



**Auswertung von Verbrauchskennwerten
energieeffizient sanierter Wohngebäude.
Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben
Effizienzhäuser.**

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
Internet: www.dena.de

Autoren.

Christian Stolte (Bereichsleitung), dena
Heike Marcinek, dena
Uwe Bigalke, dena
Yang Zeng, dena

Stand: 01/2013

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt.

1	Einleitung.....	4
1.1	Das Modellvorhaben Effizienzhäuser.	4
1.2	Ziel der Studie.....	5
1.3	Zur Auswertung einbezogene Projekte.	6
2	Vorgehensweise und Methodik.....	7
2.1	Grundlagen zum Vergleich von Endenergiebedarf und -verbrauch.	7
2.2	Ermittlung der Energieverbrauchskennwerte.....	10
3	Auswertungsergebnisse der Daten.....	12
3.1	Grundlagen zur Darstellung von Energieeinsparungen durch energetische Sanierung.....	12
3.1.1	Grundsätzliche Möglichkeiten, darstellbare Parameter.....	12
3.1.2	Bedeutung der Bezugsgröße.....	12
3.1.3	Darstellung des Ergebnisses.....	13
3.2	Ergebnisse der Untersuchungen.....	13
3.2.1	Mittlere berechnete und erzielte Energieeinsparung.....	13
3.2.2	Berechnete und erzielte Energieeinsparung der Einzelgebäude.....	17
4	Literaturverzeichnis.....	18

1 Einleitung.

1.1 Das Modellvorhaben Effizienzhäuser.

Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) führt seit 2003 in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der KfW Bankengruppe das Modellvorhaben Effizienzhäuser (zuvor „Niedrigenergiehaus im Bestand“) durch.

Ziel des Modellvorhabens ist es, anhand von Best-Practice-Projekten den Know-how-Transfer zu beschleunigen, innovative Technologien der energetischen Gebäudesanierung bekannt zu machen und weiterzuentwickeln sowie durch übertragbare, wirtschaftlich tragfähige Sanierungsempfehlungen zur Nachahmung anzuregen. Heute an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehende Energiesparttechnologien sollen so auch bei Sanierungsmaßnahmen verstärkt in den Markt eingeführt werden, damit solche Maßnahmen mittelfristig auch ohne Förderung wirtschaftlich werden. Regionale Kompetenznetzwerke werden initiiert und unterstützt, um die Multiplikatorwirkung effizienter Sanierung zu verstärken.

Dass die energieeffiziente Modernisierung von Bestandsgebäuden funktioniert, hat die dena im Rahmen des Modellvorhabens Effizienzhäuser in den vergangenen Jahren vielfach gezeigt. Seit Start des Projekts wurden über 460 Gebäude in das Modellvorhaben aufgenommen. Davon sind 200 Gebäude bereits fertiggestellt. In die vorliegende Untersuchung sind die Daten der Gebäude eingeflossen, die mindestens über zwei Jahre bzw. zwei Heizperioden nach Sanierung bewohnt waren und deren Daten der dena plausibel vorliegen.

Die Effizienzstandards, die die Gebäude im Modellvorhaben erreichen mussten, wurden in den einzelnen Projektphasen immer wieder angehoben. In Tabelle 1 sind die Anforderungen übersichtlich zusammengestellt.

	Primärenergiebedarf Q_P	Transmissionswärmeverlust H'_T	Endenergiebedarf Q_E
1. Projektphase 2003	40 - 60 kWh/m ² a	30 - 45 % unter EnEV 2002	
2. Projektphase 2005	30 - 50 % unter EnEV	35 - 55 % unter EnEV 2004	
3. Projektphase 2007	50 % unter EnEV	50 % unter EnEV 2007 Neubau	40 % unter Q_P Neubauanforderung

Tab. 1: Effizienzstandards der ersten drei Projektphasen des dena-Modellprojekts.

Zur Erreichung der Anforderungen ist für jedes Gebäude ein ganzheitliches Sanierungskonzept erforderlich. Dabei ist die Dämmung der Gebäudehülle die Voraussetzung zur Reduzierung des Energiebedarfs. Der Restbedarf wird durch eine optimierte Anlagentechnik – häufig unter Einsatz erneuerbarer Energien – zur Verfügung gestellt.

Abbildung 2 zeigt den spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T vor der Sanierung (rote Punkte) und nach der Sanierung (blaue Punkte) für die ausgewerteten Projekte und macht die Effizienzsteigerung über die Hülle der Projekte deutlich.

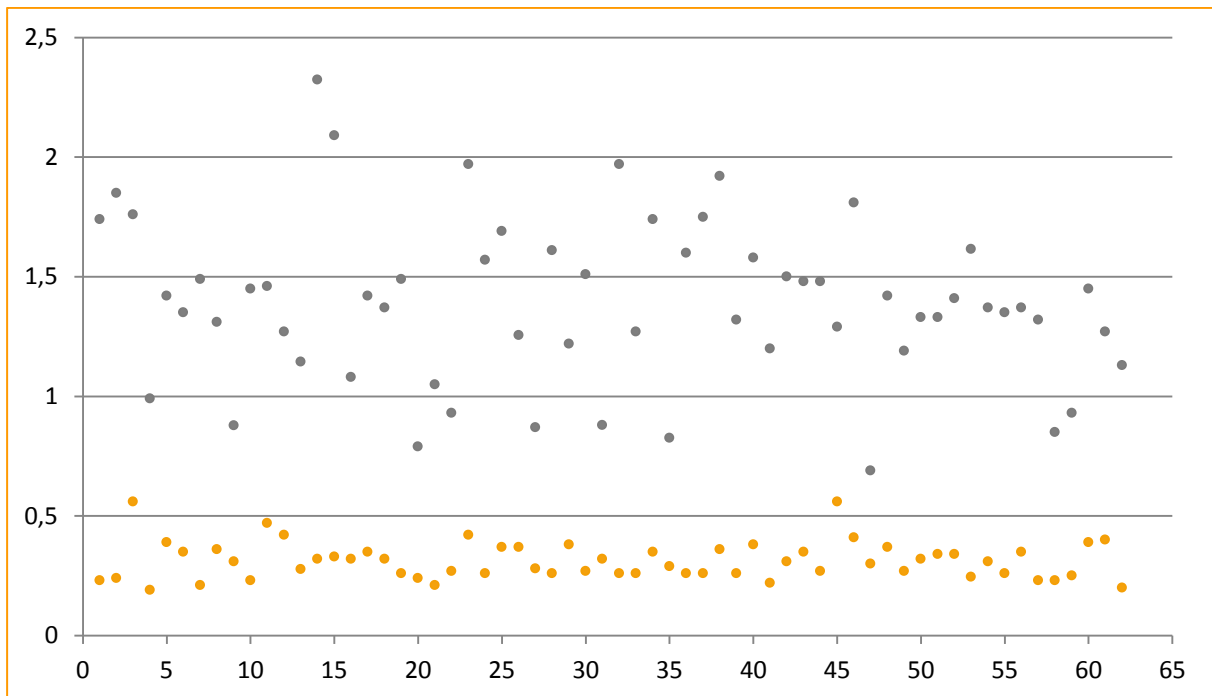


Abb. 2: H'_T vor und nach der Sanierung der ausgewerteten Projekte.

1.2 Ziel der Studie.

Die dena hat an die Energieeffizienz der teilnehmenden Projekte anspruchsvolle Anforderungen gestellt, um Erfahrungen bei hocheffizienten Gebäuden zu sammeln. Im Moment ihrer Umsetzung gehörten die geforderten Standards der dena noch nicht zu den auf dem Markt etablierten Breitenstandards, sodass Erfahrungen zum Erfolg energieeffizienter Sanierungen bisher nur vereinzelt vorliegen. Untersuchungen anderer an einzelnen Gebäuden zeigen teilweise, dass eine geplante Energiebedarfsreduzierung sich nicht in gleicher Weise im sinkenden Energieverbrauch widerspiegeln muss. Die Ursachen dafür können sehr vielfältig sein. Ob und in welcher Höhe die Reduzierung des Energiebedarfs durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle sowie den Einbau effizienter Technik zu einer Verbrauchsreduzierung führen, ist deshalb Inhalt dieser Untersuchung anhand von 63 Gebäuden aus dem dena-Modellvorhaben.

Die leitende Frage lautet:

Wird die geplante, rechnerisch ermittelte Energieeinsparung (Energiebedarf) und damit das geplante energetische Zielniveau auch in der Praxis (Energieverbrauch) erreicht?

1.3 Zur Auswertung einbezogene Projekte.

In die Auswertung konnten alle dena-Projekte einbezogen werden, die komplett fertiggestellt wurden, über einen Zeitraum von mindestens zwei Winter bewohnt waren und deren Daten plausibel vorlagen. Insgesamt konnten somit 63 Projekte für die Auswertung berücksichtigt werden. Davon sind 52 Projekte Mehrfamilienhäuser und 11 Projekte Ein- oder Zweifamilienhäuser. Von den 63 Projekten lagen bei 19 Projekten zusätzlich zu den Verbrauchsdaten nach der Sanierung auch plausible Daten vor der Sanierung vor. Bei den anderen Projekten liegen der dena nur die Daten nach der Sanierung vor. Verbrauchsdaten vor der Sanierung sind schwer zu ermitteln, wenn z. B.

- ein Eigentümerwechsel kurz vor der Sanierung stattgefunden hat,
- durch ein dezentrales Heizungssystem (Bsp. Gasetagenheizungen) viele Einzelabrechnungen ermittelt werden müssen,
- nicht leitungsgebundene oder dezentrale Heizsysteme vorlagen, für die keine klare Abrechnung existiert (z. B. Holz- oder Kohleöfen).

2 Vorgehensweise und Methodik.

2.1 Grundlagen zum Vergleich von Endenergiebedarf und -verbrauch.

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**.

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 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).

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 in der Regel nicht einzeln gemessen. Diese wird daher über einen Pauschalwert für die Gebäude nach der Sanierung berücksichtigt.

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, 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 2009 [2] bietet dazu entsprechende Verfahren an.

In Anlehnung an die in der Bekanntmachung [2] beschriebenen Schritte wurden spezifische Energieverbrauchskennwerte für die Gebäude berechnet. Dort wo notwendig, wurden die Verfahren sinn gemäß angewendet, etwa wenn nur zwei Verbrauchsjahre statt der in der Bekanntmachung geforderten drei Verbrauchsjahre vorlagen.

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. In vorliegender Studie wurde deshalb der Energiebedarf vor der Sanierung mit einem Pauschalwert, der über einen Teil der Objekte ermittelt wurde, abgeglichen (siehe auch Kap. 3.1).

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 [3]. 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 vermehrt 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 erhöhen müsste, die bewohnte Wohneinheit die unbewohnte also fast vollständig „mitbeheizt“.
- **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. In diesen Fällen musste der Energieverbrauch für Warmwasser entsprechend der Pauschalwerte der Heizkostenverordnung bzw. der Bekanntmachungen zur EnEV angenommen werden (s. Kapitel 2.2). Je nach Nutzung und Wohnungsgröße können diese Pauschalwerte 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 Komforterhöhung 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 Nachtabenkungen oftmals weniger stark aus als in unsanierten Gebäuden. Solche Effekte werden in der Literatur auch als „Rebound-Effekte“ bezeichnet [4].

Da oben genannte Faktoren, insb. der Nutzereinfluss, zu deutlichen Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch führen können, wurden die Ergebnisse über alle ausgewerteten Projekte gemittelt betrachtet. Einzelne Projekte weichen von dem gemittelten Ergebnis ab. Welche Ursachen zu Abweichungen geführt haben, wird in vorliegender Studie nicht untersucht.

2.2 Ermittlung der Energieverbrauchskennwerte.

Im Rahmen des dena-Modellvorhabens wurden in den vergangenen Jahren bereits umfangreich Verbrauchsdaten erhoben. Die Qualität und Vollständigkeit der eingereichten Daten waren sehr unterschiedlich. Es stellte sich heraus, dass die Eigentümer teilweise mit der Datenhaltung recht detaillierter Daten überfordert waren. Grundlage der Untersuchung war es daher, zunächst eine einheitliche und aktuelle Datengrundlage für alle untersuchten Gebäude zu schaffen. Zur Ermittlung der Energieverbrauchskennwerte wurde daher von der dena als Grundlage zunächst ein einseitiges Abfrageformular zur Beheizung und Warmwassererzeugung erarbeitet und versendet. Die Eigentümer wurden aufgefordert dieses mit einer Kopie der Abrechnungen des Energieversorgers oder -lieferanten einzusenden. In einzelnen Fällen konnten auch nachvollziehbare Zählermessungen von den Eigentümern zur Verfügung gestellt werden. Dabei mussten die Verbrauchswerte von mindestens zwei Heizperioden bzw. Abrechnungsjahren angegeben werden. Da alle untersuchten Gebäude mit Lüftungsanlagen ausgestattet sind, wurde dem gemessenen Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser ein Pauschalwert für Lüftung hinzugerechnet. Die Daten wurden folgendermaßen aufgenommen und verwendet:

Schritt 1: Erhebung der Verbrauchsdaten.

Die erhobenen Verbrauchsdaten wurden in Kilowattstunden ermittelt. Soweit die Verbrauchsdaten eines Abrechnungsjahres nicht in Kilowattstunden, sondern als verbrauchte Brennstoffmenge vorlagen (z. B. Heizöl, Holzpellets), wurde eine Umrechnung unter Verwendung der in der Heizkostenverordnung angegebenen Pauschalwerte vorgenommen.

Schritt 2: Berechnung des Heizungs- und Warmwasseranteils zur Witterungsbereinigung.

Um den Anteil zum Heizenergieverbrauch witterungsbereinigten zu können, muss zunächst der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung bei zentralen Heizungsanlagen ermittelt und vom Gesamtverbrauch abgezogen werden. Dabei wurde bei Gebäuden mit zentraler Heizung wie folgt vorgegangen:

- Für den Endenergieverbrauch zur Warmwasserbereitung vor Sanierung wird der Pauschalwert der Heizkostenverordnung [5] von $32 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ Wohnfläche} \cdot \text{a})$ angesetzt.
- Für den Endenergieverbrauch zur Warmwasserbereitung nach Sanierung ist dieser Wert zu hoch, da die Heizungsanlagen in den Gebäuden nach Sanierung hocheffizient sind und somit deutlich weniger Verluste haben. Entsprechend der Pauschalwerte der Bekanntmachung zur EnEV [6] wird deshalb ein nutzflächenbezogener Pauschalwert von $19 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ angesetzt (Wert für Brennwertkessel, verbessert, mit zentralem Warmwasser-Speicher innerhalb der thermischen Hülle und zentraler Verteilung ohne Zirkulation).
- Der Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung mithilfe einer Wärmepumpe wurde über die entsprechenden Aufwandszahlen aus der Bekanntmachung [6] zur EnEV reduziert.
- Bei Unterstützung der zentralen Warmwasserbereitung durch Solarthermie wurde der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung um 60 Prozent reduziert (Annahme von 60 Prozent Deckungsgrad durch die Solaranlage).

Schritt 3: Witterungs- und Leerstandsbereinigung.

- Für den Heizungsanteil am Gesamtverbrauch des jeweiligen Gebäudes wurde für den gesamten erfassten Zeitraum eine Witterungs- und Leerstandsbereinigung mithilfe der Klimafaktoren des Deutschen Wetterdienstes und entsprechend dem Verfahren der Bekanntmachung zur EnEV [2] durchgeführt und der Energieverbrauchskennwert vor und nach der Sanierung berechnet.

Schritt 4: Pauschale für Lüftung.

- Für die Endenergie, die für den Betrieb der in allen Gebäuden vorhandenen Lüftungsanlage benötigt wird, werden pauschal $2,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ auf den Energieverbrauchskennwert aufgeschlagen (vgl. auch [6]).

3 Auswertungsergebnisse der Daten.

3.1 Grundlagen zur Darstellung von Energieeinsparungen durch energetische Sanierung.

3.1.1 Grundsätzliche Möglichkeiten, darstellbare Parameter.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, soll in dieser Untersuchung gezeigt werden, ob das angestrebte Effizienzniveau und damit die geplanten Energieeinsparungen der ausgewerteten Modellvorhaben in der Praxis erreicht wurden.

Der Vergleich der Absolutwerte nach einer Sanierung zeigt, ob der geplante Zielstandard für ein Gebäude erreicht wurde. Der Vergleich der prozentualen Einsparungen beantwortet dagegen die Frage, ob die erwarteten absoluten Verbrauchseinsparungen und die damit verbundene Senkung der Energiekosten tatsächlich erreicht werden. Eine solche Größe ist u. a. für die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung. Sie ist jedoch auch entscheidend davon abhängig, in welcher Größenordnung der Energieverbrauch vor Sanierung im Vergleich zum Energiebedarf lag.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, liegt der Energieverbrauch unsanierter Gebäude oft deutlich unter dem berechneten Endenergiebedarf. Aus diesem Grund sollte für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ein Bedarfs-Verbrauchsabgleich durchgeführt werden, um die erzielbare Energiekosteneinsparung realistisch abzubilden. Mit der DIN V 18599 Beiblatt 1 liegt inzwischen ein genormtes Verfahren dazu vor.

Da bei der Mehrzahl der hier untersuchten Projekte keine Verbrauchsdaten vor Sanierung vorliegen, wurde der Bedarfs-Verbrauchsabgleich im Rahmen dieser Studie über eine mittlere Verbrauchsabweichung pauschal durchgeführt. Als Grundlage für den Verbrauchsabgleich dienten die Daten von 19 Gebäuden, von denen auch Angaben vor der Sanierung zur Verfügung standen. Im Mittel lag der Energieverbrauch bei diesen Gebäuden elf Prozent unter dem berechneten Energiebedarf. Der Energiebedarf vor Sanierung aller Gebäude wurde pauschal um diese elf Prozent gemindert.

Dieser Wert liegt im Vergleich zu anderen Untersuchungen [1] relativ niedrig. Ein Grund dafür kann der hohe Anteil von Mehrfamilienhäusern unter den untersuchten Objekten sein, bei denen in der Regel der Energiebedarf und der Energieverbrauch näher beieinander liegen.

3.1.2 Bedeutung der Bezugsgröße.

Bei der Darstellung von prozentualen Einsparungen oder prozentualen Abweichungen zwischen berechnetem Endenergiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch ist die Bezugsgröße von entscheidender Bedeutung für die Einordnung dieser Werte.

Ein Beispiel:

Für ein Gebäude, das einen Energiebedarf von $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ vor der Sanierung aufweist, wird eine Reduzierung des Energiebedarfs um 90 Prozent auf $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ geplant. Nach der Sanierung erreicht das Gebäude einen Verbrauchswert von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$. Der tatsächlich gemessene Verbrauch überschreitet den geplanten Wert um 50 Prozent – ein Wert, der als zu hoch und Misserfolg angesehen werden könnte. Die erzielte Einsparung liegt jedoch mit 85 Prozent in der Größenordnung der geplanten Einsparung, weil diese auf den Wert vor der Sanierung bezogen wird.

Das Beispiel zeigt, dass prozentuale Darstellungen von Abweichungen mit Bezug auf sehr kleine Kennwerte missverständlich wirken können. Wird eine solche Darstellung für Abweichungen bei Sanierungen auf Niedrigstenergiestandard oder sogar für Gebäude mit einem Energiebedarf von Null oder besser angewendet, wird schnell deutlich, dass diese Art der Darstellung wenig sinnvoll ist. Hier würde eine Abweichung von $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ auf $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ eine Veränderung von 100 Prozent ergeben, auch wenn die absolute Abweichung unerheblich ist.

3.1.3 Darstellung des Ergebnisses.

In vorliegender Auswertung wurde aus den erhobenen Verbrauchswerten der 63 untersuchten Gebäude ein Mittelwert aus allen Projekten gebildet. Angegeben werden die Werte in Kilowattstunde pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche und Jahr $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Die Bildung eines arithmetischen Mittelwerts über alle Projekte hat den Vorteil, dass alle ausgewerteten Projekte gleichwertig in das Ergebnis einfließen und große Gebäude das Gesamtergebnis nicht dominieren. Die Einzelauswertungen geben darüber hinaus das Ergebnis der jeweiligen Gebäude separat an.

3.2 Ergebnisse der Untersuchungen.

3.2.1 Mittlere berechnete und erzielte Energieeinsparung.

Abbildung 3 zeigt den Vergleich zwischen dem berechneten Energiebedarf vor und nach der Sanierung gemäß den Angaben der Projektteilnehmer am dena-Modellvorhaben. Mit einem berechneten Energieverbrauch von $223 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Mittel vor der Sanierung und einem prognostizierten Bedarf von knapp $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Mittel nach Sanierung wird bei den ausgewerteten Projekten eine **Energieeinsparung von 80 Prozent** im Mittel angestrebt (Abb. 4).

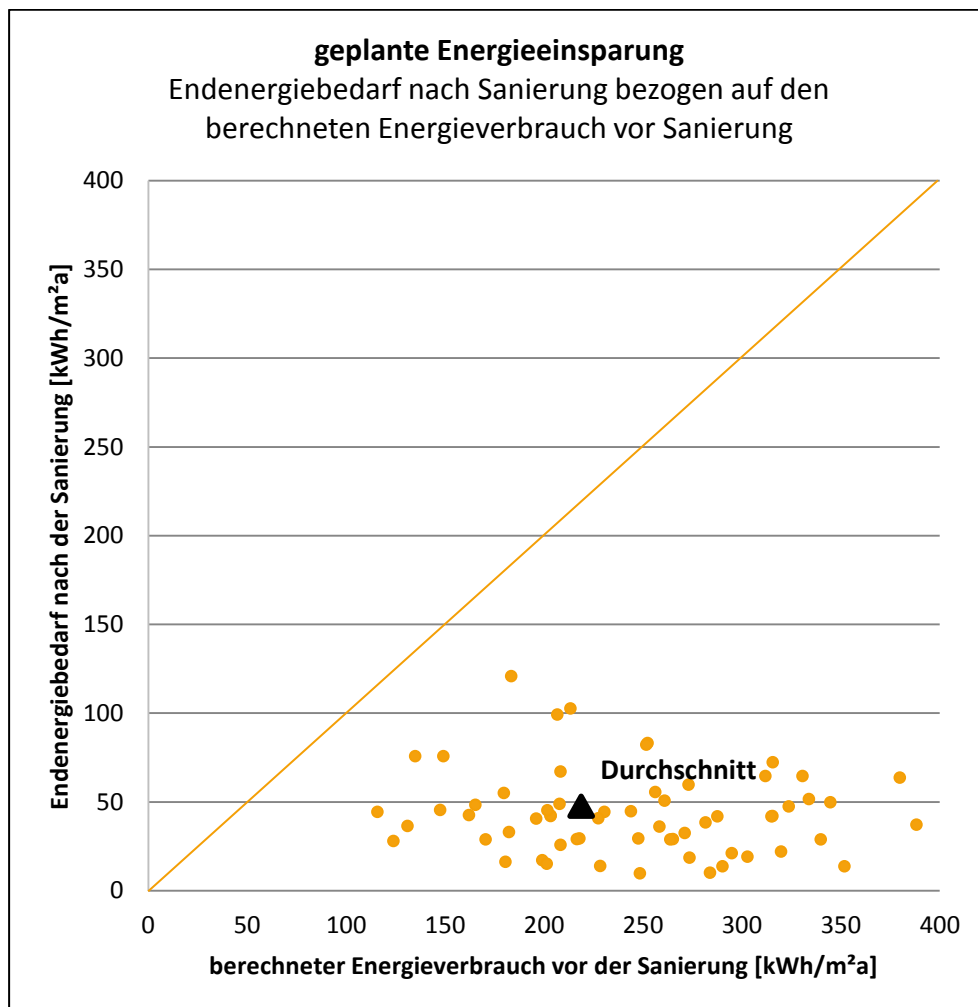


Abb. 3: Vergleich des geplanten Endenergiebedarfs vor und nach der Sanierung.

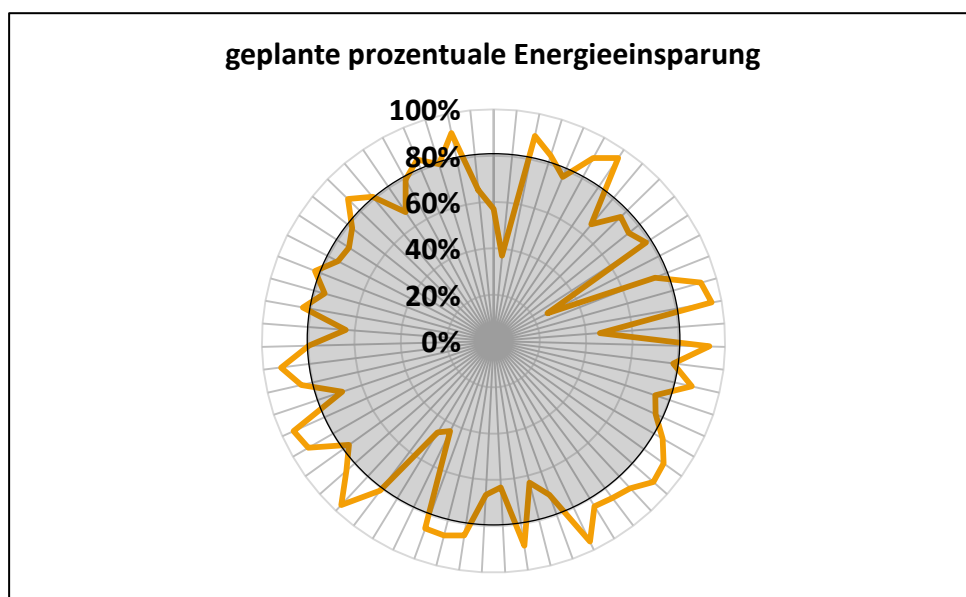


Abb. 4: Prozentuale geplante Energieeinsparung für die einzelnen ausgewerteten Projekte.

Abbildung 5 zeigt den Vergleich zwischen dem berechneten Energieverbrauch vor der Sanierung mit dem erzielten Energieverbrauch nach der Sanierung gemäß den Angaben der Projektteilnehmer am dena-Modellvorhaben. Nach der Sanierung wird im Mittel ein Energieverbrauchskennwert von rund 54 kWh/(m² a) erreicht. Damit wird eine **durchschnittliche Einsparung von 76 Prozent** bezogen auf den berechneten Energieverbrauchswert vor Sanierung von 223 kWh/(m² a) über alle Projekte erreicht (Abb. 6 und 7).

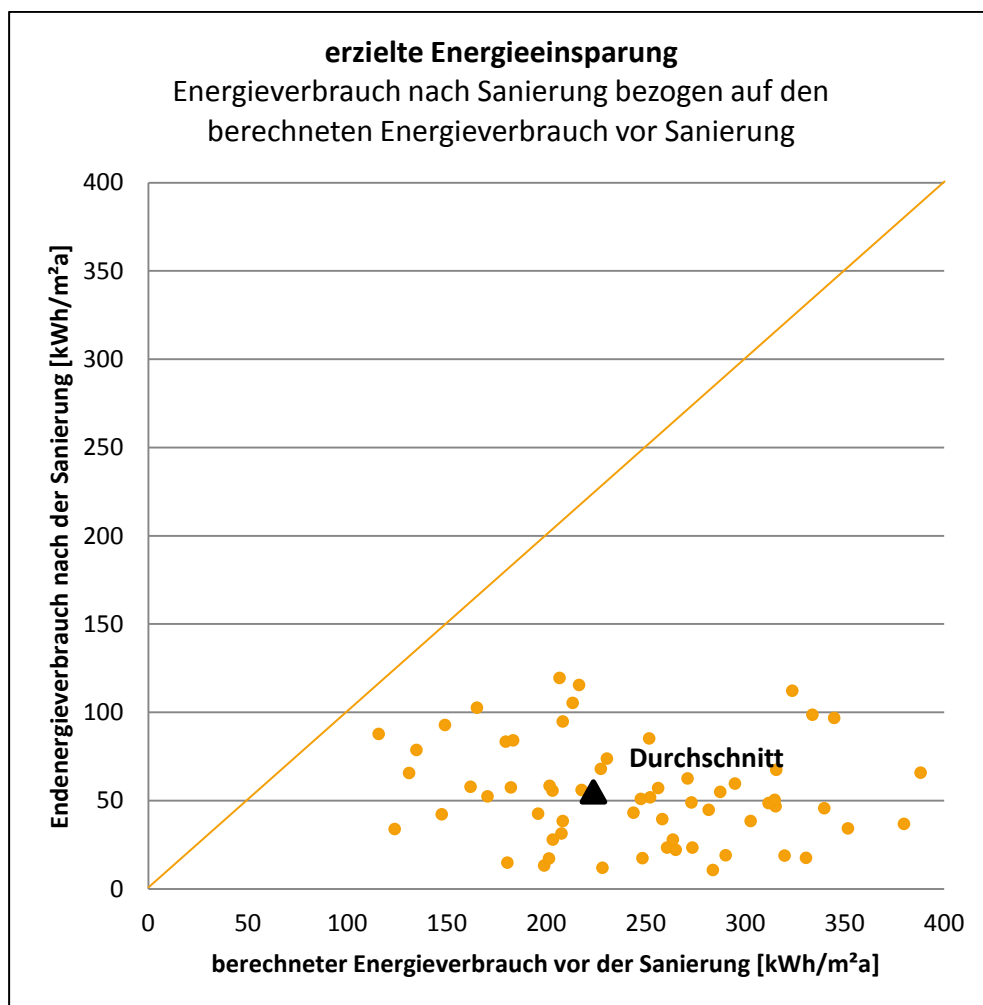


Abb. 5: Vergleich des erzielten Energieverbrauchs nach Sanierung mit dem berechneten Energieverbrauch vor Sanierung.

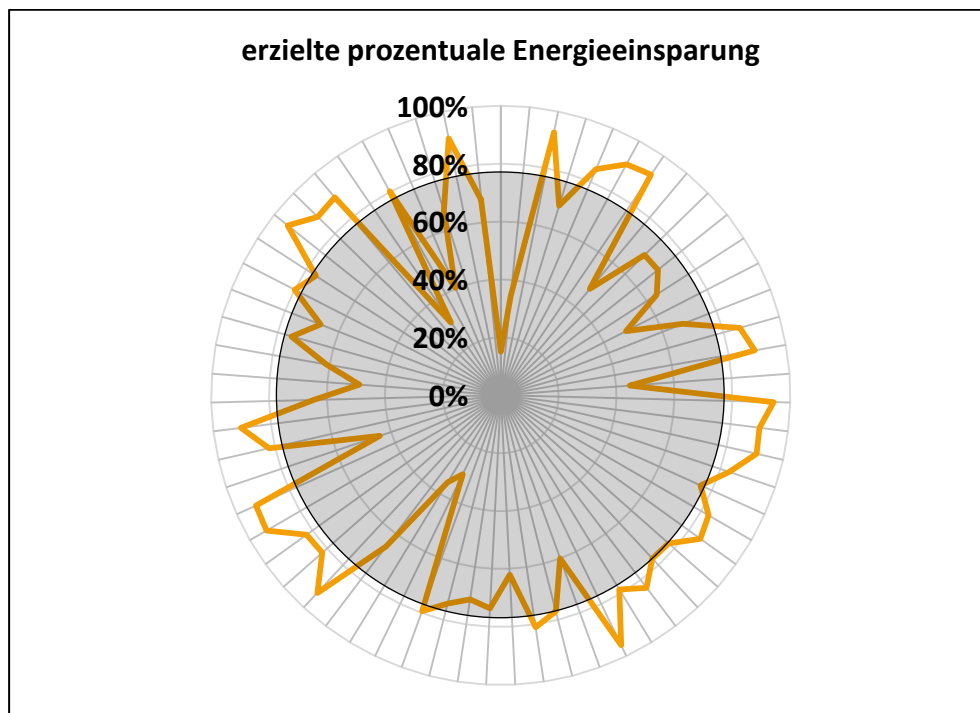


Abb. 6: Prozentuale erzielte Energieeinsparung für die einzelnen ausgewerteten Projekte.

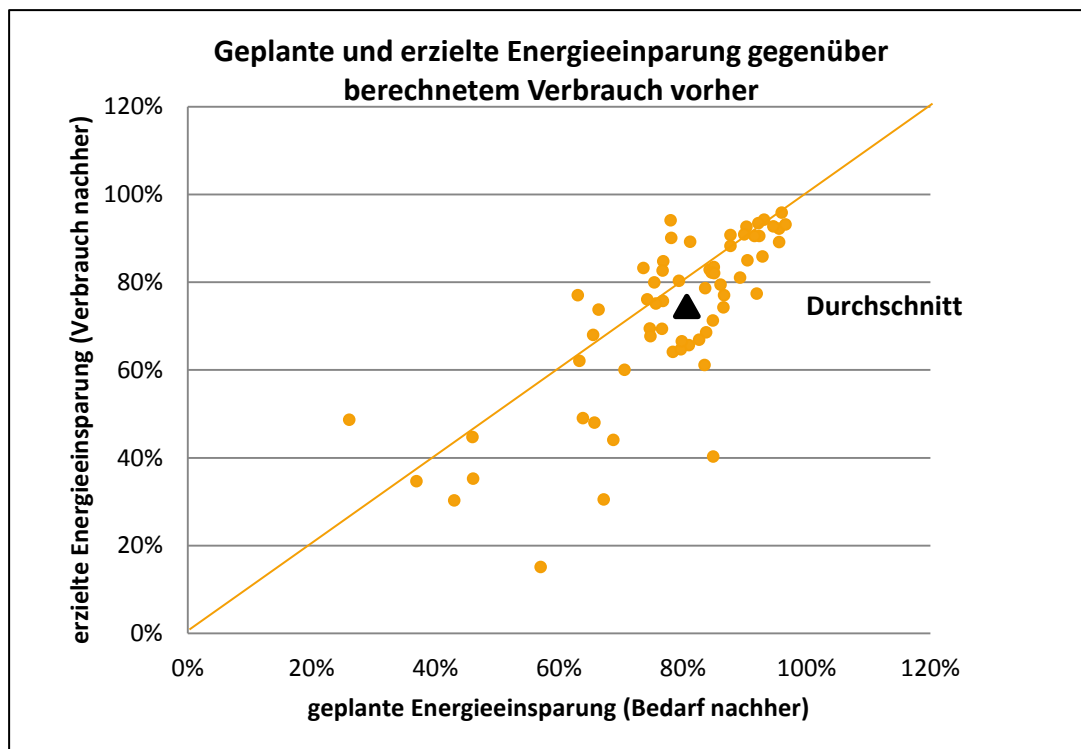


Abb. 7: Prozentuale geplante und erzielte Einsparung der ausgewerteten dena-Projekte.

3.2.2 Berechnete und erzielte Energieeinsparung der Einzelgebäude.

Das Ergebnis der Studie zeigt, dass die berechnete Energieeinsparung bezogen auf den abgeglichenen Energiebedarf im Mittel über alle ausgewerteten Projekte annähernd erreicht wird. Da der tatsächliche Energieverbrauch jedoch von verschiedenen Rahmenbedingungen, die in Kapitel 2.1 näher beschrieben werden abhängt, ist auch eine Einzelfallbetrachtung der Objekte sinnvoll (Abb. 8).

Dargestellt wird in der Abbildung die prozentuale berechnete Energiebedarfseinsparung im Verhältnis zur tatsächlich erreichten Energieverbrauchseinsparung bezogen auf den berechneten Energieverbrauch vor der Sanierung. Abweichungen über Null bedeuten einen Mehrverbrauch, Abweichungen unter Null einen Minderverbrauch im Vergleich zur Prognose.

Die meisten der untersuchten Projekte weichen von der Prognose in einem Korridor von ± 10 Prozent ab und erreichen damit die geplante Energieeinsparung in der Praxis. Fünf Projekte weisen jedoch einen erheblich höheren Energieverbrauch auf, als nach Energiebedarfsberechnung geplant wurde. Ein Projekt weist einen deutlich geringeren Energieverbrauch als geplant aus.

Das Ergebnis zeigt, dass ohne eine weitere Betrachtung von Ursachen kaum pauschale Aussagen über das Gelingen energetischer Sanierungen für den Einzelfall getroffen werden können. Beispielhaftes Heranziehen von Negativbeispielen, wie es in der Presse häufige Praxis ist, hilft nicht bei der Beurteilung von Sanierungserfolgen für andere Sanierungen. Ausgewählte einzelne Gebäude sollen in einer weiteren Untersuchung genauer analysiert werden, um die Gründe für die Abweichungen zu finden und einen Lernerfolg für weitere Projekte zu erzielen. Mögliche Gründe für Abweichungen wurden bereits in Kapitel 2.1 beschrieben.

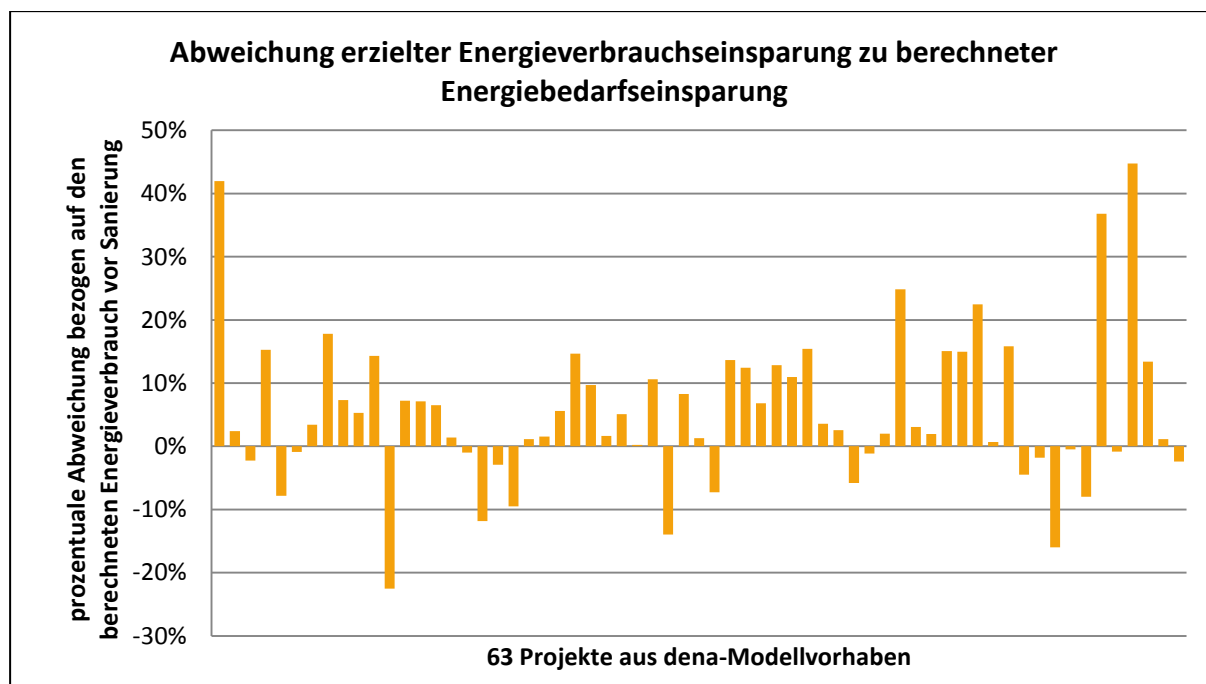


Abb. 8: Abweichung erzielter Energieverbrauchseinsparung zu berechneter Energiebedarfseinsparung.

4 Literaturverzeichnis.

[1] **Bigalke, Uwe (2010):** Analyse der Energieausweise aus der dena Energieausweis-Datenbank. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin.

[2] **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS (2009):** Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskenntwerte im Wohngebäudebestand vom 30.07.2009, Berlin.

[3] **Passivhausinstitut (2011):** Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung, Darmstadt.

[4] **Hacke, Ulrike (2009):** Thesenpapier: Nutzerverhalten im Mietwohnbereich. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt.

[5] **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS (2009)** Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten, Neugefasst durch Bek. v. 5.10.2009, I 3250, Berlin.

[6] **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS (2009):** Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand vom 30.07.2009. Berlin.

