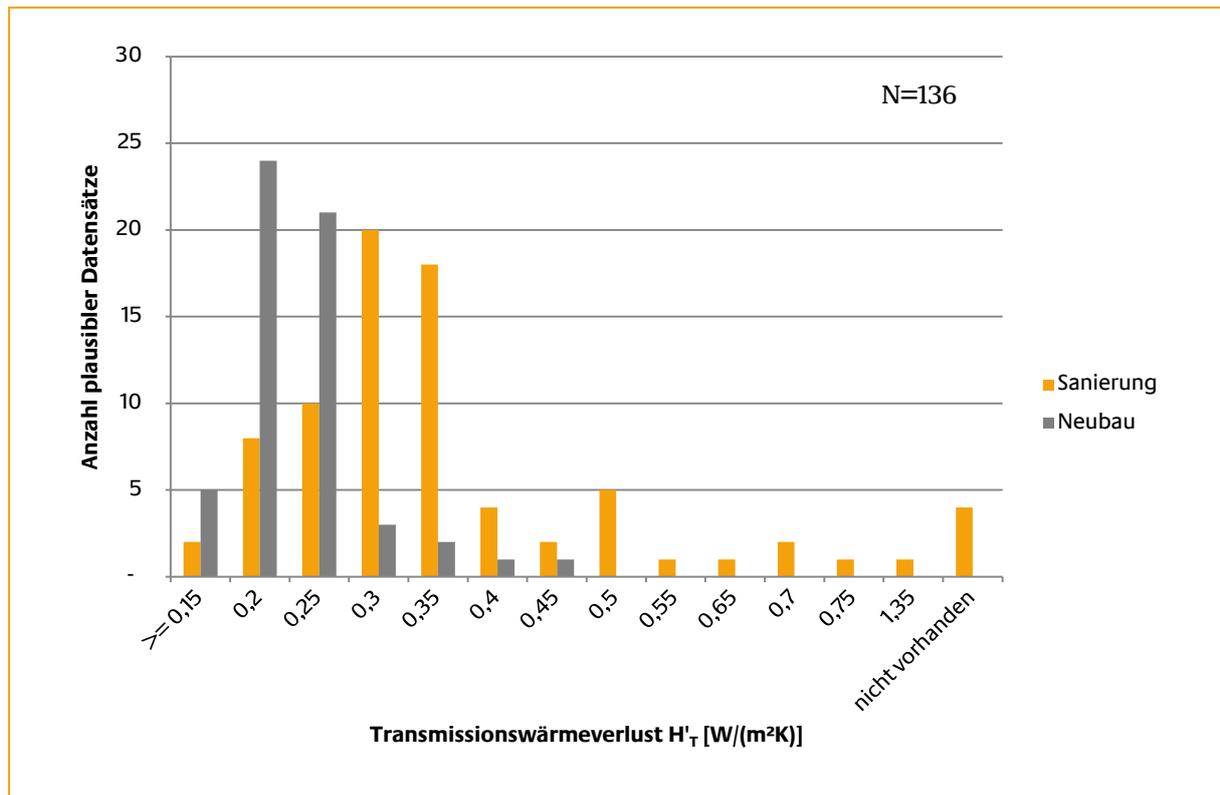


Abbildung 4: Mittlerer Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  nach Sanierung/Errichtung.

- Die Transmissionswärmeverluste der neuen bzw. sanierten Gebäude liegen größtenteils zwischen  $0,2$  und  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .
- Zum Vergleich: die  $H'_T$ -Werte durchschnittlicher Altbauten liegen ca. zwischen  $1,0$  und  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  (Bigalke et al., 2014).

### 3.2.2 Auswirkung der Verbrauchskennwert-Bereinigung.

Um die Verbrauchskennwerte vergleichbar zu machen, wurden die zur Verfügung gestellten Verbrauchsangaben über die in Kapitel 2.3 dargestellten Schritte bereinigt. Abbildung 5 zeigt den Einfluss dieser Schritte, aufsteigend sortiert nach dem finalen Verbrauchskennwert. Es zeigt sich, dass in wenigen Fällen bei strombasierten Systemen der Abzug des Haushaltsstroms (Reihe 1→2) die Werte erheblich verändert, ebenso wie die zeitliche Bereinigung in Fällen, in denen Verbräuche für Zeiträume vorliegen, die erheblich von zwölf Monaten abweichen (Reihe 2→3). Leerstands- und Klimabereinigung (Reihe 3→4+5) erhöhen in manchen Fällen die Verbräuche leicht. Die Umrechnung von wohnflächenbezogenen Werten zu  $A_N$ -bezogenen Werten (Reihe 5→6) hat bei allen Kennwerten einen erkennbaren, wenn auch verhältnismäßig geringen absoluten Einfluss. Die einheitliche Berücksichtigung der Hilfsenergie kommt nur in wenigen Fällen zum Tragen (Reihe 6→7).

In Summe liegen unbereinigter wohnflächenbezogener und bereinigter  $A_N$ -bezogener Kennwert bei Endenergieverbrauchskennwerten unter  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  im Durchschnitt  $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  auseinander. Bei Endenergieverbrauchskennwerten über  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  beträgt die durchschnittliche Abweichung ca.  $26 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$ . Jedoch beeinflussen hier einige wenige Ausreißer den Durchschnittswert erheblich: Drei der vier größten Abweichungen beruhen auf der Angabe von Verbrauchskennwerten über zwei und mehr Jahre, die daher zu besonders großen Veränderungen führen. Ohne diese drei Werte beträgt die durchschnittliche Abweichung zwischen unbereinigtem und bereinigtem Kennwert noch ca.  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  und kann im Verhältnis zu üblichen Energieverbräuchen unsanierter Gebäude (ca.  $180 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  und mehr) als relativ klein angesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich damit festhalten, dass die erforderlichen Bereinigungen der gemessenen Werte zu einer höheren Genauigkeit und besseren Vergleichbarkeit der Werte führen, in den meisten Fällen aber nicht die Größenordnung des Verbrauchskennwerts und damit der erzielten Einsparungen verändert.

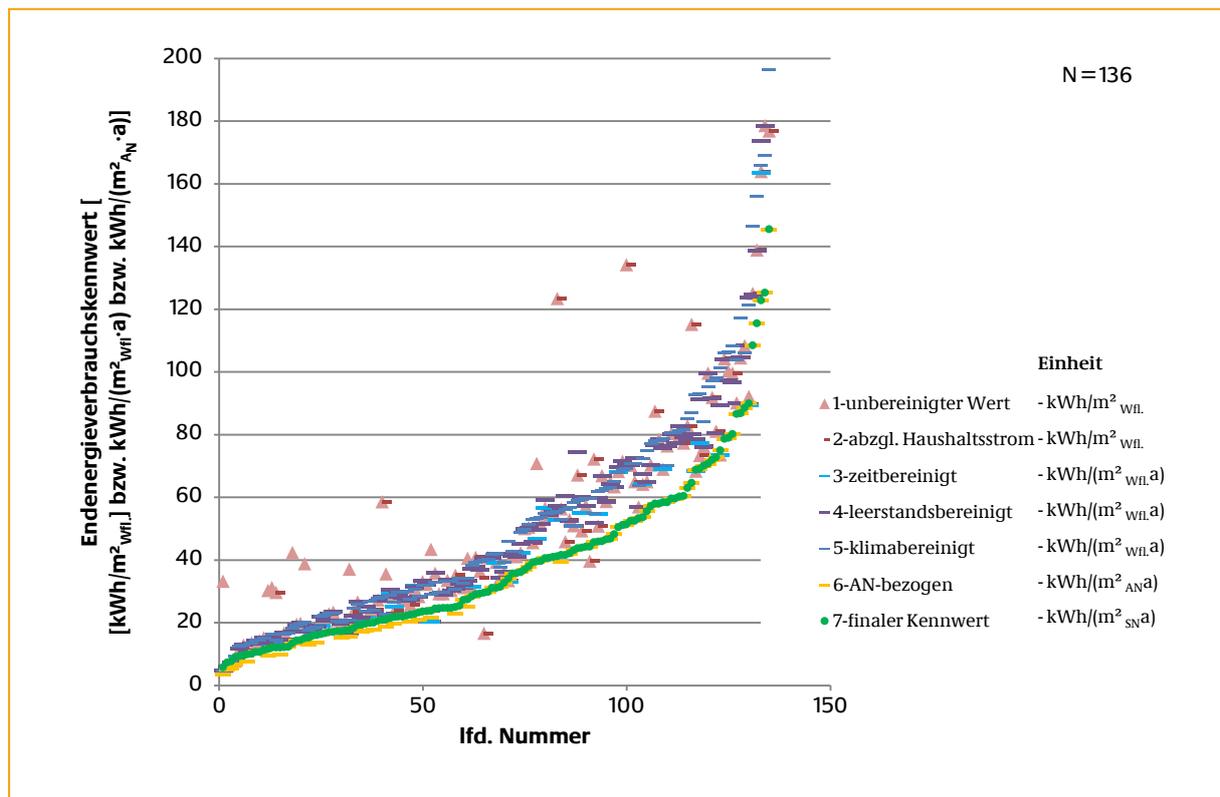


Abbildung 5: Wohnflächenbezogene (Reihe 1 bis 5) bzw. nutzflächenbezogene (Reihen 6 und 7) Verbrauchskennwerte. Werte aufsteigend nach finalem Verbrauchskennwert (Nr. 7) sortiert.

### 3.2.3 Verteilung der Verbrauchskennwerte.

Abbildung 6 stellt die ermittelten Endenergieverbrauchskennwerte nach Sanierung/Errichtung in aufsteigender Reihenfolge dar. Das arithmetische Mittel der Kennwerte liegt bei 40,3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a), der Median bei 31,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a). Der Kennwert von 6 der 136 Objekte liegt über 100 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a). Mit Ausnahme eines einzigen Objekts (vgl. Teil 2 der Studie, Objekt 8) sind dies Gebäude, deren Hülle mit einem Transmissionswärmeverlust von  $H'_{\tau} > 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  als tendenziell unsaniert bezeichnet werden kann.

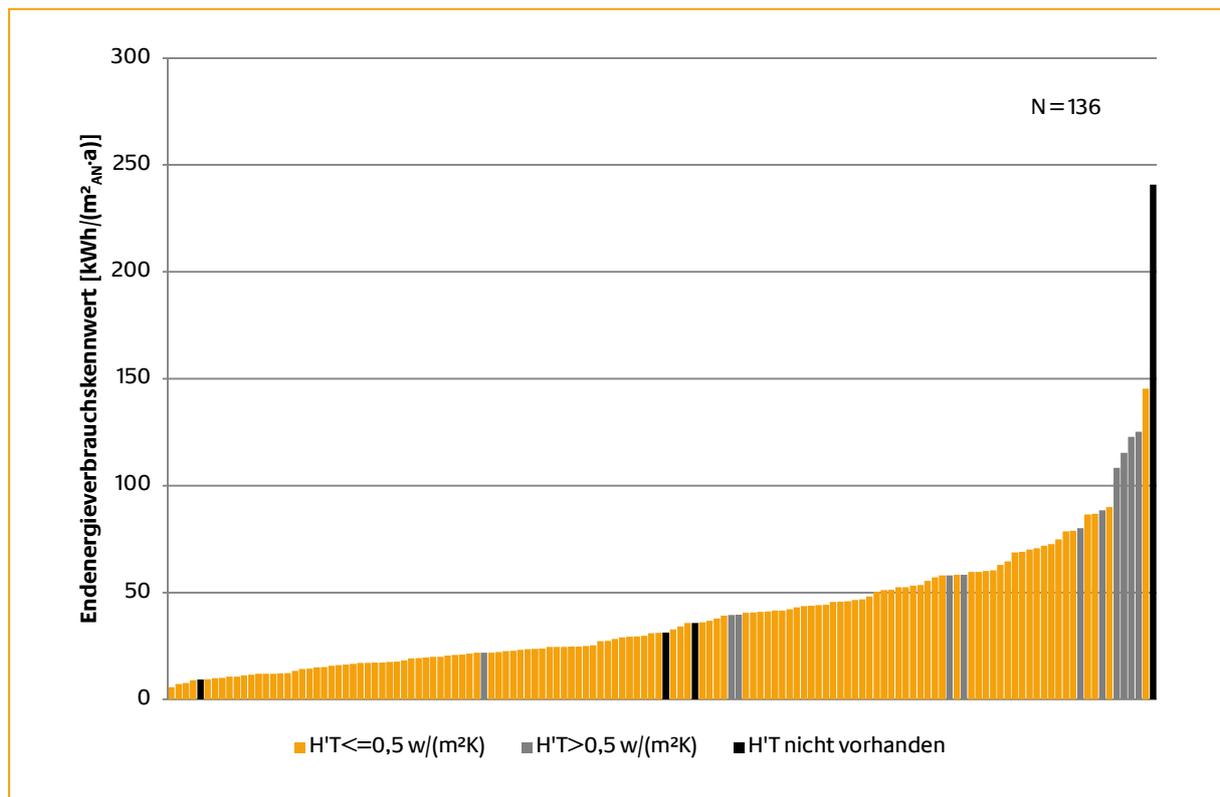


Abbildung 6: Nutzfleichenbezogene Endenergieverbrauchskennwerte in aufsteigender Reihenfolge.

Da das Augenmerk dieser Studie auf energieeffizienten Neubauten und umfassend sanierten Gebäuden liegt, werden für die folgenden Auswertungen nur die Kennwerte der 121 Objekte dargestellt, deren  $H'_T$ -Wert  $\leq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  beträgt, d. h. die eine gut gedämmte Gebäudehülle aufweisen.

Abbildung 7 zeigt die Häufigkeitsverteilung gegliedert nach Typ des Heizsystems (strombasiert und nicht-strombasiert) und nach Sanierung und Neubau getrennt. Es wird deutlich, dass die Verbrauchskennwerte der sanierten Gebäude (dunklere Färbungen) erheblich breiter streuen (größtenteils im Bereich zwischen 0 und  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$ ) als die der Neubauten (größtenteils zwischen 0 und  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$ ). Die Kennwerte der Gebäude mit Strom als Hauptenergieträger (orangefarbene Färbungen) liegen größtenteils bei 0 bis  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  (Neubau und Sanierung). Die Kennwerte der Objekte, die fossile Energieträger oder Holzpellets zur Beheizung verwenden (gräuliche Färbungen), liegen breit gestreut und größtenteils zwischen 10 und 50 (Neubau) bzw. zwischen 10 und 90  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  (Sanierung). In Summe liegen 90 Prozent der gemessenen Endenergieverbräuche der 121 Gebäude mit gut gedämmter Gebäudehülle unter rund  $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$ .

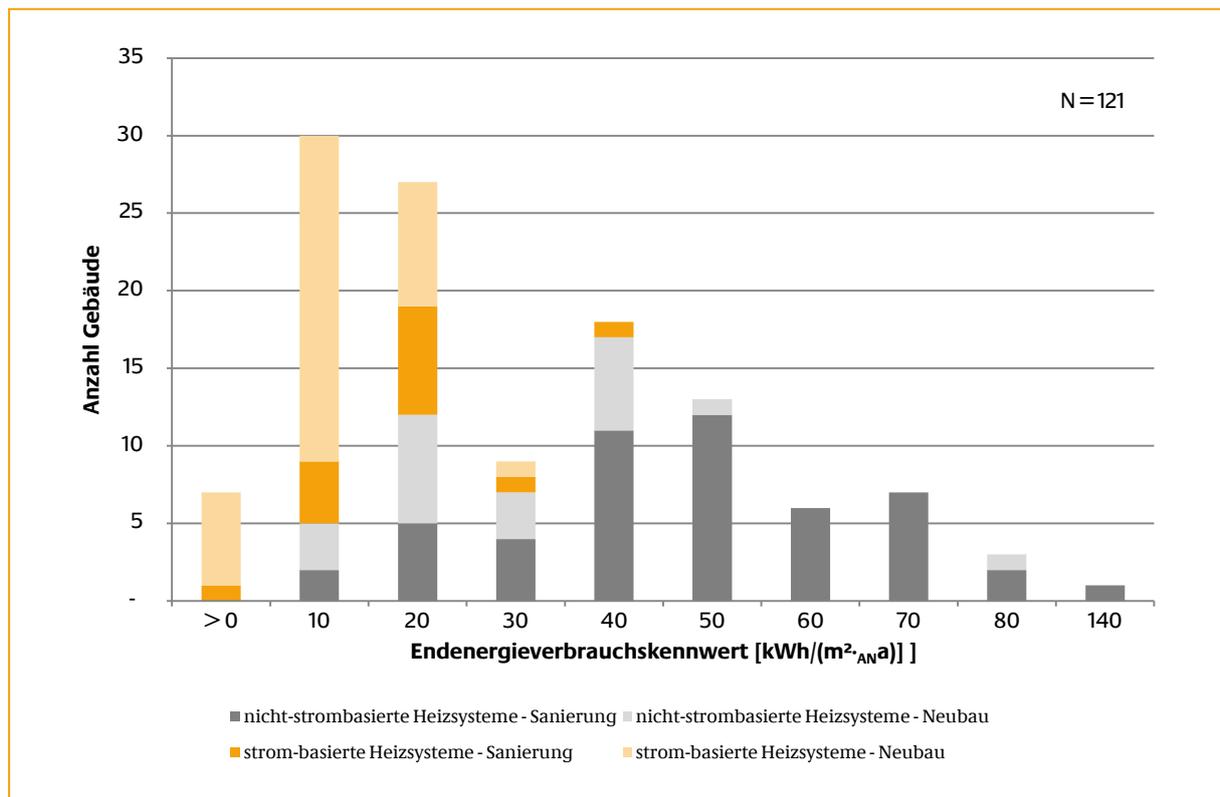


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der Endenergieverbrauchskennwerte nach Typ Heizsystem und Sanierung/Neubau.

### 3.2.4 Durchschnittliche Energiekennwerte und prozentuale Verbrauchsminderung gegenüber dem Gebäudebestand.

In vorliegender Auswertung wurde aus den erhobenen Verbrauchswerten der 121 untersuchten Gebäude (Neubau und Sanierung mit gedämmter Gebäudehülle und sanierter bzw. neuer Anlagentechnik) ein Mittelwert gebildet. Angegeben werden die Werte in Kilowattstunde pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche  $A_N$  und Jahr ( $\text{kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$ ).  $A_N$ -bezogene Werte haben den Vorteil, dass sie direkt mit den Energiebedarfskennwerten (für die nicht-strombasierten Heizsysteme nach Abzug von Hilfsenergie beim Endenergiebedarf) verglichen werden können.

Die Primärenergiekennwerte wurden mit den aktuellen Primärenergiefaktoren (d. h.  $f_P=1,8$  für Strom) aus den Endenergiewerten ermittelt. In einzelnen Kategorien sind die Fallzahlen mit ca. 15-20 relativ niedrig und die Aussagekraft der Mittelwerte daher nur mit Einschränkungen übertragbar. Zur Verdeutlichung der Genauigkeit der Werte ist daher in allen Grafiken neben der Anzahl der Werte der einzelnen Gruppen auch die Standardabweichung als Fehlerbalken mit angegeben.

Abbildung 8 zeigt durchschnittliche Kennwerte bei Neubau und Sanierung für Gebäude mit strombasiertem Heizsystem (meist Wärmepumpen, in Einzelfällen z. B. Passivhäuser mit Heizregister in der Lüftungsanlage). Neue strombeheizte Gebäude weisen im Mittel Endenergieverbrauchskennwerte einschließlich Hilfsenergie von unter  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$  auf sowie Primärenergieverbrauchskennwerte von unter  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{AN}\cdot\text{a})$ . Der Verbrauch der sanierten strombeheizten Objekte liegt im Mittel mit

knapp über  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  Endenergie bzw. knapp unter  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{AN}} \cdot \text{a})$  Primärenergie etwas höher.

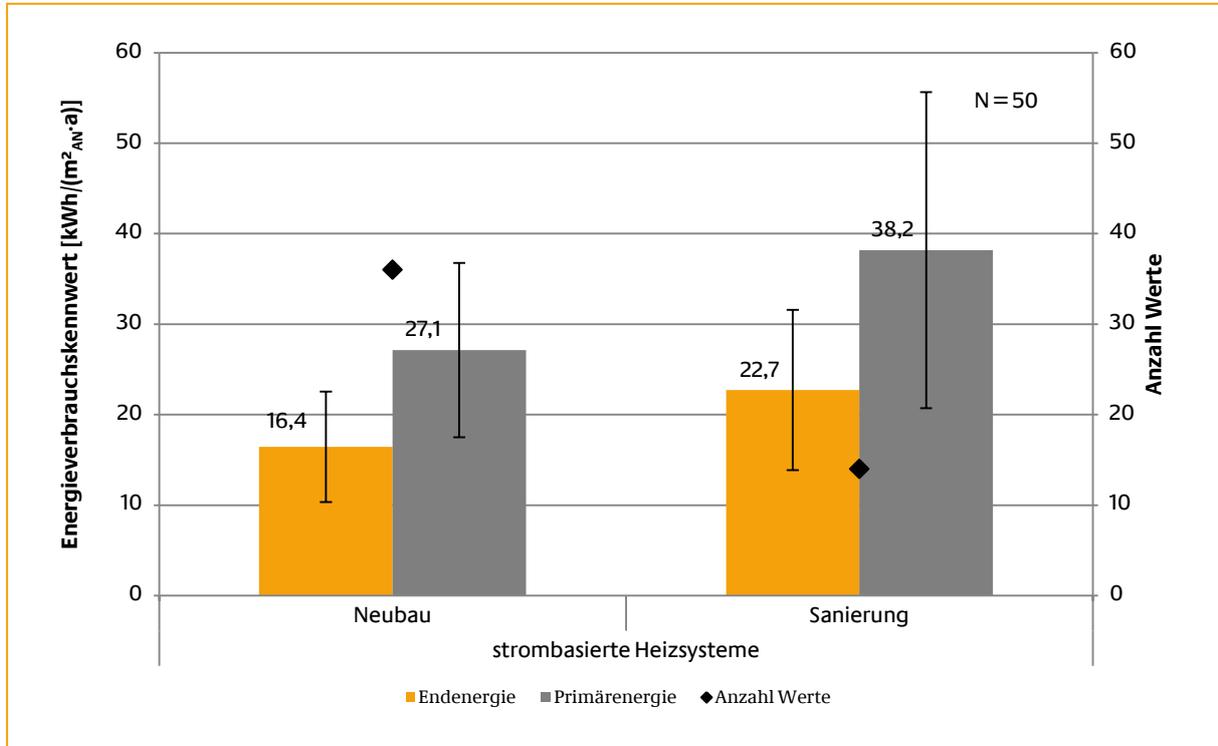


Abbildung 8: Mittlere End- und Primärenergieverbrauchskennwerte strombasierter Heizsysteme für Neubau und sanierte Gebäude und Standardabweichung der Werte.

Abbildung 9 weist End- und Primärenergieverbrauchskennwerte für die Neubauten und sanierten Objekte mit nicht-strombasiertem Heizsystem aus. Diese liegen bei ca. 35 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) Endenergie im Neubau und knapp über 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) in der Sanierung. Am sehr niedrigen Primärenergieverbrauch der Neubauten von knapp über 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) wird der hohe Anteil holzbeheizter Gebäude unter den nicht-strombeheizten Neubauten deutlich (85 Prozent). Bei den sanierten Gebäuden mit nicht-strombasierter Heizung liegt der Primärenergieverbrauch bei knapp über 30 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a). Der Anteil holzbeheizter Gebäude ist hier mit 50 Prozent deutlich geringer als bei den Neubauten.

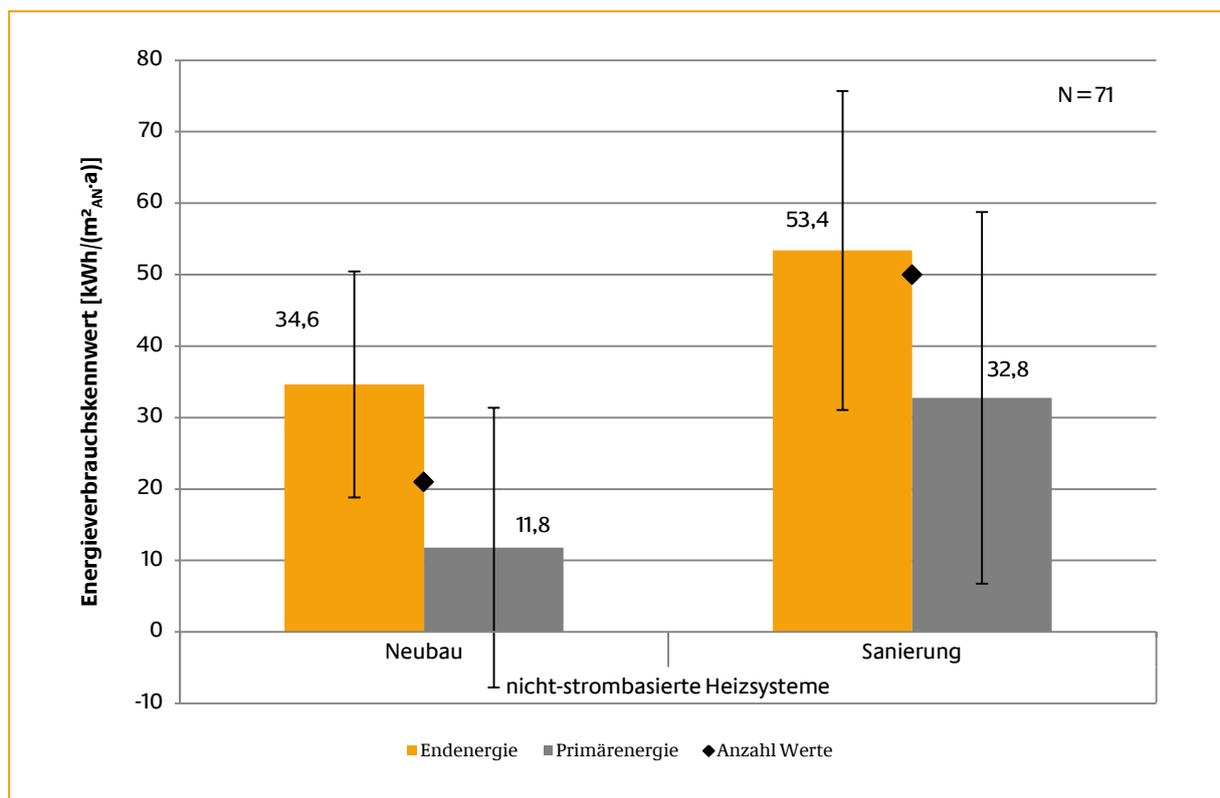


Abbildung 9: Mittlere End- und Primärenergieverbrauchskennwerte nicht-strombasierter Heizsysteme für Neubau und sanierte Gebäude und Standardabweichung der Werte.

Abbildung 10 schlüsselt die Kennwerte der nicht strom-basierten Heizsysteme weiter nach Energieträger auf (Neubau und Sanierung aufgrund der geringen Fallzahlen gemeinsam). Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Energieträger Gas, Öl, Fernwärme und Holzpellets jeweils bei ca. 50-60 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) liegen. Scheitholzbeheizte Gebäude liegen mit ca. 30 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) niedriger. Dies ist jedoch nicht auf den Energieträger Scheitholz zurückzuführen, sondern auf den Einfluss des gesamten Gebäudekonzepts, d. h. den (gegenüber den anderen Energieträgern etwas besseren) Dämmstandard, die Häufigkeit der Nutzung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und von Solaranlagen etc.

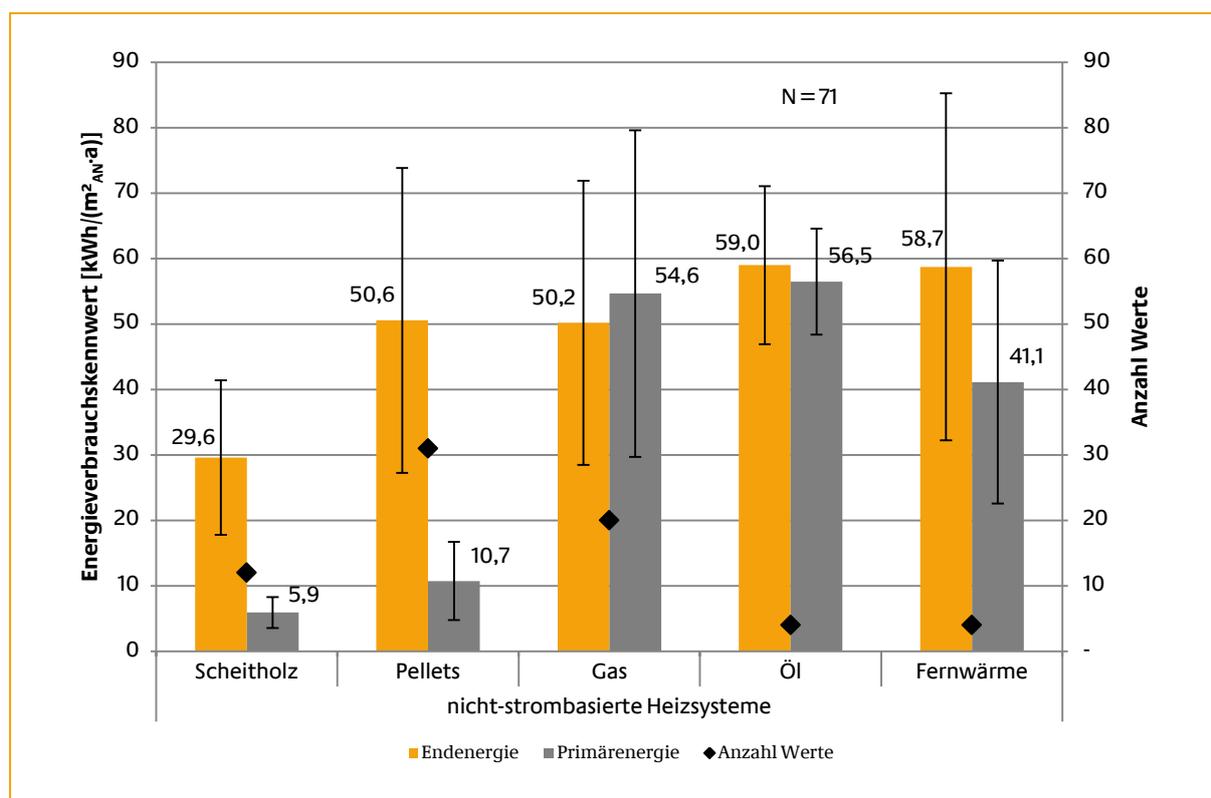


Abbildung 10: Mittlere End- und Primärenergieverbrauchskennwerte nach Hauptenergieträger .

Aus den Quellen (DESTATIS, 2015) und (BMW, 2016) lässt sich für das Jahr 2008 – dem Basisjahr für die Energiewendeziele der Bundesregierung – ein flächenbezogener Primärenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in Wohngebäuden von ca. 160 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) herleiten. Bezieht man das Ziel der Bundesregierung, den Primärenergiebedarf von Gebäuden bis 2050 um 80 Prozent zu reduzieren, auf ein einzelnes, durchschnittliches Gebäude, so dürfte dieses im Durchschnitt 2050 einen Primärenergieverbrauch von ca. 32 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) nicht überschreiten<sup>2</sup>. Diese niedrigen Werte werden sowohl von den untersuchten strombeheizten Gebäuden (ca. 38 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a)<sup>3</sup> bzw. 77 Prozent Reduzie-

<sup>2</sup> Voraussetzung für diese vereinfachte Betrachtungsweise ist, dass der Neubau von 2008 bis 2050 im Durchschnitt primärenergiebedarfsneutral ist.

<sup>3</sup> Es ist davon auszugehen, dass strombeheizte Gebäude eine Primärenergieerduzierung von 80 Prozent künftig aufgrund sinkender Primärenergiefaktoren deutlich überschreiten werden.

rung gegenüber Gebäudedurchschnitt 2008) als auch im Durchschnitt von den untersuchten nicht-strombeheizten Gebäuden (ca. 33 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) bzw. 79 Prozent Reduzierung gegenüber Gebäudedurchschnitt 2008) zumindest annähernd erreicht. Im Detail zeigt jedoch Abbildung 10, dass dies erheblich vom künftigen Energieträgermix bei Neubau und Sanierung abhängt, da gas- und ölbeheizte Gebäude meist deutlich geringere Primärenergiereduzierungen aufweisen (Reduzierung im Durchschnitt auf ca. 55 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) bzw. ca. 66 Prozent Reduzierung gegenüber Gebäudedurchschnitt 2008), holzbeheizte Gebäude aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors von Holz in der Regel deutlich höhere (Reduzierung im Durchschnitt auf ca. 6 bis 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) bzw. 95 Prozent Reduzierung gegenüber Gebäudedurchschnitt 2008). Bei fernwärmebeheizten Gebäuden wird für die Erreichung eines Werts von ca. 33 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) Primärenergieverbrauch in Zukunft der Anteil erneuerbarer Fernwärme und der damit verbundene Primärenergiefaktor eine wesentliche Rolle spielen.

Bezogen auf den durchschnittlichen Endenergieverbrauch der Wohngebäude 2008 von ca. 150 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) liegen die in dieser Studie ermittelten Verbrauchskennwerte strombeheizter Wohngebäude ca. 90 Prozent niedriger, bei Wohngebäuden, die mit anderen Energieträgern beheizt werden, ca. 60-65 Prozent bei Sanierung und im Neubau bis zu 75 Prozent niedriger.<sup>4</sup>

### 3.2.5 Darstellung der Kennwerte der einzelnen Gebäude.

Wie die vorherigen Kapitel zeigen, sind die Einflussfaktoren für den Endenergiekennwert eines Gebäudes vielfältig. Neben der Qualität der Gebäudehülle spielt insbesondere der Hauptenergieträger eine Rolle. Darüber hinaus ist jedoch auch von Bedeutung, ob weitere Energieträger – insbesondere Solarenergie – eingebunden sind, oder ob es eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gibt. Auch das Nutzerverhalten spielt eine wichtige Rolle, wenngleich dieses nur mit großem Aufwand messbar ist.

In der folgenden Grafik sind die Endenergieverbrauchskennwerte über dem Transmissionswärmeverlust  $H_T$  aufgetragen. Dabei wurden weitere Parameter über die Markierungsoptionen der Punkte dargestellt:

- Farbe: Energieträger: rot – Fernwärme, blau – Gas, Schwarz – Öl, braun – Scheitholz, gelb – Strom, orange – Strom (Wärmepumpe), grün – Pellets
- Form: Anzahl der Energieträger (ET): rund – 1 ET, quadratisch – 2 ET, dreieckig – 3 ET, karoförmig – 4 ET)
- Ausgefüllt/nicht ausgefüllt: mit/ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

<sup>4</sup> Hinweis: Diese Einsparungen können aufgrund der unterschiedlichen Bilanzierungsweise nicht mit dem Zielkorridor der Effizienzstrategie Gebäude des BMWi verglichen werden (vgl. Kapitel 2.1).

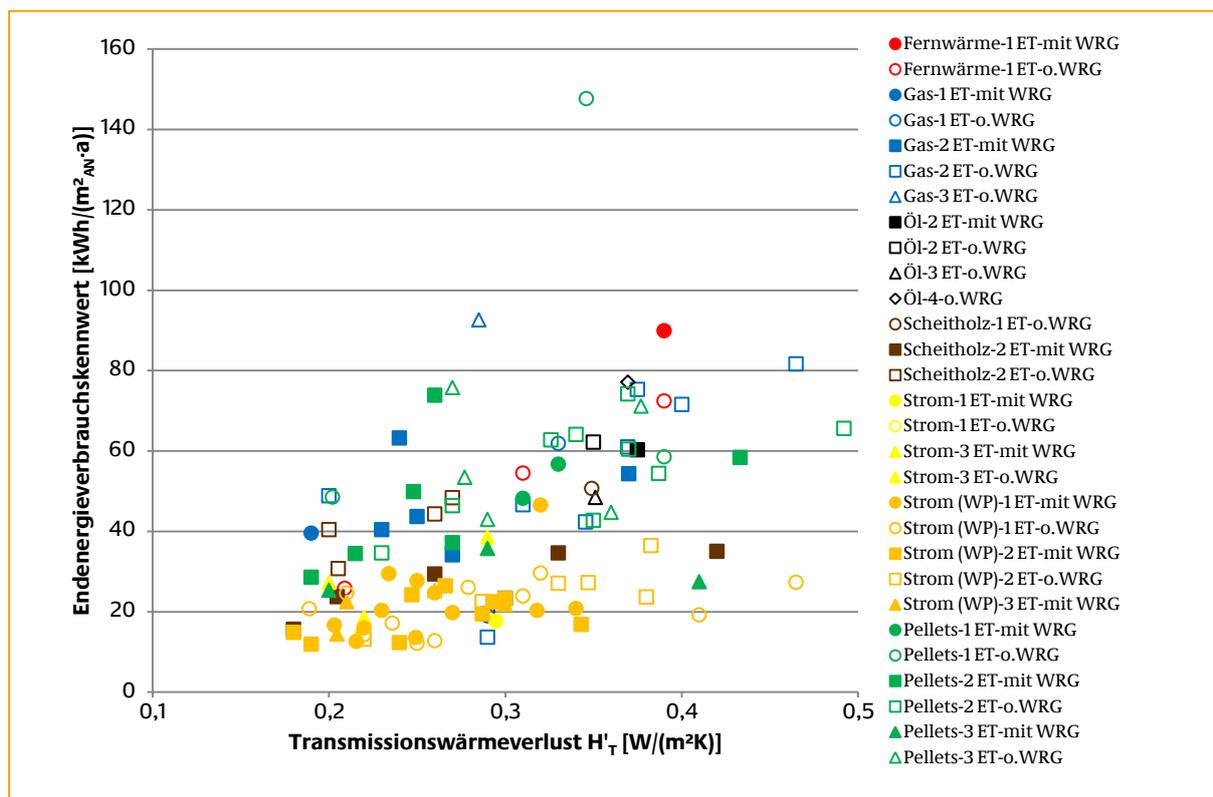


Abbildung 11: Endenergieverbrauchskennwert nach Transmissionswärmeverlust  $H_T$ , gegliedert nach Hauptenergieträger, Anzahl Energieträger und mit/ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG).

Dabei zeigt sich selbst für den sehr schmalen Bereich des Transmissionswärmeverlusts von ca. 0,18 bis 0,5  $W/(m^2 K)$ , in dem sich die neuen und sanierten Gebäude bewegen, ein erkennbarer Zusammenhang zwischen Transmissionswärmeverlust und Verbrauchskennwert mit geringer Steigung bei strombeheizten Systemen (insbesondere wegen der anteiligen, nicht im Endenergieverbrauch enthaltenen Nutzung von Umweltwärme der Wärmepumpen) und entsprechend stärkerer Steigung bei nicht-strombasierten Systemen. Trotz des grundsätzlichen Zusammenhangs der beiden Parameter wird deutlich, dass bei effizienten Gebäuden eine Vielzahl von Einflüssen zusammenwirkt (Dämmstandard, Haupt- und weitere Energieträger wie Solarthermie, Vorhandensein einer Wärmerückgewinnung, aber auch die Nutzung).

Gleichzeitig werden Obergrenzen deutlich: Der Endenergieverbrauch aller mit Strom beheizten Neubauten und sanierten Gebäude liegt unterhalb von 50  $kWh/(m^2_{AN}\cdot a)$ , mit Hocheffizienzhülle ( $H_T < 0,25 W/(m^2 K)$ ) sogar ausnahmslos unterhalb von 30  $kWh/(m^2_{AN}\cdot a)$ . Mit einer Ausnahme (vgl. Ausreißer 8 in Teil 2 der Studie) liegen alle Neubauten und sanierten Gebäude mit nicht-strombasierter Heizung unterhalb von 100  $kWh/(m^2_{AN}\cdot a)$ , mit Hocheffizienzhülle unter 65  $kWh/(m^2_{AN}\cdot a)$ .

Zudem liegen alle Endenergieverbrauchskennwerte über 10  $kWh/(m^2_{AN}\cdot a)$ . Diese Untergrenze lässt sich durch den Endenergieverbrauch für Warmwasser im Winter erklären, der in der Regel nicht durch Solarthermie oder Photovoltaik zu decken ist.

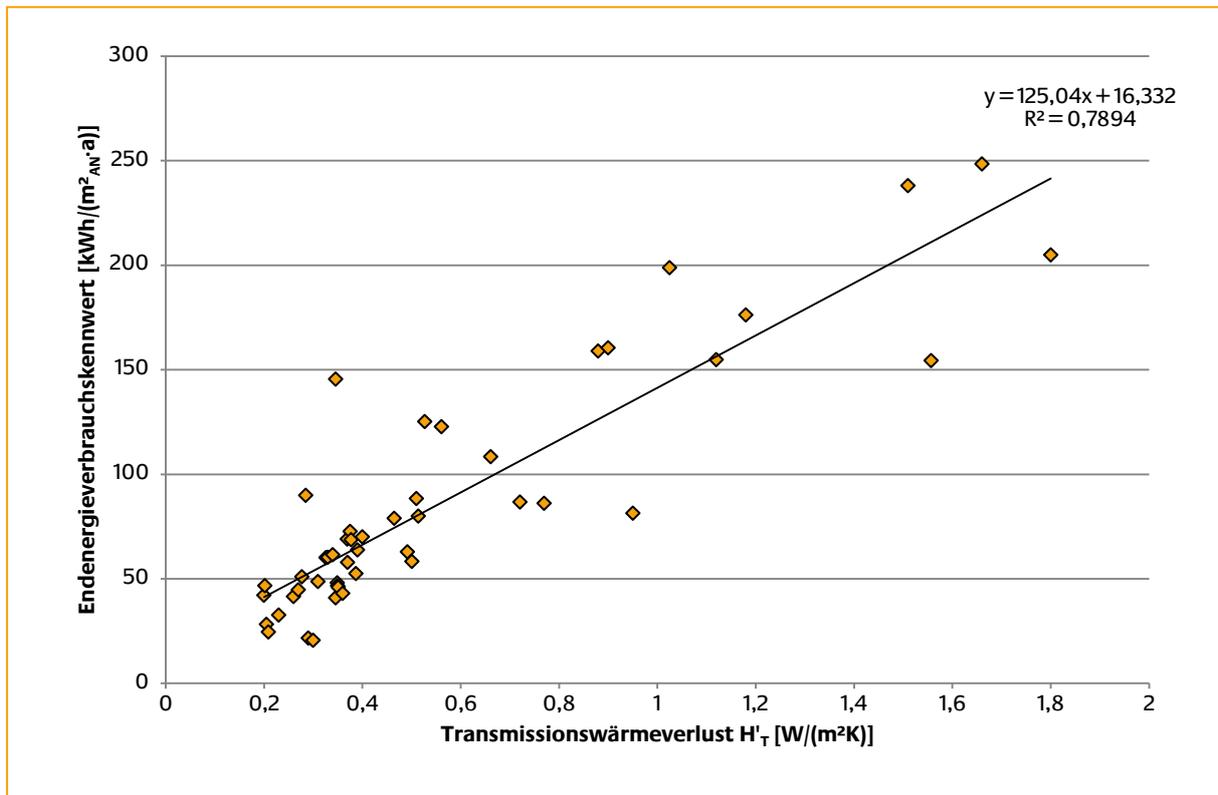


Abbildung 12: Endenergieverbrauch von Neubauten sowie Gebäuden vor und nach Sanierung mit nicht-strombasierten Heizsystemen ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Bei gemeinsamer Betrachtung von neuen/sanierten und unsanierten Gebäuden zeigt sich der Einfluss der Gebäudedämmung erheblich deutlicher, wie Abbildung 12 zeigt. Mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,89$  ( $r^2 = 0,79$ ) ist der Zusammenhang statistisch klar nachweisbar.

### 3.3 Vergleich Endenergiebedarf und -verbrauch.

Der Vergleich zwischen Endenergiebedarfskennwert und berechnetem Endenergieverbrauchskennwert zeigt insgesamt eine große Übereinstimmung.

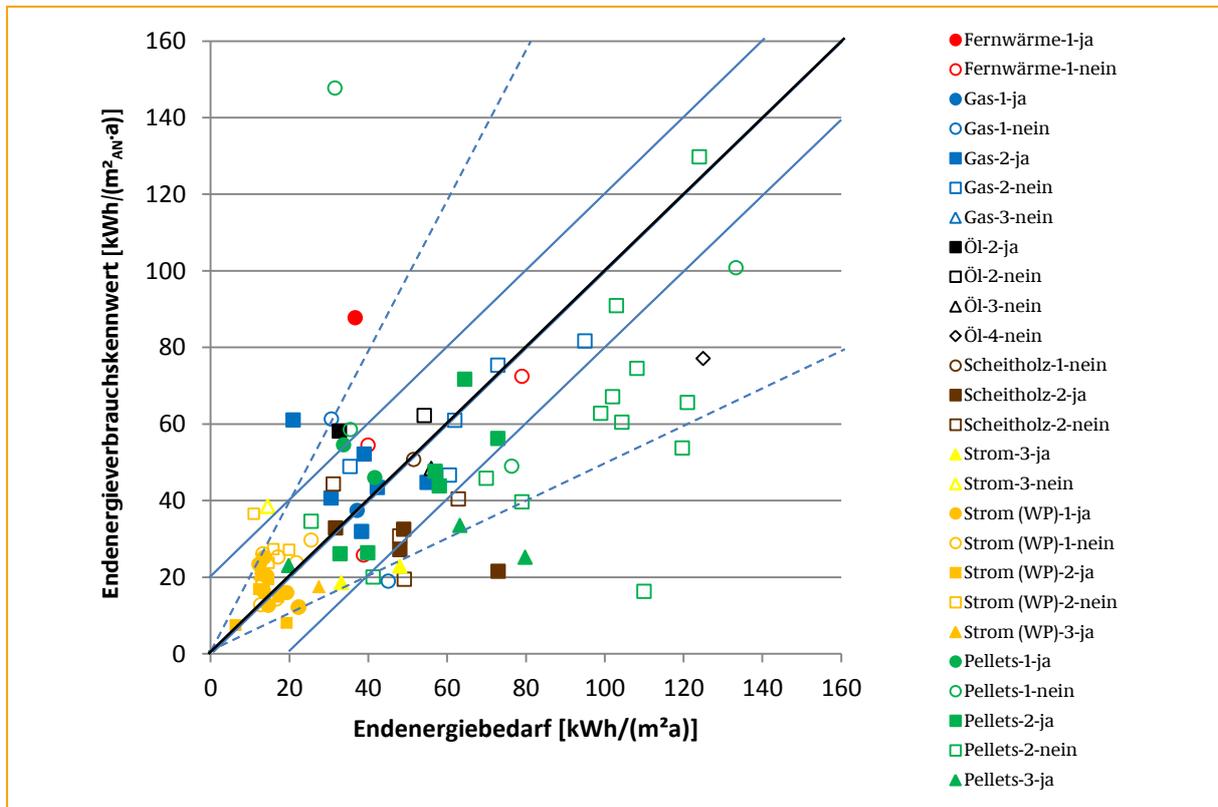


Abbildung 13: Endenergieverbrauchskennwert gegenüber Endenergiebedarfskennwert.

Abbildung 13 stellt durch Hilfslinien dar, welche Verbrauchskennwerte um mehr als Faktor 2 von den Bedarfskennwerten abweichen (gestrichelte Linie). Absolute Abweichungen von mehr als 20 kWh/(m<sup>2</sup> AN·a) sind durch die durchgezogenen blauen Linien gekennzeichnet.

In vielen Fällen liegen die Abweichungen innerhalb der durch die Linien markierten Spanne, in manchen Fällen jedoch außerhalb. Diese „Ausreißer“ bieten die Basis für die Ausreißeranalyse in Teil 2 dieser Studie.

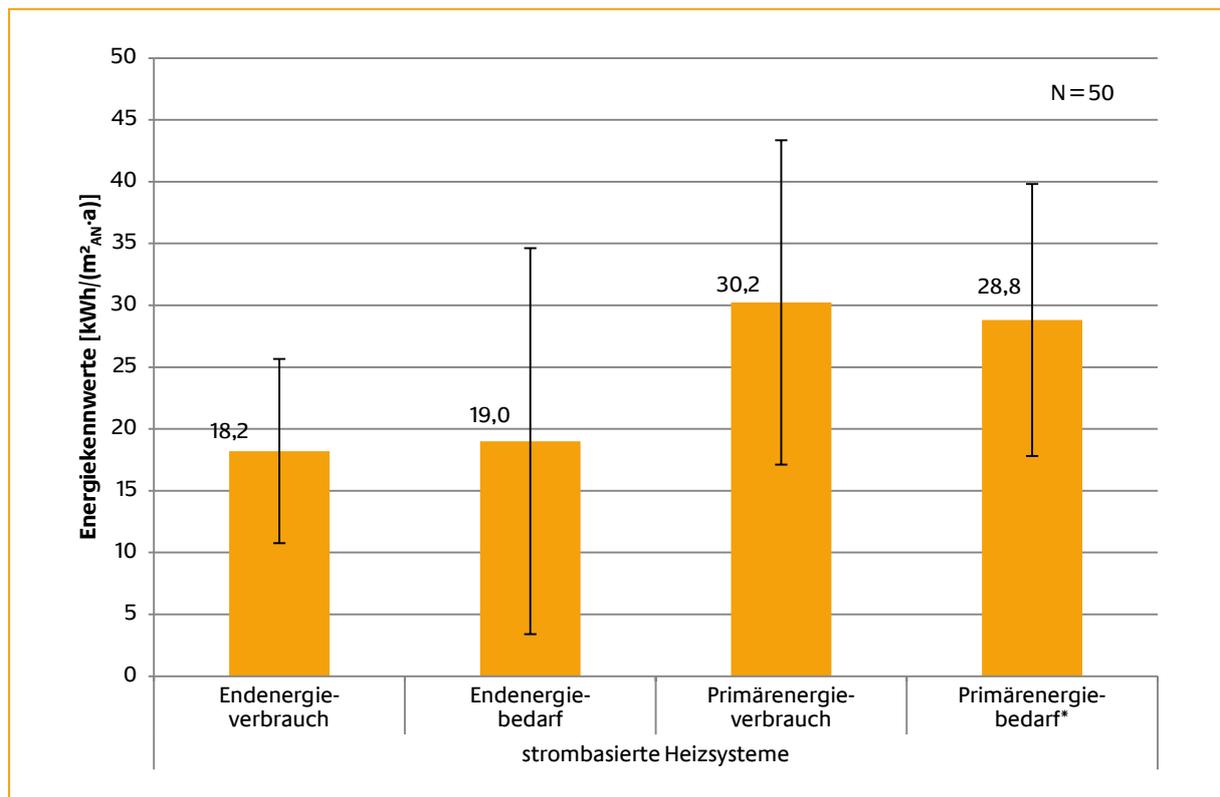


Abbildung 14: Vergleich durchschnittliche Energiebedarfskennwerte und gemessener Energieverbrauchs-kennwerte.

Im Mittel zeigen die Bedarfskennwerte der untersuchten Objekte eine sehr gute Übereinstimmung mit den entsprechend Kapitel 2.3 bereinigten Verbrauchskennwerten der untersuchten Objekte mit strombasierter Heizung (Abbildung 14). Während Endenergieverbrauch und -bedarf bei ca. 20 kWh/(m² AN·a) liegen, beträgt der Primärenergieverbrauch/-bedarf ca. 30 kWh/(m² AN·a). Die Abweichungen zwischen End- und Primärenergieverbrauch und -bedarf sind im Vergleich zur Genauigkeit, mit der diese Werte im beschriebenen Verfahren ermittelt werden konnten, als vernachlässigbar anzusehen.

\* Primärenergiebedarfskennwerte der ursprünglichen Bilanzierungen wurden auf den heute geltenden Primärenergiefaktor von  $f_p = 1,8$  umgerechnet.

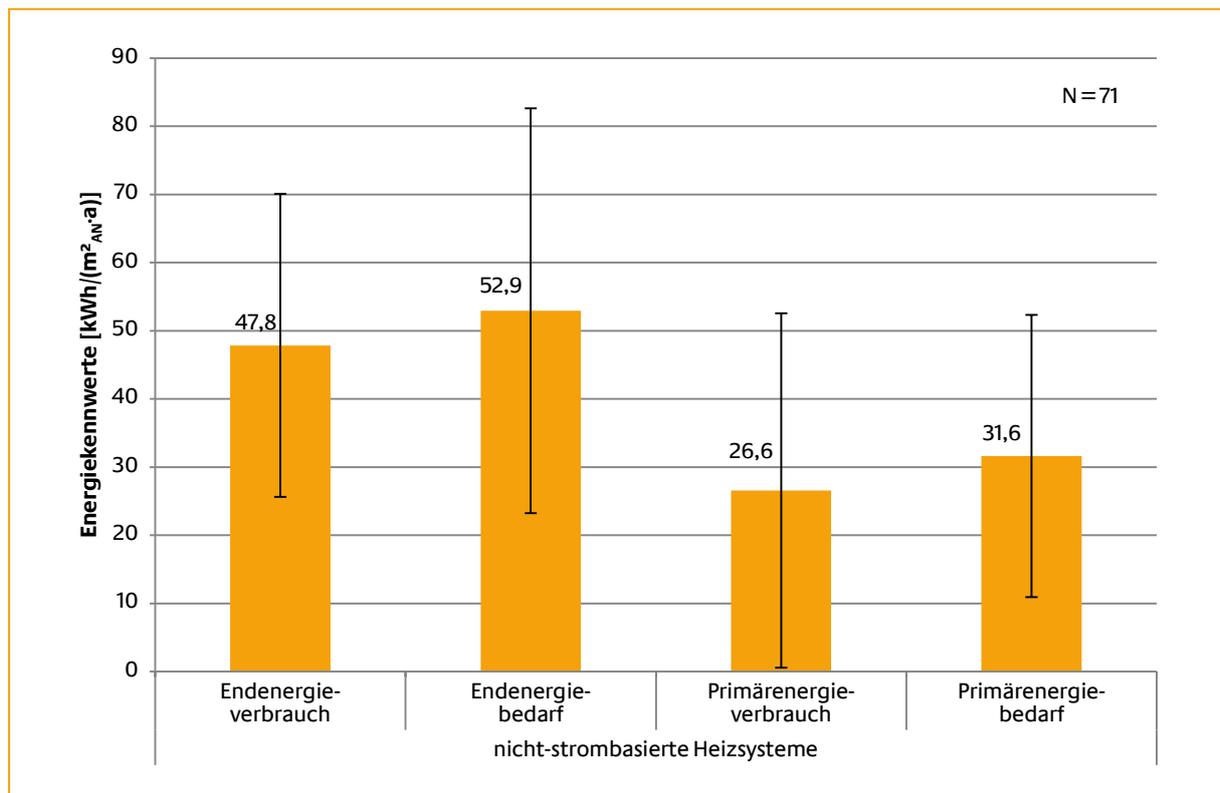


Abbildung 15: Vergleich durchschnittliche Energiebedarfskennwerte und gemessene Energieverbrauchskennwerte.

Auch bei den Gebäuden mit nicht-strombasierten Heizsystemen zeigen die mittleren Bedarfs- und Verbrauchskennwerte der untersuchten Objekte eine gute Übereinstimmung (Abbildung 15). Hier liegt der nach Kapitel 2.3 bereinigte End- und Primärenergieverbrauch sogar geringfügig unter den jeweiligen Bedarfskennwerten<sup>6</sup>. Aufgrund des hohen Anteils von holzbasierten Heizsystemen in der Stichprobe liegen die Primärenergiekennwerte deutlich unter den Endenergiekennwerten (vgl. Kapitel 3.2.4).

<sup>6</sup> Da die Verbrauchskennwerte lediglich die reinen Brennstoffe enthalten, wurden sowohl Endenergie- als auch Primärenergiebedarfskennwerte für den Vergleich um einen Schätzwert für Hilfsenergie reduziert.

### 3.4 Erzielte prozentuale Verbrauchsminderung vor/nach Sanierung in der Stichprobe.

Für den Vergleich des Energieverbrauchs zwischen saniertem und unsaniertem Gebäude standen 33 Datensätze zur Verfügung, bei denen sowohl der Verbrauch vor Sanierung als auch nach Sanierung valide Daten aufwies und bei denen nach der Sanierung eine gut gedämmte Gebäudehülle vorlag ( $H_T$ -Wert  $\leq 0,5 \text{ W(m}^2 \text{ K)}$ ). Hintergrund für die geringe Fallzahl ist, dass Angaben zum Energieverbrauch **vor Sanierung** oft sehr schwer zu ermitteln sind, weil Unterlagen nach so langer Zeit nicht mehr vorliegen oder es mit der Sanierung einen Eigentümerwechsel gab und Daten daher nicht mehr vorhanden sind.

Von den 33 Gebäuden verfügten **vor Sanierung**

- 30 Gebäude über eine Gas-/Öl-Zentralheizung
- 2 Gebäude über eine zentrale Fernwärmeheizung
- 1 Gebäude über eine dezentrale Gasheizung

**Nach Sanierung** verfügten

- 7 Gebäude über eine zentrale strombasierte Heizung
- 13 Gebäude über zentrale holzbasierte Heizung
- 11 Gebäude über eine zentrale Gas- oder Ölheizung
- 2 Gebäude über zentrale Fernwärmeheizungen

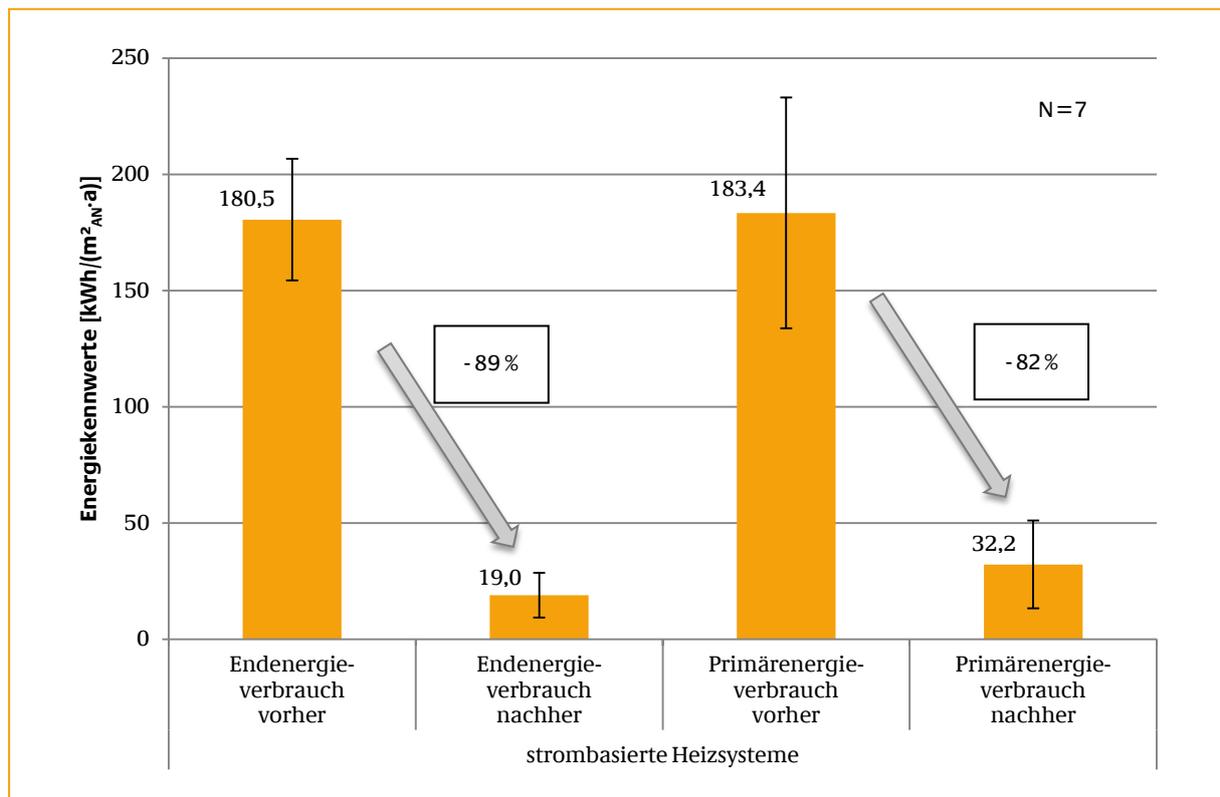


Abbildung 16: Vergleich mittlerer Energieverbrauchskennwert vor und nach Sanierung.

Abbildung 16 zeigt für die 7 Objekte mit strombasierten Heizsystemen den Energieverbrauchskennwert vor und nach Sanierung. Diese konnten ihren Endenergieverbrauch von ca. 180 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) (meist Brennstoff Gas/Öl ohne Hilfsenergie) auf ca. 20 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) Strom und damit um fast 90 Prozent reduzieren. Dies entspricht einer Primärenergieverbrauchsreduzierung von knapp über 80 Prozent.

Trotz der sehr geringen Fallzahl bewegen sich die Werte in einem plausiblen Bereich: Die Kennwerte vor Sanierung liegen etwas höher als der Durchschnittskennwert des deutschen Gebäudebestands, die Kennwerte nach Sanierung liegen sehr nahe an den Durchschnittswerten der 50 strombeheizten sanierten Gebäude (vgl. Kapitel 3.2.4 bzw. Abbildung 8). Einzelne Gebäude können von diesen Mittelwerten durch den Einfluss der verschiedenen Parameter (Dämmstandard, Arbeitszahl der Wärmepumpe, weitere Energieträger wie Solarthermie, Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung, Nutzerverhalten etc.) deutlich abweichen.

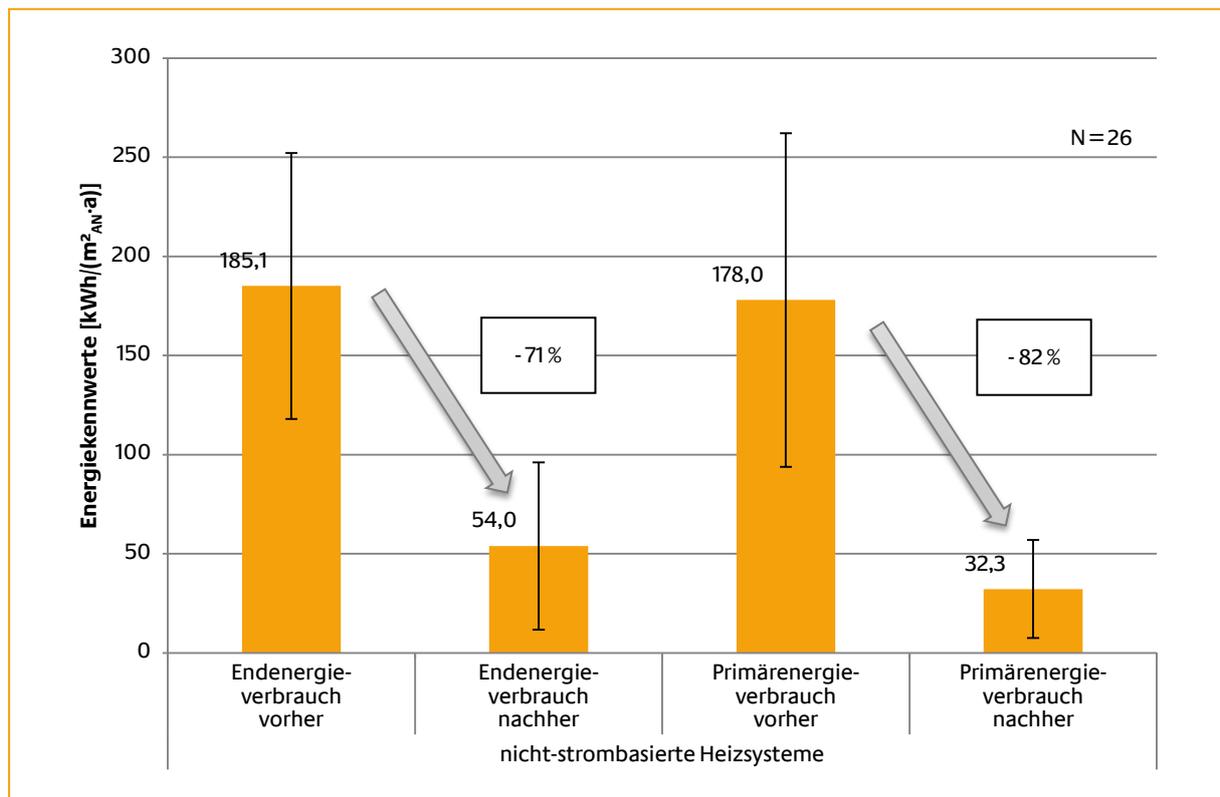


Abbildung 17: Vergleich mittlerer Energieverbrauchskennwert vor und nach Sanierung.

Bei den 26 Objekten mit nicht-strombasierten Heizsystemen nach Sanierung konnte der Endenergieverbrauch von 185 auf knapp über 50 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) reduziert werden. Dies entspricht einer Minderung um durchschnittlich etwa 70 Prozent. Durch den relativ hohen Anteil holzbeheizter Gebäude in der Stichprobe liegt die durchschnittliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs mit rund 80 Prozent aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors von Holz höher als die Minderung des Endenergieverbrauchs. Die Mittelwerte vor Sanierung entsprechen weitgehend denen aus Abbildung 16, die Werte nach Sanierung liegen sehr nah an denen der größeren Stichprobe (N= 71) in Abbildung 9.

Aufgrund der geringen Fallzahl, der vielfältigen Anlagenkombinationen und sonstigen Einflussfaktoren (Dämmstandard, Effizienz der Heizungsanlage, weitere Energieträger wie Solarthermie, Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung, Nutzerverhalten etc.) können diese Mittelwerte trotzdem nur eine ungefähre Größenordnung darstellen.

Die Hilfsenergie ist in den Werten nicht enthalten, da sie in der Regel nicht separat messbar ist. Übliche Größenordnungen liegen bei ca. 2 bis 4 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) Endenergie für die Heizung und die Warmwasserbereitung sowie 2 bis 3 kWh/(m<sup>2</sup><sub>AN</sub>·a) für eine Wohnraumlüftungsanlage (BMW, 2015). Die angegebenen prozentualen Einsparungen können dadurch folglich um wenige Prozentpunkte gemindert werden.

## 4 Literaturverzeichnis

- Bigalke et al. (2014). Der dena-Gebäudereport 2015. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- BMWi. (2011a). Der Weg zur Energie der Zukunft - sicher, bezahlbar und umweltfreundlich - Eckpunkte für ein energiepolitisches Konzept, 6. Juni 2011. Von <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Energiepolitik/energiekonzept.html> abgerufen
- BMWi. (2013). Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Vierten Gesetzes zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes vom 4. Juli 2013, BGBl. I S. 2197. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Von <http://www.bmwi.de/DE/Service/gesetze,did=23820.html> abgerufen
- BMWi. (2015). Bekanntmachungen zur EnEV 2013. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Von [http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Bekanntmachungen/bekanntmachungen\\_node.html](http://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/EnEV/Bekanntmachungen/bekanntmachungen_node.html) abgerufen
- BMWi. (2016). *Zahlen und Fakten - Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung*. Von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/energie-daten-gesamt,property=blob,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.xls> abgerufen
- DESTATIS. (2015). Bestand an Wohnungen. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Von [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Wohnsituation/BestandWohnungen2050300147005.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/Wohnsituation/BestandWohnungen2050300147005.xlsx?__blob=publicationFile) abgerufen
- Hacke, U. (2015). Thesenpapier: Nutzerverhalten im Mietwohnbereich. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Von [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/Nutzer/PM\\_21-09-09\\_Thesen.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/Nutzer/PM_21-09-09_Thesen.pdf) abgerufen
- IWH. (2010). Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex. Halle: Leibniz Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH). Von <http://www.iwh-halle.de/e/publik/wiwa/9-10-5.pdf> abgerufen
- Marcinek et al. (2013). Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. Berlin: Deutsche Energieagentur GmbH (dena). Von [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Presse/Meldungen/2013/Studie\\_Auswertung\\_von\\_Verbrauchskennwerten.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2013/Studie_Auswertung_von_Verbrauchskennwerten.pdf) abgerufen
- PASSIVHAUS INSTITUT. (2015). Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung. Darmstadt. Von [https://www.passiv.de/downloads/05\\_luftqualitaet\\_alltbausanierung.pdf](https://www.passiv.de/downloads/05_luftqualitaet_alltbausanierung.pdf) abgerufen
- Prognos et al. (2015). Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Berlin, Heidelberg, Darmstadt: prognos AG, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,

Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Von  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energieeffizienzstrategie-hintergrundinformation-gebauude,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> abgerufen

# 5 Anhang

## 5.1 Fragebögen

### 5.1.1 Fragebogen Neubau Einfamilienhäuser.

Fragebogen ID: ID für Befragung

**1. Kontaktpersonen (für Rückfragen)**

Name Eigentümer (bitte bei Bedarf korrigieren)	Telefon/Mobil	E-Mail
<b>Firma-Bauherr, Vorname Nachname</b>		

Ansprechpartner (falls abweichend und Fragen nicht vom Eigentümer ausgefüllt)	Telefon/Mobil	E-Mail
---	---------------	--------

Sind Sie Eigentümer des Gebäudes?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Sind Sie Nutzer des Gebäudes?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Sind Sie Hausverwalter oder Hausmeister bzw. jemand Drittes, der Kenntnis über das Haus hat?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
Hat nach der Fertigstellung ein Eigentümerwechsel stattgefunden?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

**2. Allgemeine Angaben zum Objekt**

Straße und Hausnummer	PLZ	Ort
<b>Straße-Gebäude</b> <span style="margin-left: 100px;"><b>PLZ-Gebäude</b></span> <span style="margin-left: 50px;"><b>Ort-Gebäude</b></span>		
<input type="checkbox"/> freistehendes Einfamilienhaus	<input type="checkbox"/> Reihenendhaus/Doppelhaushälfte	<input type="checkbox"/> Reihemittelhaus

**3. Angaben zum Haus nach der Sanierung**

Baufertigstellung Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Wie viel Wohnfläche hat das Haus? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Wie viele Wohneinheiten hat das Haus? \_\_\_\_\_

Wie viele Personen wohnen in dem Haus? \_\_\_\_\_

Gab es in den (drei) Jahren nach Bauertigstellung kaum beheizte Wohnflächen wie bspw. wenig genutzte Hobby-, Arbeits- oder Gästezimmer?

Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr.  Kann ich nicht einschätzen.

Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses, wenn Räume während einer Heizperiode nicht oder nur selten beheizt wurden. Dies können bspw. Partyräume, Arbeits- oder Gästezimmer aber auch Kinderzimmer von ausgezogenen Kindern sein. Eine ungefähre Angabe zur kaum genutzten und selten beheizten Fläche (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet) im Durchschnitt über die drei Jahre nach Sanierung, reicht aus.

Art der Heizung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung?  zentral mit Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)

zentral ohne Heizung

Energieträger Heizungsanlage (HZ) und Warmwasserbereitung (WW):	Haupt-energie-träger		weiterer Energie-träger		weiterer Energie-träger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:						

#### 4. Angaben zu den Verbräuchen und Energierechnungen

Es sind keine Daten zu Verbräuchen vorhanden.

Enthalten die Verbräuche in den beigegeführten Abrechnungen Anteile, die weder zur Beheizung noch zur Warmwassererwärmung dienen (z.B. für Kochen bei Gas/Strom oder Haushaltsstrom)?

- Nein (d.h. Kochen, Haushaltsstrom etc. laufen über gesonderten Zähler)  
 Ja, für: \_\_\_\_\_

Anmerkungen oder kurze Erläuterung, zum Haus, zum Fragebogen oder falls Sie keine Verbrauchsabrechnungen zur Verfügung stellen können.

#### 5. Einwilligung

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/>   | Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) die im Fragebogen aufgeführten Daten zum Zwecke der Auswertung der dena-Verbrauchsstudie erhoben, verarbeitet und genutzt werden dürfen. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist ausgeschlossen. |
| Ich kann diese Einwilligung jederzeit ohne Nachteile widerrufen. Den Widerruf kann ich an die postalische Adresse der dena oder an <a href="mailto:datenschutz@dena.de">datenschutz@dena.de</a> richten. |   |
| <input type="checkbox"/>   | Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) mich bei Rückfragen telefonisch kontaktiert.   |
| <input type="checkbox"/>   | Ich möchte gerne am Gewinnspiel teilnehmen und akzeptiere die im Anschreiben der Umfrage mitgesendeten Teilnahmebedingungen.  |

Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

\_\_\_\_\_  
Ort/Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

## 5.1.2 Fragebogen Neubau Mehrfamilienhäuser.

Fragebogen ID: ID für Befragung

### 1. Kontaktpersonen (für Rückfragen)

Name Eigentümer (bitte bei Bedarf korrigieren)	Telefon/Mobil	E-Mail
<b>Firma-Bauherr, Vorname Nachname</b>		
Ansprechpartner (falls abweichend und Fragen nicht vom Eigentümer ausgefüllt)	Telefon/Mobil	E-Mail

Sind Sie Eigentümer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Nutzer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Hausverwalter oder Hausmeister bzw. jemand Drittes, der Kenntnis über das Haus hat?  Ja  Nein

Hat nach der Baufertigstellung ein Eigentümerwechsel stattgefunden?  Ja  Nein

### 2. Allgemeine Angaben zum Objekt

Straße und Hausnummer	PLZ	Ort
<b>Straße-Gebäude</b>	<b>PLZ-Gebäude</b>	<b>Ort-Gebäude</b>
<input type="checkbox"/> freistehendes Haus	<input type="checkbox"/> einseitig angebaut	<input type="checkbox"/> zweiseitig angebaut

### 3. Angaben zum Haus nach Baufertigstellung

Baufertigstellung Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Wie viel Wohnfläche hat das Haus? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Wie viele Wohneinheiten hat das Haus? \_\_\_\_\_

Gab es in den (drei) Jahren nach Fertigstellung kaum beheizte Wohnflächen oder länger leerstehende Wohnflächen?

Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr.  Kann ich nicht einschätzen.

Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses deutlich, wenn Wohnungen während einer Heizperiode leer standen. Eine ungefähre Angabe zur durchschnittlich über das Jahr leerstehenden oder länger nicht beheizten Flächen nach der Sanierung (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet), reicht aus. Eine Abschätzung kann zum Beispiel über die jährliche Leerstandsquote erfolgen.

Art der Heizung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung?  zentral mit Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)

zentral ohne Heizung

	Haupt-energeträger		weiterer Energeträger		weiterer Energeträger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:	_____					

#### 4. Angaben zu den Verbräuchen und Energierechnungen

Es sind keine Daten zu Verbräuchen vorhanden.

Auf wie viele Wohneinheiten beziehen sich die Verbrauchsabrechnungen?

Auf alle Wohneinheiten des Hauses.  Auf \_\_\_\_\_ von \_\_\_\_\_ Wohneinheiten.

Enthalten die Verbräuche in den beigefügten Abrechnungen Anteile, die weder zur Beheizung noch zur Warmwassererwärmung dienen (z.B. für Kochen bei Gas/Strom oder Haushaltsstrom)?

Nein (d.h. Kochen + Haushaltsstrom etc. laufen über gesonderten Zähler)

Ja, für: \_\_\_\_\_

Anmerkungen oder kurze Erläuterung, zum Haus, zum Fragebogen oder falls Sie keine Verbrauchsabrechnungen zur Verfügung stellen können.

#### 5. Einwilligung

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) die im Fragebogen aufgeführten Daten zum Zwecke der Auswertung der dena-Verbrauchsstudie erhoben, verarbeitet und genutzt werden dürfen. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist ausgeschlossen.

Ich kann diese Einwilligung jederzeit ohne Nachteile widerrufen. Den Widerruf kann ich an die postalische Adresse der dena oder an [datenschutz@dena.de](mailto:datenschutz@dena.de) richten.

Bei Zweifamilienhäusern erforderlich: Ich bestätige, dass mir das Einverständnis der beiden Nutzer vorliegt.

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) mich bei Rückfragen telefonisch kontaktiert.

Ich möchte gerne am Gewinnspiel teilnehmen und akzeptiere die im Anschreiben der Umfrage mitgesendeten Teilnahmebedingungen.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

### 5.1.3 Fragebogen Sanierung Einfamilienhäuser.

Fragebogen ID: ID für Befragung

**1. Kontaktpersonen (für Rückfragen)**

Name Eigentümer (bitte bei Bedarf korrigieren)	Telefon/Mobil	E-Mail
<b>Firma-Bauherr, Vorname Nachname</b>		
Ansprechpartner (falls abweichend und Fragen nicht vom Eigentümer ausgefüllt)	Telefon/Mobil	E-Mail

Sind Sie Eigentümer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Nutzer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Hausverwalter oder Hausmeister bzw. jemand Drittes, der Kenntnis über das Haus hat?  Ja  Nein

Hat kurz vor oder nach der Sanierung ein Eigentümerwechsel stattgefunden?  Ja  Nein

**2. Allgemeine Angaben zum Objekt**

Straße und Hausnummer	PLZ	Ort
<b>Straße-Gebäude</b> <span style="margin-left: 100px;"><b>PLZ-Gebäude</b></span> <span style="margin-left: 100px;"><b>Ort-Gebäude</b></span>		
<input type="checkbox"/> freistehendes Einfamilienhaus	<input type="checkbox"/> Reihenendhaus/Doppelhaushälfte	<input type="checkbox"/> Reihemittelhaus

**3. Angaben zum Haus vor der Sanierung**

Können Sie Aussagen zum Zustand vor der Sanierung treffen?  Ja  Nein  Teilweise

Wie viel Wohnfläche hatte das Haus vor der Sanierung? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Wie viele Wohneinheiten hatte das Haus vor der Sanierung? \_\_\_\_\_

Wie viele Personen wohnten vor der Sanierung im Haus? \_\_\_\_\_

Gab es in den drei Jahren vor der Sanierung kaum beheizte Wohnflächen wie bspw. wenig genutzte Hobby-, Arbeits- oder Gästezimmer?

Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr.  Kann ich nicht einschätzen.

Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses, wenn Räume während einer Heizperiode nicht oder nur selten beheizt wurden. Dies können bspw. Partyräume, Arbeits- oder Gästezimmer aber auch Kinderzimmer von ausgezogenen Kindern sein. Eine ungefähre Angabe zur kaum genutzten und selten beheizten Fläche (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet) im Durchschnitt über die drei Jahre vor Sanierung, reicht aus.

Art der Heizung vor Sanierung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung vor Sanierung?  zentral mit Heizung  zentral ohne Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)

Energieträger Heizungsanlage (HZ) und Warmwasserbereitung (WW):	Haupt-energieträger		weiterer Energieträger		weiterer Energieträger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:	_____					

**4. Angaben zum Haus nach der Sanierung**

Fertigstellung der Techniksanie rung? (Überwiegender Teil der Maßnahmen) Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Fertigstellung der Hüllsanierung? (Überwiegender Teil der Maßnahmen) Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Wie viel Wohnfläche hat das Haus nach der Sanierung? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Wie viele Wohneinheiten hat das Haus nach der Sanierung? \_\_\_\_\_

Wie viele Personen wohnen seit der Sanierung im Haus? \_\_\_\_\_

Gab es in den (drei) Jahren nach der Sanierung kaum beheizte Wohnflächen wie bspw. wenig genutzte Hobby-, Arbeits- oder Gästezimmer?

- Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr.  Kann ich nicht einschätzen.

*Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses, wenn Räume während einer Heizperiode nicht oder nur selten beheizt wurden. Dies können bspw. Partyräume, Arbeits- oder Gästezimmer aber auch Kinderzimmer von ausgezogenen Kindern sein. Eine ungefähre Angabe zur kaum genutzten und selten beheizten Fläche (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet) im Durchschnitt über die drei Jahre nach Sanierung, reicht aus.*

Art der Heizung nach Sanierung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung nach Sanierung?  zentral mit Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)  
 zentral ohne Heizung

Energieträger Heizungsanlage (HZ) und Warmwasserbereitung (WW):

	Haupt-energie-träger		weiterer Energie-träger		weiterer Energie-träger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:	_____					

**5. Angaben zu den Verbräuchen und Energierechnungen**

Es sind keine Daten zu Verbräuchen vorhanden.

Enthalten die Verbräuche in den beigefügten Abrechnungen Anteile, die weder zur Beheizung noch zur Warmwassererwärmung dienen (z.B. für Kochen bei Gas/Strom oder Haushaltsstrom)?

- Nein (d.h. Kochen, Haushaltsstrom etc. laufen über gesonderten Zähler)  
 Ja, für: \_\_\_\_\_

Anmerkungen oder kurze Erläuterung, zum Haus, zum Fragebogen oder falls Sie keine Verbrauchsabrechnungen zur Verfügung stellen können.

**6. Einwilligung**

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) die im Fragebogen aufgeführten Daten zum Zwecke der Auswertung der dena-Verbrauchsstudie erhoben, verarbeitet und genutzt werden dürfen. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist ausgeschlossen.

Ich kann diese Einwilligung jederzeit ohne Nachteile widerrufen. Den Widerruf kann ich an die postalische Adresse der dena oder an [datenschutz@dena.de](mailto:datenschutz@dena.de) richten.

---

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) mich bei Rückfragen telefonisch kontaktiert.

---

Ich möchte gerne am Gewinnspiel teilnehmen und akzeptiere die im Anschreiben der Umfrage mitgesendeten Teilnahmebedingungen.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

\_\_\_\_\_  
Ort/Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

### 5.1.4 Fragebogen Sanierung Mehrfamilienhäuser.

Fragebogen ID: ID für Befragung

**1. Kontaktpersonen (für Rückfragen)**

Name Eigentümer (bitte bei Bedarf korrigieren)	Telefon/Mobil	E-Mail
<b>Firma Bauherr, Vorname Nachname</b>		

Ansprechpartner (falls abweichend und Fragen nicht vom Eigentümer ausgefüllt)	Telefon/Mobil	E-Mail
---	---------------	--------

Sind Sie Eigentümer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Nutzer des Gebäudes?  Ja  Nein

Sind Sie Hausverwalter oder Hausmeister bzw. jemand Drittes, der Kenntnis über das Haus hat?  Ja  Nein

Hat kurz vor oder nach der Sanierung ein Eigentümerwechsel stattgefunden?  Ja  Nein

**2. Allgemeine Angaben zum Objekt**

Straße und Hausnummer	PLZ	Ort
<b>Straße-Gebäude</b> <span style="float: right;"><b>PLZ-Gebäude</b> <b>Ort-Gebäude</b></span>		

freistehendes Haus  einseitig angebaut  zweiseitig angebaut

**3. Angaben zum Haus vor der Sanierung**

Können Sie Aussagen zum Zustand vor der Sanierung treffen?  Ja  Nein  Teilweise

Wie viel Wohnfläche hatte das Haus vor der Sanierung? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Wie viele Wohneinheiten hatte das Haus vor der Sanierung? \_\_\_\_\_

Gab es in den drei Jahren vor der Sanierung kaum beheizte Wohnflächen oder länger leerstehende Wohnflächen?  
 Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr. Kann ich nicht einschätzen.

Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses deutlich, wenn Wohnungen während einer Heizperiode leer standen. Eine ungefähre Angabe zur durchschnittlich über das Jahr leerstehenden oder länger nicht beheizten Flächen vor der Sanierung (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet), reicht aus. Eine Abschätzung kann zum Beispiel über die jährliche Leerstandsquote erfolgen.

Art der Heizung vor Sanierung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung vor Sanierung?  zentral mit Heizung  zentral ohne Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)

Energieträger Heizungsanlage (HZ) und Warmwasserbereitung (WW):	Haupt-energie-träger		weiterer Energie-träger		weiterer Energie-träger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:	_____		_____		_____	

**4. Angaben zum Haus nach der Sanierung**

Fertigstellung der Techniksanie rung? (Überwiegender Teil der Maßnahmen) Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Fertigstellung der Hüllsanierung? (Überwiegender Teil der Maßnahmen) Monat \_\_\_\_\_ Jahr \_\_\_\_\_

Wie viel Wohnfläche hat das Haus nach der Sanierung? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

Gab es in den (drei) Jahren nach der Sanierung kaum beheizte Wohnflächen oder länger leerstehende Wohnflächen?

- Nein  Ja, und zwar durchschnittlich \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup> pro Jahr.  Kann ich nicht einschätzen.

*Die Angaben dienen dazu Verfälschungen aus den Verbräuchen heraus zu rechnen. So sinkt der Verbrauch des Hauses deutlich, wenn Wohnungen während einer Heizperiode leer standen. Eine ungefähre Angabe zur durchschnittlich über das Jahr leerstehenden oder länger nicht beheizten Flächen nach der Sanierung (auf ca. 5 m<sup>2</sup> gerundet), reicht aus. Eine Abschätzung kann zum Beispiel über die jährliche Leerstandsquote erfolgen.*

Art der Heizung nach Sanierung?  zentral (für das gesamte Haus)  dezentral (z.B. Gasetagenheizung)

Art der Warmwasserbereitung nach Sanierung?  zentral mit Heizung  dezentral (z.B. Durchlauferhitzer)  
 zentral ohne Heizung

Energieträger Heizungsanlage (HZ):  
 und Warmwasserbereitung (WW):

	Haupt-energie-träger		weiterer Energie-träger		weiterer Energie-träger	
	HZ	WW	HZ	WW	HZ	WW
Erdgas	<input type="checkbox"/>					
Heizöl	<input type="checkbox"/>					
Fernwärme	<input type="checkbox"/>					
Wärmepumpenstrom	<input type="checkbox"/>					
Strom (Versorger)	<input type="checkbox"/>					
Strom (eigene Photovoltaik)	<input type="checkbox"/>					
Holzpellets, Hackschnitzel	<input type="checkbox"/>					
Stückholz/Kamin	<input type="checkbox"/>					
Solarthermie	<input type="checkbox"/>					
Sonstige, nämlich:	_____		_____		_____	

**5. Angaben zu den Verbräuchen und Energierechnungen**

Es sind keine Daten zu Verbräuchen vorhanden.

Auf wie viele Wohneinheiten beziehen sich die Verbrauchsabrechnungen?

- Auf alle Wohneinheiten des Hauses.  Auf \_\_\_\_\_ von \_\_\_\_\_ Wohneinheiten.

Enthalten die Verbräuche in den beige-fügten Abrechnungen Anteile, die weder zur Beheizung noch zur Warmwassererwärmung dienen (z.B. für Kochen bei Gas/Strom oder Haushaltsstrom)?

- Nein (d.h. Kochen + Haushaltsstrom etc. laufen über gesonderten Zähler)  
 Ja, für: \_\_\_\_\_

Anmerkungen oder kurze Erläuterung, zum Haus, zum Fragebogen oder falls Sie keine Verbrauchsabrechnungen zur Verfügung stellen können.

**6. Einwilligung**

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) die im Fragebogen aufgeführten Daten zum Zwecke der Auswertung der dena-Verbrauchsstudie erhoben, verarbeitet und genutzt werden dürfen. Eine Weitergabe der Daten an Dritte ist ausgeschlossen. Ich kann diese Einwilligung jederzeit ohne Nachteile widerrufen. Den Widerruf kann ich an die postalische Adresse der dena oder an [datenschutz@dena.de](mailto:datenschutz@dena.de) richten.

Bei Zweifamilienhäusern erforderlich: Ich bestätige, dass mir das Einverständnis der beiden Nutzer vorliegt.

Ich bin damit einverstanden, dass die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) mich bei Rückfragen telefonisch kontaktiert.

Ich möchte gerne am Gewinnspiel teilnehmen und akzeptiere die im Anschreiben der Umfrage mitgesendeten Teilnahmebedingungen.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme.

## Teil 2: Ausreißeranalyse.

### **Autoren.**

Michael Grafe, IWU Darmstadt

Marc Großklos, IWU Darmstadt

Tobias Loga, IWU Darmstadt

Rolf Born, IWU Darmstadt

## **Inhalt, Teil 2.**

<b>1</b>	<b>Einführung in die Ausreißeranalyse.....</b>	<b>53</b>
<b>2</b>	<b>Auswahl der Ausreißergebäude.....</b>	<b>54</b>
<b>3</b>	<b>Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch.....</b>	<b>56</b>
3.1	Schlaglicht Einzeleinfluss – Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.....	58
3.2	Schlaglicht Einzeleinfluss – Solarthermie.....	58
3.3	Schlaglicht Einzeleinfluss – Wärmepumpe vs. Brennstoffe.....	58
<b>4</b>	<b>Inhalt der Steckbriefe der untersuchten Gebäude.....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Analyse der zehn Ausreißergebäude....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Anhang – Steckbriefe der zehn untersuchten Gebäude .....</b>	<b>65</b>

# 1 Einführung in die Ausreißeranalyse.

Teil 1 der Studie hat sich der Frage gewidmet, welche Energieverbrauchseinsparungen durch energetische Sanierung von Gebäuden im Mittel erreicht werden können bzw. welche Energieverbräuche energieeffiziente Neubauten erreichen. Es ist zu sehen, dass für die in der Datenbank enthaltenen Gebäude Energiebedarfe in sehr verschiedener Höhe vorliegen. Das spiegelt wider, dass sich Gebäude nach einer energetischen Sanierung in unterschiedlichen Zuständen befinden können. Neben den in Teil 1 der Studie erläuterten Einflüssen von:

- Wärmepumpen
- Solarthermie
- Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

wirkt natürlich auch der Dämmstandard eines Gebäudes maßgeblich auf die Höhe des Endenergiebedarfs. Gebäude, die nur in Teilen saniert werden oder bei denen Maßnahmen umgesetzt werden, die Mindeststandards gerade noch erfüllen, befinden sich nach einer solchen Sanierung in einem deutlich anderen energetischen Zustand als Gebäude, die mit energetisch ambitionierten Maßnahmen bzw. Standards saniert werden. Jeder dieser Effekte tritt im Einzelgebäude mehr oder minder stark in Erscheinung, sodass sich letztlich diese große Bandbreite von Zielzuständen bzw. Endenergiekennwerten ergibt.

In der Datenbank sind einige Gebäude enthalten, bei denen der berechnete Bedarfskennwert aus dem Energieausweis und der gemessene und in einen Kennwert umgerechnete Verbrauch schlecht übereinstimmen. Dabei liegen sowohl Datensätze von Gebäuden vor, deren Verbrauch den Bedarf deutlich übersteigt, als auch solche, bei denen der Verbrauch deutlich geringer ist als der Bedarf. Beide Typen der Abweichung von Bedarf und Verbrauch werden unter der Rubrik „Ausreißer“ zusammengefasst.

In Teil 2 der Studie, der „Ausreißeranalyse“, sollen nun zehn dieser Gebäude untersucht werden. Dabei bildet die schlechte Übereinstimmung von Bedarf und Verbrauch in der Datenbank den Anlass, die Gebäude auszuwählen. Die verschiedenen Aspekte sind in Abbildung 1 unter dem Begriff „Datenbasisprobleme“ zusammengefasst, werden in der Ausreißeranalyse aber nicht näher betrachtet. Stattdessen werden für die zehn Gebäude unabhängig von den vorliegenden Informationen der gemessene Verbrauch und die energierelevanten Eigenschaften von Gebäude und Anlagentechnik neu erhoben, aus denen unter Berücksichtigung der individuellen Nutzung der Bedarf berechnet wird. Einerseits soll mit dem detaillierten Herangehen den vielfältigen Detailproblemen bei der Datenerhebung, -verarbeitung und -auswertung begegnet werden. Andererseits ist zu Beginn der Analyse auch für diese (augenscheinlich energetisch besonderen) Gebäude anzunehmen, dass die physikalischen Zusammenhänge gelten und mit dem ingenieurmäßigen Ansatz der tatsächliche Endenergieverbrauch rechnerisch abgebildet werden kann. Obwohl die Daten vor Ort in Zusammenarbeit mit Eigentümern bzw. zuständigen Ansprechpartnern sorgfältig erhoben werden, verbleiben auch hier Unschärfen. Im Einzelfall basieren Angaben zu ergebnisrelevanten Parametern sowohl auf der Verbrauchsseite (z.B. Mengenangaben von Scheitholz) als auch auf der Bedarfsseite (z.B. Raumtemperaturen, Wärmebrücken, Luftwechsel) auf Schätzungen oder intuitiven Beurteilungen. Es verbleibt also bei jedem Gebäude eine maßgebliche Unsicherheit der rechnerischen Bilanzierung.

## 2 Auswahl der Ausreißergebäude.

Abbildung 13 in Teil 1 der Studie zeigt für viele Gebäude eine gute Übereinstimmung zwischen Bedarf und Verbrauch. Für die Auswahl der Ausreißer sind dort auch die Abgrenzungskriterien eingezeichnet. Demnach gilt in Teil 2 der Studie ein Gebäude als Ausreißer, wenn:

- Bedarfs- und Verbrauchskennwert um mehr als Faktor 2 auseinanderliegen (große relative Abweichung)
- und/oder Bedarfs- und Verbrauchskennwert um mehr als  $20\text{kWh/m}^2\text{a}$  voneinander abweichen (große absolute Abweichung)

In die Auswahl der Ausreißer wurden Gebäude mit den Hauptenergieträgern aufgenommen, die bei Neubauten wie auch in der Sanierung oft eingesetzt werden – Holz, Wärmepumpenstrom, Gas und Pellets. Für jeden dieser Energieträger wurden zunächst zwei Gebäude aufgenommen – je eins mit (gegenüber dem angegebenen Bedarf) deutlich höherem bzw. deutlich geringerem Verbrauch. Für Wärmepumpenstrom und Pellets wurde jeweils ergänzend je ein Mehrfamilienhaus ausgewählt. In Tabelle 1 sind die zehn ausgewählten Gebäude zusammengestellt.

Diese Auswahl berücksichtigt alle in der Einführung genannten Anlagenkomponenten mit Auswirkungen auf die Höhe des Endenergiebedarfs – Wärmepumpen, Solarthermie und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Gebäude- nummer	Gegenüberstellung von Be- darfs- (B) und Verbrauchs- kennwert (V) laut Daten- bankeintrag	Größe und Alter Ein-/Zwei-/Reihenhaus (EFH) Mehrfamilienhaus (MFH) Neubau (Neu) Sanierung(San)	Hauptenergie- träger	Sekundäre Energie- technologien Solarthermie(SolTh) Wärmerückgewinnung (WRG)
1	V > doppelter B und V > B+20 kWh/m <sup>2</sup> a	EFH, San	Holz	SolTh und WRG
2	V < halber B und V < B-20 kWh/m <sup>2</sup> a	EFH, Neu	Holz	SolTh und WRG
3	V < halber B	EFH, San <i>[MFH]<sup>1</sup></i>	Wärmepum- penstrom	WRG <i>[und SolTh]</i>
4	V > doppelter B	EFH, Neu	Wärmepum- penstrom	SolTh und WRG
5	V > doppelter B	MFH, San	Wärmepum- penstrom	SolTh und WRG
6	V > doppelter B und V > B+20 kWh/m <sup>2</sup> a	MFH, San	Gas	-
7	V < halber B und V < B-20 kWh/m <sup>2</sup> a	MFH, Neu	Gas	SolTh
8	V > doppelter B und V > B+20 kWh/m <sup>2</sup> a	EFH, San	Pellets	-
9	V < halber B und V < B-20 kWh/m <sup>2</sup> a	EFH, San	Pellets	SolTh
10	V < halber B und V < B-20 kWh/m <sup>2</sup> a	MFH, San	Pellets	SolTh

Tabelle 1: Auswahl der zehn Ausreißergebäude.

<sup>1</sup> Die kursiv gesetzten Merkmale sind Ergänzungen bzw. Korrekturen gegenüber dem ursprünglichen Datenbankeintrag.

### 3 Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch.

Kern der Analyse der Einzelgebäude ist die Ermittlung eines wirklichkeitsnahen Endenergiebedarfs und der daran anschließende Vergleich mit dem gemessenen Verbrauch. Der Bedarf wird in fünf Varianten mit dem Werkzeug EnEV-XL (IWU, 2015) unter Nutzung der Algorithmen nach DIN 4108-6 und DIN V 4107-10 und -12 berechnet. Alle vor Ort erhobenen Eigenschaften und Besonderheiten der Gebäudehülle, der Anlagentechnik, der Nutzung und das lokale Klima sind in die nachfolgend beschriebenen Varianten der Bilanzierung des Endenergiebedarfes eingegangen. Der Verbrauch wird – anders als in Teil 1 der Studie – nicht bereinigt.

Abbildung 1 zeigt die Anpassungen in den fünf Varianten der Bilanzierung des Endenergiebedarfs hin zu einem wirklichkeitsnahen Bedarf. Die Analyse beginnt mit einer EnEV-konformen Bilanz – Variante ①. Dabei werden die für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach EnEV<sup>2</sup> vorgegebenen Parameter und Randbedingungen angesetzt. In den nachfolgenden Varianten werden diese Größen schrittweise durch vor Ort erhobene Angaben ersetzt. In Variante ② werden die Deckungsanteile der Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser sowie der Wärmerückgewinnungsgrad<sup>3</sup> angepasst. An dieser Stelle steht insbesondere die Nutzung von Solarthermie im Fokus. Im anschließenden Analyseschritt wird mit der Bildung von Variante ③ die individuelle Nutzung innerhalb der thermischen Hülle<sup>4</sup> abgebildet. Dabei werden die Raumtemperaturen, das Lüftungsverhalten und der Umfang der Nutzung der beheizten Räume innerhalb der thermischen Hülle nach den vor Ort erhobenen Angaben abgebildet. Vor Ort wurde nach weiteren, außerhalb der thermischen Hülle liegenden beheizten Räumen gefragt. In Variante ④ wurde die Nutzung dieser Räume berücksichtigt<sup>5</sup>. Im letzten Schritt wurde zur Bildung von Variante ⑤ das deutsche Standardklima ersetzt. Für den Zeitraum, für den die gemessenen Verbräuche vorlagen, wurde ein lokales Klima mit mittleren Temperaturen nach (IWU, 2016) für den nach Postleitzahl nächsten Ort und die mittleren monatlichen Strahlungsdaten nach DIN V 18599 für die entsprechende Referenzregion<sup>6</sup> verwendet. Variante ⑤ enthält nun alle vor Ort erhobenen, individuellen Merkmale des Gebäudes und wird als wirklichkeitsnahe Variante des Endenergiebedarfs bezeichnet.

Die Ergebnisse der Analyse werden in einem Steckbrief (s. Abschnitt 4 Abbildung 2) grafisch dargestellt. Darin werden Endenergiebedarf und -verbrauch der Einzelgebäude gegenübergestellt. Der Startpunkt der Analyse – markiert durch einen Kreis mit innenliegendem Punkt – stellt den EnEV-konformen Bedarf aus Variante ① und den gemessenen Verbrauch ⑥ gegenüber. Der Endpunkt – markiert durch einen Kreis mit innenliegendem Kreuz – stellt den wirklichkeitsnahen Bedarf aus Variante ⑤ dem Verbrauch ⑥ gegenüber. Der graue Stern ist rein informativ ergänzt. Er zeigt die zum Zeitpunkt der Auswahl der Ausreißer in der Datenbank vorhandenen Endenergiekennwerte für Bedarf und Verbrauch multipliziert mit der Gebäudenutzfläche  $A_N$ .

<sup>2</sup> Das Ziel eines Nachweises nach EnEV liegt nicht in einer Abschätzung des künftigen Verbrauchs. Vielmehr wird ein standardisierter Bedarf unter Annahme einer standardisierten Nutzung und eines mittleren Klimas einem für das Gebäude geltenden Grenzwert gegenübergestellt.

<sup>3</sup> wird oft als Wärmebereitstellungsgrad bezeichnet

<sup>4</sup> Die thermische Hülle setzt sich aus Bauteilen zusammen, die das beheizte Volumen nach EnEV abgrenzt gegenüber der Außenluft, dem Erdreich und niedrig bzw. unbeheizten Räumen.

<sup>5</sup> Dadurch ändert sich die thermische Hülle und mit ihr das beheizte Volumen und die Nutzfläche  $A_N$ .

<sup>6</sup> Für energieeffiziente Gebäude ist die Solarstrahlung am Ort im Verbrauchszeitraum ebenfalls wichtig. Auf Grund fehlender Daten wurden in der vorliegenden Untersuchung jedoch Daten der Referenzregion verwendet.

Für alle Gebäude gilt, dass ausschließlich die gemessenen Verbräuche den berechneten Bedarfen gegenübergestellt werden. In vielen Gebäuden lagen keine Verbrauchsangaben zur Hilfsenergie und zur Solarthermie vor. Dementsprechend wurden in den Steckbriefen der Gebäude nur die Endenergiekennwerte der Energieträger mit Verbrauchsangaben grafisch dargestellt. Auch Start- und Endpunkt der Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch enthalten nur diese Größen.

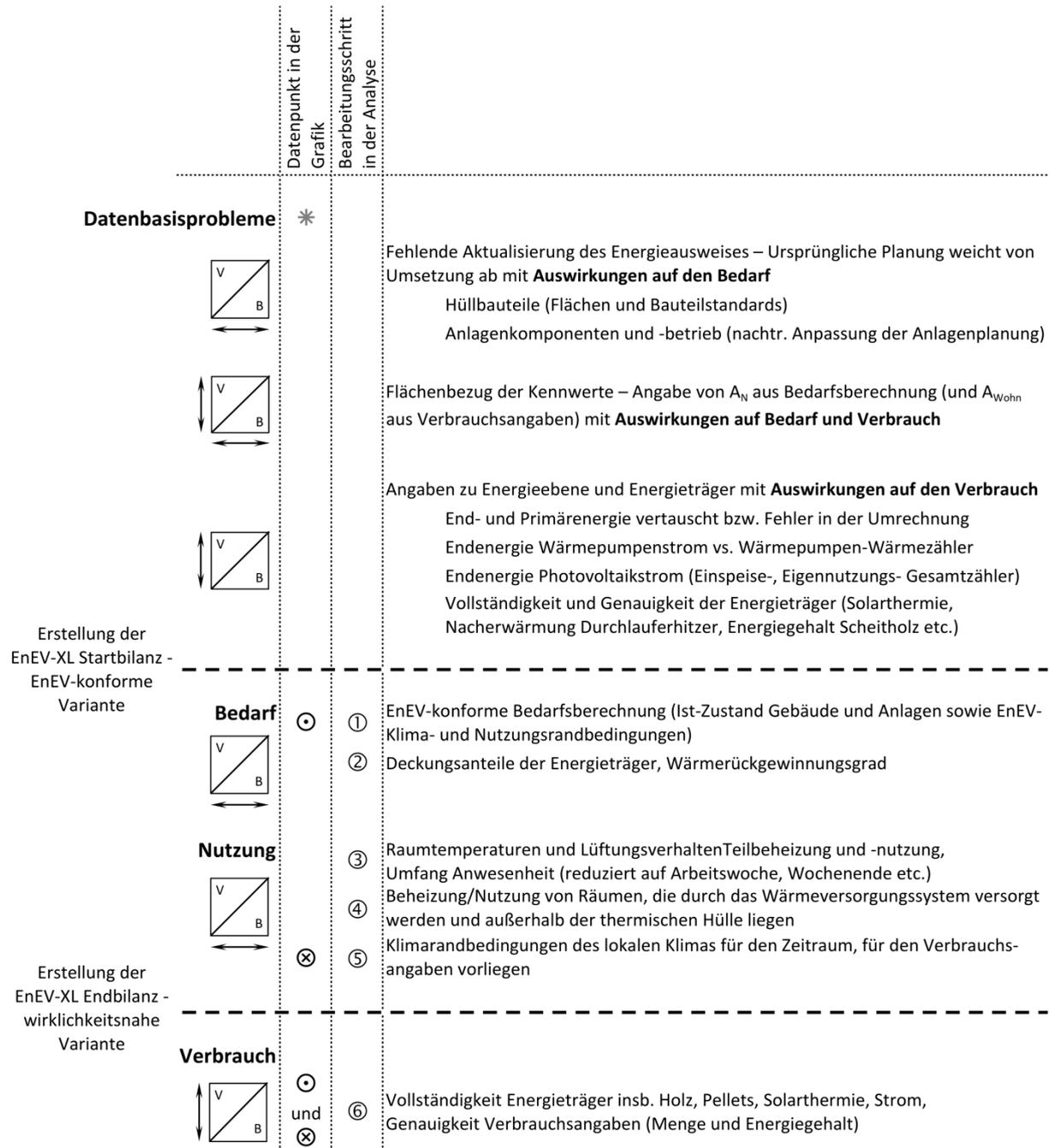


Abbildung 1: Abgrenzung der Bilanzierungsschritte in der Ausreißeranalyse.

### **3.1 Schlaglicht Einzeleinfluss – Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.**

In Gebäuden, in denen eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz kommt, sinkt einerseits der Endenergiebedarf durch die verringerten Lüftungswärmeverluste, andererseits steigt der Hilfsenergiebedarf durch die Lüftungsanlage deutlich an. Ist als Hauptwärmeerzeuger gleichzeitig eine Wärmepumpe in Betrieb, ergeben sich insbesondere in gut gedämmten Gebäuden Endenergiekennwerte für Heizung und Hilfsenergie in gleicher Größenordnung. Bei der Verbrauchserhebung ist es dann von hoher Bedeutung, genaue Informationen zur Zählerstruktur zur Verfügung zu haben. Hier ist genau zwischen Wärmepumpenzähler, Haushaltsstrom und Allgemeinstrom (in Mehrfamilienhäusern) abzugrenzen. Derzeit stellt diese Abgrenzung in vielen Gebäuden noch ein Problem dar.

### **3.2 Schlaglicht Einzeleinfluss – Solarthermie.**

Thermische Solaranlagen können durchaus größere Anteile des gesamten Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser decken. Allerdings wird die solare Wärmebereitstellung derzeit nur sehr selten messtechnisch erfasst<sup>7</sup>. In die Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch in den Steckbriefen der Einzelgebäude geht die Solarthermie nicht ein. In den zusammenfassenden Grafiken in Abschnitt 5 wie auch in den Steckbriefen im Anhang sind die solar erzeugten Wärmemengen dementsprechend auch nicht dargestellt, sondern nur die von außen bezogenen Energieträger.

### **3.3 Schlaglicht Einzeleinfluss – Wärmepumpe vs. Brennstoffe.**

Gebäude, die im Wesentlichen durch den Einsatz von Wärmepumpen mit Wärme versorgt werden, weisen gegenüber vergleichbaren, brennstoffversorgten Gebäuden geringere Endenergiekennwerte auf. Das liegt daran, dass je nach Typ und Verwendungszweck der Wärmepumpe eine Einheit Wärmepumpenstrom in ca. 2 bis 5 Einheiten Wärme umgewandelt werden kann. Die Betrachtung der brennstoffversorgten Gebäude losgelöst von Wärmepumpensystemen ist schon aufgrund der unterschiedlichen Preise, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergiefaktoren sinnvoll. Darüber hinaus erscheint die Trennung durch die besondere Problematik der Verbrauchserfassung (Zuordnung zu Wärmepumpe, Hilfsenergie, Allgemeinstrom) sinnvoll. Aus den genannten Gründen werden Kennwerte der Gebäude mit Brennstoff- bzw. Wärmepumpensystemen in der Ergebnisbetrachtung jeweils separat dargestellt.

---

<sup>7</sup> in dieser Untersuchung bildet Gebäude 1 eine solche Ausnahme.

## 4 Inhalt der Steckbriefe der untersuchten Gebäude.

In Tabelle 1 aus Abschnitt 2 ist bereits zu erkennen gewesen, dass sich die Anlagenkomponenten der Wärmeversorgung der zehn untersuchten Gebäude stark unterscheiden. In den Steckbriefen im Anhang sind weitere Informationen zu den Einzelgebäuden enthalten:

- Allgemeine Angaben
- Thermische Hülle
- Lüftungsanlage
- Wärmeversorgung
- Verbrauchsangaben
- Nutzung und besondere Gegebenheiten

Der Steckbrief enthält weiterhin eine Grafik mit den Ergebnissen der Bilanzierung. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für eine solche Grafik. Links oben wird der gemessene Endenergieverbrauch<sup>8</sup> in absoluter Höhe angezeigt. Die verschieden eingefärbten Segmente stehen für die Energieträger entsprechend der Legende. Rechts unten befinden sich die Ergebnisse der fünf Varianten der Endenergiebilanz – oben beginnend mit der EnEV-konformen Variante und unten abschließend mit der wirklichkeitsnahen Variante.

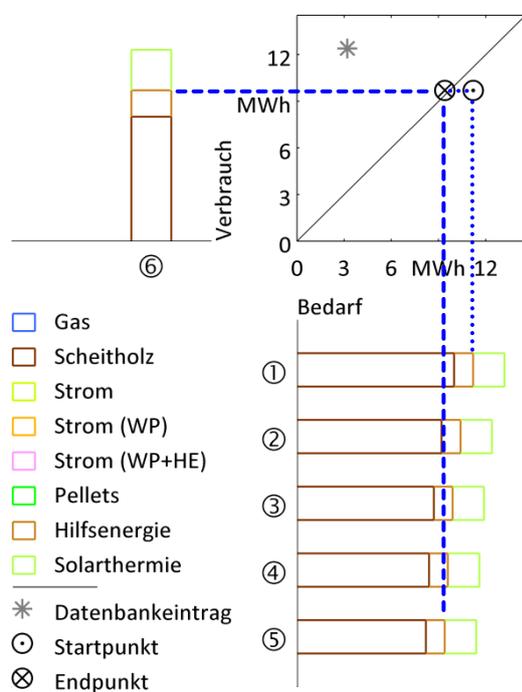


Abbildung 2: Beispiel für die Darstellung von Endenergiebedarf und -verbrauch im Gebäudesteckbrief.

<sup>8</sup> An dieser Stelle nochmals der Hinweis, dass neben den gemessenen noch weitere Verbräuche vorhanden sein können.

Rechts oben befindet sich ein quadratisches Diagramm. Bedarf und Verbrauch sind gleich skaliert<sup>9</sup>. Im Diagramm wird der Verbrauch dem Bedarf der EnEV-konformen Variante gegenübergestellt. Die blau gepunkteten Hilfslinien in Abbildung 2 zeigen, dass nur Energieträger, für die ein gemessener Verbrauch vorliegt, in die Gegenüberstellung eingehen. Solarthermie wird in die Gegenüberstellung nicht aufgenommen (s. Abschnitt 3.2), auch wenn – wie hier im Beispiel – ein gemessener Verbrauch vorliegt. Der Schnittpunkt dieser Hilfslinien setzt den Startpunkt ☉ für die Ausreißeranalyse. Nun können die Auswirkungen der Anpassungen innerhalb der einzelnen Varianten auf den Endenergiebedarf nachvollzogen werden. Schließlich werden – dargestellt durch blau gestrichelte Hilfslinien – der Verbrauch und der Bedarf der wirklichkeitsnahen Variante gegenübergestellt und so der Endpunkt ☉ der Analyse gesetzt.

Ergänzend ist noch ein weiterer Datenpunkt \* aufgenommen, der Bedarf und bereinigten Verbrauch für den Datenbankeintrag dieses Gebäudes zum Zeitpunkt der Auswahl der Ausreißer anzeigt.

In der Legende der Beispielgrafik in Abbildung 2 sind alle in der Ausreißeranalyse vorkommenden Energieträger aufgelistet. In den Steckbriefen sind dann jeweils nur die Energieträger enthalten, die in die Gegenüberstellung von Bedarf und Verbrauch des Gebäudes eingehen, sowie in Gebäude 1 informativ der Beitrag der Solarthermie. In vielen Gebäuden ist in der Gegenüberstellung der Einfluss der – nicht gemessenen – Hilfsenergie außen vor geblieben.

In Gebäuden mit Wärmepumpe<sup>10</sup> werden Start- und Endpunkt in der Farbe des Layers für Wärmepumpenstrom orange eingefärbt. Damit sollen in der Auswertung die – auf Endenergieebene – besonders geringen absoluten Verbrauchswerte und Verbrauchskennwerte im Vergleich mit den anderen Gebäuden kenntlich gemacht werden.

---

<sup>9</sup> Die Skalierung entspricht ebenfalls der Skalierung der links vom Diagramm befindlichen Verbrauchssäule und der unterhalb des Diagramms befindlichen Bedarfsbalken.

<sup>10</sup> Das sind die Gebäude 3, 4 und 5.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Analyse der zehn Ausreißergebäude.

In der Ausreißeranalyse wurden zehn Ein- und Mehrfamilienhäuser mit Gebäudenutzflächen  $A_N$  von 213 bis 1431 m<sup>2</sup> untersucht. Diese Gebäude unterscheiden sich neben der Größe auch durch die Wärmedämmung, die Wärmeerzeugung und den Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bzw. Solarthermie deutlich. Die detailliert erhobenen, gemessenen Endenergieverbräuche stimmen mit den ebenfalls detailliert berechneten Endenergiebedarfen gut überein. Dies gilt bei Betrachtung der Startpunkte  $\odot$  in Abbildung 3, bei denen dem Verbrauch der nach Standard-Randbedingungen der EnEV berechnete Endenergiebedarf aus Variante  $\textcircled{1}$  gegenübergestellt wird. Dies gilt auch bei Betrachtung der Endpunkte  $\otimes$ , bei denen dem Verbrauch der Endenergiebedarf unter Berücksichtigung der individuellen Nutzung aus Variante  $\textcircled{5}$  gegenübergestellt wird. Hier ergibt sich eine noch bessere Übereinstimmung. Die Ursachen für die Änderung der Bedarfswerte sind ganz verschieden. In einigen Gebäuden sind Teilnutzung bzw. -beheizung maßgeblich, in anderen haben das lokale Klima oder auch die Deckungsanteile der Energieträger die Größe des Bedarfs maßgeblich verändert. Insgesamt kann die energetische Bilanzierung unter Berücksichtigung der individuellen Nutzung und des lokalen Klimas die gemessenen Verbräuche sehr gut erklären.

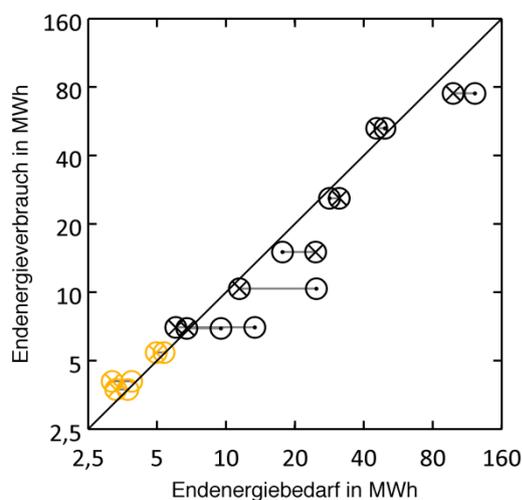
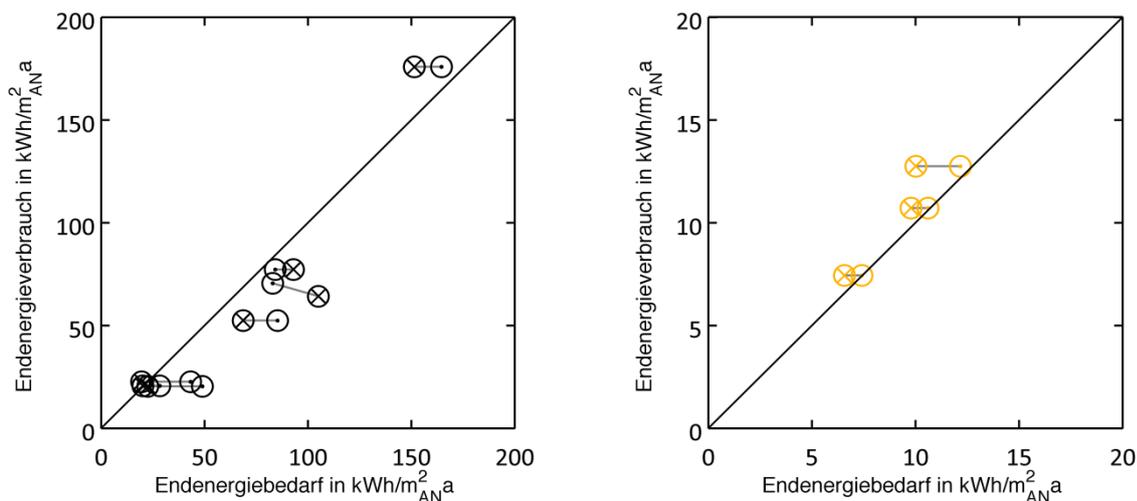


Abbildung 3: Gegenüberstellung der gemessenen absoluten Verbräuche und der zugehörigen berechneten Bedarfe an Endenergie der zehn untersuchten Ausreißergebäude.

Um zu einer Einschätzung hinsichtlich des energetischen Zustands der Gebäude zu gelangen, ist ein Blick auf die Endenergiekennwerte der Gebäude in Abbildung 4 hilfreich. Zunächst kann festgehalten werden, dass sich über die gesamte – dem/der energetischen Zustand/Ausstattung und der Nutzung der Gebäude entsprechend große – Bandbreite der Endenergiekennwerte eine gute Übereinstimmung zwischen Verbrauch und Bedarf ergibt. Für brennstoffversorgte Gebäude (Abbildung 4 links) ergeben sich von 20 bis 176 kWh/m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>, für wärmepumpenversorgte Gebäude (Abbildung 4 rechts)

Kennwerte zwischen 7 und 13 kWh/m<sup>2</sup><sub>ANa</sub>. Diese Kennwerte gehen von den Messwerten aus und können daher im Einzelfall unvollständig sein. So fehlt beispielsweise für Gebäude 5, das im rechten Teil von Abbildung 4 den niedrigsten Verbrauchskennwert liefert, der Stromverbrauch der Durchlauferhitzer für den nicht solar gedeckten Teil der Warmwasserbereitung. Ausgehend von dem im Gebäudesteckbrief angegebenen Warmwasserbedarf würden sich Endenergiebedarf und -verbrauch dieses Gebäudes unter Berücksichtigung der Durchlauferhitzer also etwa verdoppeln.



**Abbildung 4: Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchs- und -bedarfskennwerte der sieben brennstoffversorgten Gebäude (links) und drei wärmepumpenversorgten Gebäude (rechts).**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit energetischer Bilanzierung, die wirklichkeitsnahe Randbedingungen entsprechend der individuellen Nutzung des Gebäudes berücksichtigt, Endenergiebedarfe ermittelt werden können, die gemessene Verbräuche gut nachbilden. Einige dieser Nutzungsparameter stehen vor der tatsächlichen Nutzung des Gebäudes allerdings noch nicht fest. So wird es in aller Regel schwer fallen, die künftig gewählten Raumtemperaturen nach Sanierung des eigenen Gebäudes oder den erwarteten Leerstand anzugeben. Diese wie auch einige andere Aspekte haben Einfluss auf die Höhe des berechneten Energiebedarfs. Das war in diesem Teil der Studie eindrucksvoll zu sehen und das wird auch künftig immer wieder von Belang sein, wenn berechnete Bedarfe gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt werden. Die Qualität der Aussagen zu Bedarf und Verbrauch hängen zwingend mit vollständig und wirklichkeitsnah erhobenen Daten zusammen.

## 6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.

Tabelle 1: Auswahl der zehn Ausreißergebäude.....	55
Abbildung 1: Abgrenzung der Bilanzierungsschritte in der Ausreißeranalyse. ....	57
Abbildung 2: Beispiel für die Darstellung von Endenergiebedarf und -verbrauch im Gebäudesteckbrief. ....	59
Abbildung 3: Gegenüberstellung der gemessenen absoluten Verbräuche und der zugehörigen berechneten Bedarfe an Endenergie der zehn untersuchten Ausreißergebäude. ....	61
Abbildung 4: Gegenüberstellung der Endenergieverbrauchs- und -bedarfskennwerte der sieben brennstoffversorgten Gebäude (links) und drei wärmepumpenversorgten Gebäude (rechts). ....	62

## 7 Literaturverzeichnis

IWU. (2015). EnEV-XL. Energiebilanzberechnung für Wohngebäude nach EnEV und mit freien Randbedingungen. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Von <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/informationen-enev-xl/> abgerufen

IWU. (2016). Gradtagszahlen in Deutschland. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Von [http://t3.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen\\_Deutschland.xls](http://t3.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls) abgerufen

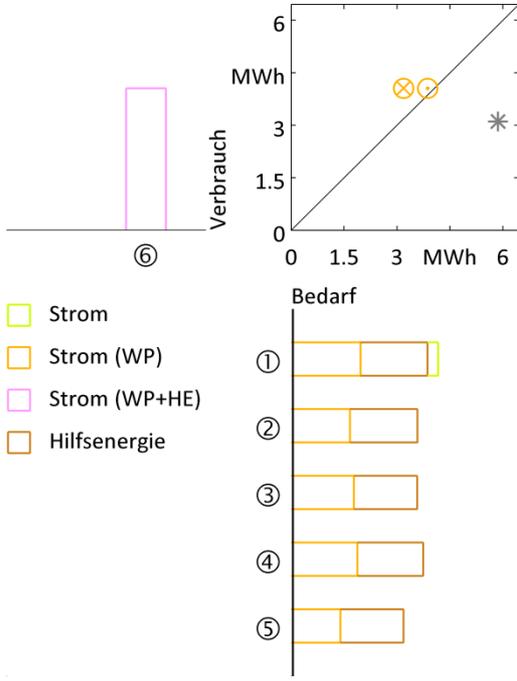
## **8 Anhang – Steckbriefe der zehn untersuchten Gebäude**

1	Energetisch modernisiertes Zweifamilienhaus, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Stückholzkessel und thermischer Solaranlage	
<p>Allgemeine Angaben zum Gebäude</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zweifamilienhaus mit Wintergarten im EG und als Wohnraum genutztem Dachgeschoss</li> <li>Abschluss Modernisierung 2012</li> <li>255 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>1047 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>335 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul>	
<p>Thermische Hülle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dachdämmung mit verschiedenen Faserdämmstoffen mit <math>U = 0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>Außenwand mit verschiedenen Dämmsystemen mit <math>U = 0,10 \dots 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>Fußboden mit Polystyrolplatten 10 cm, <math>U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>Fenster und Türen als PH-geeignete Komponenten mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung</li> <li>Blower-Door-Test mit <math>n_{50} = 0,60 \text{ l/h}</math></li> </ul>	
<p>Lüftungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad = 0,84) ganzjährig in Betrieb</li> </ul>	
<p>Wärmeversorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stückholzkessel für Heizung und Warmwasser in der Heizperiode und Übergangszeit, sowie sporadisch im Sommer</li> <li>Solarthermie 10 m<sup>2</sup> Flachkollektoren südlich orientiert senkrecht angebracht</li> <li>Knapp 3 m<sup>3</sup> großer Speicher für Heizung und Warmwasser (innen liegender Wärmetauscher)</li> <li>Heizungsverteilung weitgehend nach EnEV gedämmt, an wenigen Stellen (Durchführungen) dünnere Dämmung</li> <li>Warmwasser ohne Zirkulation, Sticleitungen weitgehend nach EnEV-Standard gedämmt</li> <li>Wärmeabgabe teilweise über Radiatoren, teilweise über Flächenheizung mit Vorlauftemperaturen jeweils bis 32°C, Thermostat- bzw. Funkthermostatventile</li> </ul>	

1 (Forts.)	<b>Energetisch modernisiertes Einfamilienhaus, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Stückholzkessel und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmehähler werden monatlich abgelesen</li> <li>■ Wärme aus Holzkessel und Solarthermie jeweils vor Einspeisung in den Speicher gemessen</li> <li>■ Wärmebereitstellung durch Position der Zähler gemeinsam für Heizung und Warmwasser, separater Wärmehähler für Warmwasserentnahme vorhanden</li> <li>■ Wärmehählermesswerte (Erzeugernutzwärmeabgabe) des Holzkessels werden mit einer Erzeugeraufwandszahl von 1,3 multipliziert, Verluste zwischen Solarkollektor und Speicher werden vernachlässigt</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ In einer Wohnung ca. 20°C, in der anderen Wohnung ca. 22°C</li> <li>■ Keine Nachtabsenkung und keine räumliche Teilbeheizung</li> <li>■ Keine beheizten Räume außerhalb der thermischen Hülle</li> <li>■ Besonderheit innere Wärmequellen: Server mit ca. 350 W Leistungsaufnahme</li> <li>■ Lüftungsanlage versorgt Gesamtgebäude, im EG parallel dazu über längere Zeiträume gekippte Fenster</li> <li>■ Passive Kühlung im Sommer über die Lüftungsanlage</li> <li>■ Solarthermie deckt in warmen Jahren mehr als 1/3 des Gesamtverbrauchs für Heizung und Warmwasser</li> </ul>

2	Einfamilienhaus-Neubau, Stückholzofen und thermische Solaranlage	
<p>Allgemeine Angaben zum Gebäude</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfamilienhaus</li> <li>▪ Baujahr 2006</li> <li>▪ 209 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>▪ 965 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>▪ 309 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul>	
<p>Thermische Hülle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dach: Holzleichtbau mit 40 cm Zellulosedämmung</li> <li>▪ Außenwand: Holzleichtbau mit 40 cm Zellulosedämmung</li> <li>▪ Fußboden: Stahlbetonplatte mit 12 cm XPS unter und 18 cm EPS auf der Platte</li> <li>▪ Fenster: 3-fach-Wärmeschutzverglasung im Passivhausrahmen</li> <li>▪ Blower-Door-Test: n<sub>50</sub> = 0,31/h</li> </ul>	
<p>Lüftungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad = 86%) kontinuierlicher Betrieb</li> </ul>	
<p>Wärmeversorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stückholzofen mit Wassertasche im Wohnzimmer, thermische Solaranlage vertikal in der Südfassade</li> <li>▪ Bivalenter Solarspeicher, 1.000 Liter, zusätzliche Dämmung vor Ort angebracht</li> <li>▪ Warmwasser ohne Zirkulation</li> <li>▪ Heizkörper in 6 Räumen, Thermostatventile, keine automatische Regelung</li> </ul>	

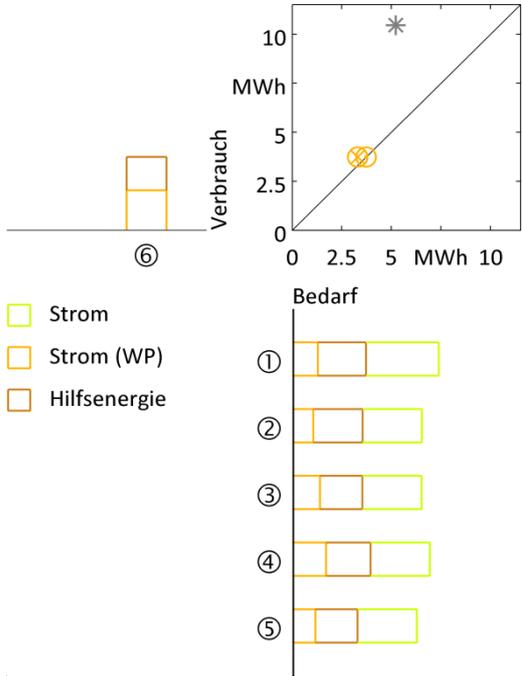
2 (Forts.)	Einfamilienhaus-Neubau, Stückholzofen und thermische Solaranlage
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Holzverbrauch 3-4 Ster pro Jahr (Erfahrungswert Bewohner über mehrere Jahre)</li> <li>■ Heizung &amp; Warmwasser gemeinsam erfasst</li> <li>■ Heizwert Hartholz 1978 kWh/Ster, Weichholz 1488 kWh/Ster</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bewohner betreiben Haus sehr energiebewusst</li> <li>■ Raumtemperatur 19 °C, keine automatische Nachheizung, Ofen muss angefeuert werden, um im Winter Räume erwärmen zu können</li> <li>■ Nachabschaltung durch Abdrehen der Thermostatventile</li> <li>■ Keller nicht beheizt</li> <li>■ Keine Räume außerhalb der thermischen Hülle beheizt</li> <li>■ Keine besonderen Verbraucher</li> <li>■ Ausschließlich Lüftung über Lüftungsanlage</li> <li>■ Unschärfen bezüglich Verbrauch an Holz, Anteil Hart-/Weichholz, Anteil solare Deckung durch senkrechte Kollektoren in der Südfassade</li> <li>■ In den Badezimmern Hinweise für Besucher, dass aufgrund der Lüftungsanlage die Fenster nicht geöffnet werden müssen</li> <li>■ Kochen mit Gas</li> </ul>

3	<b>Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1930er Jahre, Wärmepumpe und Solarthermie</b>	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mehrfamilienhaus mit 3 Wohneinheiten, Baujahr 1937</li> <li>■ Abschluss Modernisierung 2010</li> <li>■ 264 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 993 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 318 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub>nach EnEV</li> </ul>	
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dach mit Mineralfaser-Zwischensparren- und Polystyrol-Aufsparrendämmung, <math>U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem (Polystyrolplatten) <math>U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kellerdecke mit kaschierten Polyurethanplatten mit <math>U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Fenster mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung, <math>U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>, Dachflächenfenster <math>U = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>, Tür <math>U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Blower-Door-Test: <math>n_{50} = 0,9 \text{ l/h}</math></li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad = 83 %), ganzjähriger Betrieb, versorgt Gesamtgebäude</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser saisonal (abh. von Solarthermie) betrieben</li> <li>■ Solarthermie: 7 Kollektoren Süd-Süd-West mit 25° Neigung auf dem Dach angebracht, speist in den Speicher ein</li> <li>■ 800 l großer Speicher für Heizung und Warmwasser (innen liegender Wärmetauscher)</li> <li>■ Heizungsverteilung innerhalb der therm. Hülle weitgehend gedämmt (Ausnahme Durchdringungen), Warmwasser horiz. Vollständig gedämmt, vertikal (Baubestand) ungedämmt</li> <li>■ Heizung über Heizkörper in EG und DG, Thermostatventile, Vorlauftemperatur gleitend bis 50°C, im OG Fußbodenheizung, Raumtemperaturfühler, Vorlauftemperatur 25 bis 30°C</li> </ul>	

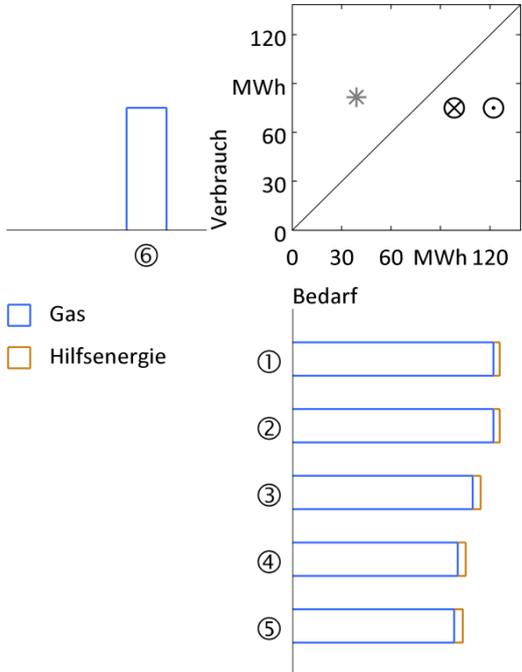
3 (Forts.)	<b>Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1930er Jahre, Wärmepumpe und Solarthermie</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Jährliche Ablesung Ende Oktober</li> <li>■ Stromverbräuche liegen für 4 Jahre vor</li> <li>■ Verbrauch enthält neben Strom für Wärmepumpe (für Heizung und Warmwasser) und Lüftung auch Allgemeinstrom des Gebäudes, Haushaltsstrom wird separat erfasst</li> <li>■ Solarthermieproduktion wird nicht gemessen</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperatur in allen Wohnungen 20 bis 22°C</li> <li>■ Keine Nachtabsenkung und keine räumliche Teilbeheizung</li> <li>■ Keine Räume außerhalb der thermischen Hülle beheizt</li> <li>■ Blower-Door-Test <math>n_{50} = 0,90</math></li> <li>■ Vergrößerte Solarkollektorfläche, günstige Orientierung und geringe Systemtemperaturen deuten auf erhöhte Deckungsgrade hin, für Heizung und Warmwasser zu 20 % bzw. 70 % des Jahresverbrauchs abgeschätzt</li> <li>■ Lüftung in allen Wohnungen generell über die Lüftungsanlage</li> <li>■ Passive Kühlung im Sommer über Erdreichkollektor</li> <li>■ Separate Lüftungsanlage im Keller zur Regulierung der Feuchte</li> </ul>

4	<b>Einfamilienhaus-Neubau, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Erdreichwärmepumpe und thermische Solaranlage</b>	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einfamilienhaus Baujahr 2007</li> <li>■ 285 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 1580 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 506 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> <li>■ Kellergeschoss innerhalb der thermischen Hülle</li> </ul>	<p>Verbrauch</p> <p>Bedarf</p> <p>⑥</p> <p>Strom (WP)</p> <p>Strom (WP+HE)</p> <p>Hilfsenergie</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>③</p> <p>④</p> <p>⑤</p>
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Flachdach mit Gefälledämmung EPS 035 (mittlere Dicke ca. 25 cm) bzw. Dachterrasse; U = 0,11 bis 0,17 W/(m<sup>2</sup> K)</li> <li>■ Mauerwerk mit Klinker-Vorsatzschale, 18 cm Dämmung WLG 035; in Teilbereichen TJI-Träger mit 20 cm Zellulose-Einblasdämmung + 6 cm Putzträger-Dämmplatte; U = 0,14 W/(m<sup>2</sup> K)</li> <li>■ Kellergeschoss als weiße Wanne mit 16 cm XPS 040; U = 0,25 W/(m<sup>2</sup> K)</li> <li>■ Fenster mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung im Passivhaus-Rahmen, U<sub>w</sub> = 0,8 W/(m<sup>2</sup> K)</li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad 63%)</li> <li>■ Erdreichwärmetauscher zur Frischluftvorerwärmung</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erdreichwärmepumpe für Heizung und Warmwasser in der Heizperiode</li> <li>■ Thermische Solaranlage mit 18 m<sup>2</sup> Flachkollektoren</li> <li>■ Warmwasserspeicher (195 l) + Puffer-Speicher (750 l) für Heizung und Warmwasser</li> <li>■ Heizungsverteilung innerhalb der thermischen Hülle, gedämmt nach HeizAnV; Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle, gedämmt nach HeizAnV</li> <li>■ Wärmeabgabe über Fußbodenheizung mit Vorlauftemperaturen bis zu 30°C, Raumthermostate</li> </ul>	

4 (Forts.)	<b>Einfamilienhaus-Neubau, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Erdreichwärmepumpe und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abrechnung Wärmepumpenstrom auf der Basis von Selbstablesungen im Oktober/November (unklar, ob hier Anteile des Hilfsstromverbrauchs enthalten sind)</li> <li>■ Stromverbräuche Wärmepumpe für 3 Jahre vorhanden</li> <li>■ Warmwasserverbrauch wird nicht separat gemessen</li> <li>■ Haushaltsstrom wird separat erfasst</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperatur 21°C, gemäß Einstellung der Raumthermostate</li> <li>■ Keine Nachtabsenkung</li> <li>■ Kellerräume werden teilweise beheizt (Kellergeschoss ist innerhalb der thermischen Hülle)</li> <li>■ Besonderheit innere Wärmequellen: Sauna-, Wellness-Bereich vorhanden; Haushaltsstromverbrauch von ca. 7000 kWh/a; bei der energetischen Bilanzierung berücksichtigt</li> <li>■ Lüftungsanlage auf Grundeinstellung, Fenster werden im Winter nicht geöffnet</li> <li>■ Durch die erhöhte Wohnfläche pro Person geringeren Warmwasserbedarf angesetzt (3 kWh/m<sup>2</sup> a)</li> </ul>

5	Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe und thermische Solaranlage	
<p>Allgemeine Angaben zum Gebäude</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten</li> <li>■ Abschluss Sanierung 2009</li> <li>■ 380 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 1568 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 502 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul>	
<p>Thermische Hülle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dach: Faserdämmstoff, Zwischensparrendämmung, 0,14 W/m<sup>2</sup>K</li> <li>■ Außenwand: Mineralfaserdämmstoff, kreuzweise zweilagig, 0,14 W/m<sup>2</sup>K</li> <li>■ Kellerfußboden: Polystyrol, 0,21 W/m<sup>2</sup>K</li> <li>■ Fenster: 3-fach-Wärmeschutzverglasung, 0,75 W/m<sup>2</sup>K</li> </ul>	
<p>Lüftungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung, Wärmerückgewinnungsgrad 85%</li> <li>■ Ganzjährig rund um die Uhr betrieben</li> <li>■ Anlage belüftet Gesamtgebäude, ergänzend nach individuellem Bedarf Fensterlüftung</li> </ul>	
<p>Wärmeversorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmeerzeuger: Wärmepumpe für Heizung, Solarthermie fast ausschließlich für Warmwasser, Restbedarf Warmwasser über Durchlauferhitzer in den Wohnungen</li> <li>■ Wärmespeicher: 800 l Volumen, innenliegend 60 l (Wellrohrwendel) für Warmwasser</li> <li>■ Verteilung: Heizungsverteilung nach EnEV gedämmt; Warmwasserverteilung ohne Zirkulation, Steigleitungen gedämmt nach EnEV</li> <li>■ Wärmeübergabe: Fußbodenheizung mit Heiznetz-Vorlauftemperaturen von 27...35°C</li> </ul>	

5 (Forts.)	<b>Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpe und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erfassung: Strom für Wärmepumpe und Hilfsenergie (Lüftungsanlage und Pumpen) über gemeinsamen Stromzähler, Strom für Durchlauferhitzer im Haushaltsstrom enthalten, Wärme aus Solarthermie wird nicht erfasst</li> <li>■ Mess- bzw. Abrechnungszeiträume, Datenqualität: alle Stromzähler werden um den Jahreswechsel und mehrfach unterjährig abgelesen, Wärme für Warmwasser aus Durchlauferhitzer und Solarthermie werden in dieser Studie geschätzt</li> <li>■ Wärme nach Verwendungszweck: Heizung und Warmwasser getrennt erfasst</li> <li>■ Ergänzende Annahmen: Arbeitszahl Wärmepumpe nach EnEV, da vorhandene Messdaten keine Angaben über Anteil der Hilfsenergie am Stromverbrauch enthalten, Strom für Durchlauferhitzer zu 30 % des Haushaltsstroms abgeschätzt, Wärme aus Solarthermie auf 4500 kWh/a geschätzt</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperaturen nach Messwerten in den einzelnen Wohnungen zwischen 21 und 25°C, flächengewichtet mit 23°C angesetzt</li> <li>■ Keine Nachtabsenkung</li> <li>■ Keine Teilbeheizung einzelner Räume innerhalb der thermischen Hülle</li> <li>■ Keine Nutzung von Räumen außerhalb der thermischen Hülle</li> <li>■ Keine besonderen Quellen für innere Wärmegewinne</li> <li>■ Passive Kühlung in den Sommermonaten</li> <li>■ Blower-Door-Test mit <math>n_{50} = 0,57 \text{ h}^{-1}</math></li> <li>■ Deckungsanteile der Wärmeerzeuger in der Bilanz sind unscharf, da Strom Durchlauferhitzer und Wärme Solarthermie geschätzt (s. o. Verbrauchsangaben)</li> <li>■ Lüftungsverhalten qualitativ vor Ort erfasst, Verhalten individuell (Stoßlüftung beim Kochen, teilweise gekippte Fenster in Schlafzimmern)</li> </ul>

6	Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1920er Jahre, Gaskessel	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mehrfamilienhaus mit 18 Wohneinheiten und 2 Ladenlokalen, Baujahr 1920</li> <li>■ Abschluss Modernisierung 2008</li> <li>■ 990 m<sup>2</sup> Wohnfläche (einschließlich Ladenfläche)</li> <li>■ 4472 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 1197 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> <li>■ Kellergeschoss außerhalb der thermischen Hülle</li> </ul>	 <p>Verbrauch</p> <p>Bedarf</p> <p>⑥</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>③</p> <p>④</p> <p>⑤</p> <p>Gas</p> <p>Hilfsenergie</p>
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Oberste Geschossdecke 40 cm Mineralwolle (WLG 035), <math>U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>; Mansarddach 10 cm Polystyrol (WLG 035) zwischen den Sparren, <math>U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Wärmedämmverbundsystem auf den Außenwänden 20 cm Polystyrol, WLG 035; <math>U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Ca. 15 cm Zellulose-Sprühdämmung unter den Gewölbekappen der Kellerdecke (nicht dämmbar im Pfeiler-Bereich); <math>U = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math> (Mittelwert, vereinfacht abgeschätzt)</li> <li>■ Fenster mit 2-fach-Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math> (<math>U_g = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>)</li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abluftanlage in allen Wohnungen; Zuluftventile in den Außenwänden</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alleinige Wärmeversorgung durch Erdgas-Niedertemperaturkessel (Standort: unbeh. Keller)</li> <li>■ 500 l großer Warmwasserspeicher (Standort: unbeh. Keller)</li> <li>■ Heizungsverteilung innerhalb der thermischen Hülle; Warmwasser mit Zirkulation innerhalb der thermischen Hülle</li> <li>■ Wärmeabgabe über Heizkörper, Thermostatventile</li> </ul>	

6 (Forts.)	Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1920er Jahre, Gaskessel
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Jährliche Heizkostenabrechnung nach Heizkostenverordnung jeweils Ende April</li> <li>■ Gemessene Erdgasverbräuche (Gaszähler) und Warmwassermengen (Wasserzähler) liegen vor für einen Zeitraum von 5 Jahren</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Winterliche Raumtemperatur auf 22°C geschätzt</li> <li>■ Informationen zu Nachtabsenkung und räumlicher Teilbeheizung liegen nicht vor</li> <li>■ Zuluftelemente in der Außenwand teilweise verschlossen (wegen Lärm von der Straße), zeitweises Öffnen von Fenstern im Winter; Stoßlüftung nach Bewohnerangabe</li> <li>■ Personen-bezogener Ansatz für Warmwasserbedarf (30 Liter pro Person und Tag bei 50°C) in der Berechnung stimmt sehr gut mit abgerechnetem Verbrauch überein</li> </ul>

7	Mehrfamilienhaus-Neubau, Gas-Brennwertkessel und thermische Solaranlage	
<p>Allgemeine Angaben zum Gebäude</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mehrfamilienhaus-Neubau mit 4 Wohneinheiten</li> <li>■ Baujahr 2010</li> <li>■ 384 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 1586 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 507 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul>	
<p>Thermische Hülle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sparrendach mit 20 cm Zwischen- und 6 cm Aufsparrendämmung aus Holzweichfaserplatten</li> <li>■ Holzdübelwand mit 16/18 cm Holzfaserdämmung</li> <li>■ Betonplatte mit 10 cm XPS unter der Platte</li> <li>■ Fenster mit 2-fach Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
<p>Lüftungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ keine Lüftungsanlage</li> </ul>	
<p>Wärmeversorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gas-Brennwertkessel sowie thermische Solaranlage mit 14 m<sup>2</sup></li> <li>■ Bilvalenter Solarspeicher mit 820 Liter, WW-Temperatur 47 °C</li> <li>■ Verteilung nach EnEV gedämmt, Zirkulation nicht in Betrieb</li> <li>■ Niedertemperatur-Fußbodenheizung mit max. 29 °C Vorlauftemperatur</li> </ul>	

7 (Forts.)	<b>Mehrfamilienhaus-Neubau, Gas-Brennwertkessel und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abrechnungsperioden von März-März</li> <li>■ Ablesungen Gas-Zähler bzw. Gas-Rechnung</li> <li>■ Heizung &amp; Warmwasser gemeinsam erfasst</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperatur in allen Wohnungen auf 20 °C eingestellt</li> <li>■ Keine Nachtabsenkung</li> <li>■ Eine große und eine kleine Wohnung nicht dauerhaft genutzt</li> <li>■ Teil des Kellers als unbeheizter Keller mit Ziegelboden, der jedoch seitlich mit gedämmt ist; Berücksichtigung über flächengewichtete Raumtemperatur (16 °C)</li> <li>■ Fensterlüftung, in den nicht bewohnten Wohnungen und im Erdkeller reduzierte Lüftung</li> <li>■ Deckungsanteil Solarthermie aufgrund der niedrigen Temperaturen in Heizkreis auf 15 % und bei WW mit 59 % angesetzt</li> </ul>

8	Energetisch modernisiertes Fertighaus der 1970er Jahre, Holzpelletkessel	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zweifamilienhaus, Baujahr 1977</li> <li>■ Anbau und Erweiterung um "Wintergarten" 1995, energetische Modernisierung 2010</li> <li>■ 259 m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 939 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 301 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul>	
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Oberste Geschossdecke 12 cm alt + 20 cm neu Dämmung</li> <li>■ Außenwände: Holzständerbau mit 6 cm Originaldämmung + 14 cm WDVS</li> <li>■ Beton mit 7 cm Dämmung (Anbau)/ 4 cm (Bestand) auf der Bodenplatte</li> <li>■ Überwiegend Fenster mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>, einzelne Fenster 2-fach-Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 1,3</math>, Schrägverglasung Wintergarten <math>U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Keine Lüftungsanlage</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Holzpelletkessel</li> <li>■ WW-Speicher 200 Liter</li> <li>■ Verteilung innerhalb der thermischen Hülle, überwiegend Dämmstandard 1977</li> <li>■ Teilweise Fußbodenheizung, überwiegend Heizkörper mit Thermostatventilen</li> </ul>	

8 (Forts.)	Energetisch modernisiertes Fertighaus der 1970er Jahre, Holzpelletkessel
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mittelwert der Angaben zu Pelletlieferungen über ca. 5 a, Pelletlager leer-leer ausgewertet</li> <li>■ Heizung &amp; Warmwasser gemeinsam erfasst</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperatur ca. 21 °C</li> <li>■ Nachtabsenkung vorhanden, Zirkulation nachts abgeschaltet</li> <li>■ Heizraum, Pelletlager und Vorratsraum innerhalb der thermischen Hülle</li> <li>■ keine Nutzung von Räumen außerhalb der therm. Hülle</li> <li>■ Fensterlüftung</li> <li>■ 100 % Holz-Pellets, durch langen Auswertzeitraum Unsicherheit nur bei Heizwert Pellets</li> <li>■ sparsames Lüftungsverhalten</li> <li>■ Fensterflächenanteil an Außenwänden 38 %</li> <li>■ nennenswerte Wärmebrücken im Bereich Bodenplatte/Kellergeschoss (Dämmung auf Betondecke)</li> </ul>

9	Energetisch modernisiertes Zweifamilienhaus, Holzpelletkessel und thermische Solaranlage	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zweifamilienhaus mit je einer Wohnung je Geschoss</li> <li>■ Abschluss Modernisierung 2010</li> <li>■ 194/217* m<sup>2</sup> Wohnfläche</li> <li>■ 664/730* m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 213/234* m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> </ul> <p>* größere Flächen und größeres Volumen gelten ab Variante ④, Berücksichtigung eines Kellerraums</p>	<p>The figure contains two charts. The top chart is a bar chart with 'Verbrauch' (Consumption) on the y-axis (0 to 32 MWh) and 'MWh' on the x-axis (0 to 32). A diagonal line represents the 1:1 ratio. A single green bar for variant ⑥ reaches approximately 16 MWh. The bottom chart is a horizontal bar chart with 'Bedarf' (Demand) on the y-axis (variants ① to ⑤) and 'MWh' on the x-axis (0 to 32). It compares 'Pellets' (green bars) and 'Hilfsenergie' (orange bars). For all variants, the demand is below 16 MWh, with Pellets being the primary energy source.</p>
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ OGD zweilagig mit Polystyrolplatten mit <math>U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ WDVS mit Polystyrolplatten mit <math>U = 0,15 \dots 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kellerdecke Polystyrolplatten mit <math>U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Fenster mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math>, eine Tür ursprüngl. Bestand mit <math>U = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math> und eine Tür mit 2-fach-Wärmeschutzverglasung mit <math>U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Keine Lüftungsanlage</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pelletkessel für Heizung und Warmwasser in der Heizperiode, im Sommer nicht in Betrieb, Einzelpelletofen, sehr selten in Betrieb</li> <li>■ Solarthermie: 12 m<sup>2</sup> Flachkollektoren südlich auf dem Dach angebracht, im Sommer alleiniger Wärmeversorger</li> <li>■ 800 l großer Speicher für Heizung und Warmwasser (innen liegender Wärmetauscher)</li> <li>■ Heizungsverteilung innerhalb der thermischen Hülle weitgehend ungedämmt, im unbeheizten Dachboden gedämmt</li> <li>■ Warmwasser ohne Zirkulation, kurze Sticleitungen innerhalb der thermischen Hülle weitgehend ungedämmt, im Keller gedämmt</li> <li>■ Heizung über Heizkörper mit Vorlauftemperaturen von 35 bis 50°C, Thermostatventile</li> </ul>	

<b>9 (Forts.)</b>	<b>Energetisch modernisiertes Zweifamilienhaus, Holzpelletkessel und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pelletlieferungen erfolgen etwa alle zwei Jahre</li> <li>■ für Pellets liegen die Liefermengen in kg vor</li> <li>■ Erträge aus Solarthermie werden nicht gemessen</li> <li>■ keine Wärmezähler vorhanden, Pellets decken weitgehend Heizwärme ab, Solarthermie mehrheitlich Warmwasser</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ beide Wohnungen tagsüber 21 °C, im Absenkbetrieb etwa 17 bis 18°C</li> <li>■ etwa 7 Stunden Nachtabsenkung, unterscheidet sich nach Wochentag und Wochenende</li> <li>■ Beheizung eines Hobbyraums im Keller</li> <li>■ Luftdichtigkeit geplant und während der Bauausführung gründlich überwacht</li> <li>■ Deckungsanteile der Solarthermie für Heizung bzw. Warmwasser zu 15 % bzw. 70 % des Jahresverbrauchs abgeschätzt, geringe Vorlauftemperaturen für Heizung (s.o.) und Warmwasser (46°C hinter Frischwasserstation)</li> <li>■ In einer Wohnung Stoßlüftung, in der anderen Wohnung teilweise über kürzere Zeiträume auch gekippte Fenster</li> </ul>

10	<b>Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1920er Jahre, Holzpelletkessel und thermische Solaranlage</b>	
Allgemeine Angaben zum Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mehrfamilienhaus mit 4 Wohneinheiten, Baujahr 1920</li> <li>■ Abschluss Modernisierung 2013</li> <li>■ 323 m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche</li> <li>■ 1050 m<sup>3</sup> beheiztes Bruttovolumen</li> <li>■ 336 m<sup>2</sup> „Gebäudenutzfläche“ A<sub>N</sub> nach EnEV</li> <li>■ Mit Dachgeschoss-Wohnung, Kellergeschoss außerhalb der thermischen Hülle</li> </ul>	
Thermische Hülle	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Dach mit Mineralfaser-Zwischensparrendämmung + Polystyrol-Aufsparrendämmung (PU-Thermodach) mit <math>U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Flachdach Anbau nicht nachträglich gedämmt, <math>U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ WDVS mit Polystyrolplatten EPS 030 mit <math>U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kellerdecke 14 cm (WLS 030) mit <math>U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Fenster mit 2-fach Wärmeschutzverglasung, <math>U_w = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})</math></li> <li>■ Kein Blower-Door-Test</li> </ul>	
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Keine</li> </ul>	
Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Holzpelletkessel für Heizung und Warmwasser in der Heizperiode, im Sommer nicht in Betrieb</li> <li>■ Solarthermie Röhrenkollektoren (13 m<sup>2</sup>) auf südlich ausgerichteter Dachfläche</li> <li>■ 850 l großer Speicher für Warmwasser</li> <li>■ Heizungsverteilung und Zirkulationsleitungen unter der Kellerdecke, mit Kellerdecken-dämmung weitgehend überdämmt</li> <li>■ Wärmeabgabe mit Heizkörpern</li> </ul>	

10 (Forts.)	<b>Energetisch modernisiertes Mehrfamilienhaus der 1920er Jahre, Holzpelletkessel und thermische Solaranlage</b>
Verbrauchsangaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Liefer-Rechnungen: 3 Pellets-Lieferungen in 870 Tagen</li> <li>■ Verwendung für Heizung und Warmwasser</li> <li>■ Wärmeeinspeisung: Solaranlage wird nicht gemessen</li> </ul>
Beschreibung der Nutzung und besonderer Gegebenheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Raumtemperatur tagsüber 21°C (Schätzung)</li> <li>■ Nachtabsenkung wird durchgeführt</li> <li>■ Keine räumliche Teilbeheizung</li> <li>■ Ein mit Heizkörpern ausgestatteter Kellerraum wird zeitweise beheizt</li> <li>■ Keine besonderen Quellen für innere Wärmegewinne</li> <li>■ Stoßlüftung nach Bewohnerangabe</li> </ul>



