ISBN 978-3-7388-0652-6

F 3217

Gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Oliver Kornadt, Svenja Carrigan, Marco Hartner, Tim Schöndube, Jonas Wilhelm, Moritz Lachmann, Hanna Lermen, Moritz Kissinger, Christoph Beecken, Sabine Becker

Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 3217

Oliver Kornadt, Svenja Carrigan, Marco Hartner,
Tim Schöndube, Jonas Wilhelm, Moritz Lachmann,
Hanna Lermen, Moritz Kissinger, Christoph Beecken,
Sabine Becker

Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 3217

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2021

ISBN 978-3-7388-0652-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

ZUKUNFT BAU
FÖRDERN FORSCHEN ENTWICKELN

Endbericht

Analyse der Diskrepanz zwischen berechnetem Energiebedarf nach EnEV und tatsächlichem Energieverbrauch

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.68)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

bow

itg

Projektlaufzeit: **01.01.2018 – 31.12.2019**

Zuwendungsempfänger: **Technische Universität Kaiserslautern**
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
Prof. Dr. Oliver Kornadt
Paul-Ehrlich-Straße, Gebäude 29
D-67663 Kaiserslautern
Projektleitung: **Jun.-Prof. Dr. Svenja Carrigan**
Projektbearbeitung: **Dipl.-Ing. Marco Hartner**
Dipl.-Ing. (BA) Tim Schöndube, M.Sc.
Jonas Wilhelm, B.Sc., Moritz Lachmann
Hanna Lermen, Moritz Kissinger

Praxispartner: **bow Ingenieure GmbH,**
Hagenmarkt 8, 38100 Braunschweig
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Christoph Beecken
ITG Energieinstitut GmbH,
Joseph-v.-Fraunhofer-Straße 2, 39106 Magdeburg
Sabine Becker, M.Eng.

Inhalt

1 Ziel des Forschungsprojektes 4
2 Literaturrecherche über Ursachen für Diskrepanzen 5
3 Gebäudeauswahl/ Datengrundlage 8
3.1 Gebäudebestand in Deutschland 8
3.2 Kurzvorstellung der untersuchten Gebäude 9
4 Untersuchungstools 11
4.1 ZUB Helena Ultra 11
4.2 TRNSYS 18 11
5 Energiebedarf und Energieverbrauch/ Referenzvariante 12
5.1 Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweise 12
5.2 Gegenüberstellung Primärenergiebedarf und Primärenergieverbrauch 13
6 Ursachenuntersuchung für Diskrepanzen 18
6.1 Ausstellereinfluss 18
6.2 Normgrundlage und Energiebezugsfläche 21
6.3 Einflussgruppe 1: Nutzereinfluss 22
6.4 Einflussgruppe 2: Gebäudehülle 24
6.5 Einflussgruppe 3: TGA 26
6.6 Analyse des Einflusses der Einflussgruppen 1-3 auf die Bedarfsberechnung 28
6.7 Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren in den Einflussgruppen 1-3 43
7 Zusammenfassung 57
8 Literatur 59

1 Ziel des Forschungsprojektes

Unterschiedliche Studien haben aufgezeigt, dass es Diskrepanzen zwischen entsprechend der Energieeinsparverordnung (EnEV) [1] berechneten Energiebedarfswerten und gemessenen Energieverbrauchswerten gibt. Die Übereinstimmung von realen Verbrauchswerten mit den berechneten Bedarfswerten ist nicht primäres Ziel der EnEV, diese soll in erster Linie einen energetischen Mindeststandard für Gebäude in Deutschland sicherstellen und zugleich mit den Energieausweisen einen Vergleich des energetischen Standards von Gebäuden an unterschiedlichen Standorten erlauben. Dennoch können hohe Diskrepanzen zu Irritationen und zu einer Minderung der Akzeptanz der EnEV insbesondere bei Gebäudeeigentümern und Mietern führen. Ferner können zu erwartende Betriebskosten bei neuen oder sanierten Gebäuden oft nur unzureichend abgeschätzt werden und eine präzise Aussage hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur energetischen Optimierung ist kaum möglich.

Um die Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und vorhandenem Energieverbrauch wissenschaftlich fundiert zu analysieren und zu quantifizieren, werden diese für reale Gebäude verglichen. Die Berechnungsnormen zur Ermittlung des Energiebedarfs werden untersucht mit Fokus auf die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Jahres-Energiebedarf.

In einem zweiten Schritt werden aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen Ansätze entwickelt, um die Berechnungs- und Nachweisverfahren besser an den tatsächlichen Verbrauch anzupassen. Hierzu können entweder die wesentlichen Einflussfaktoren zur Berechnung des Energiebedarfs angepasst werden auf Werte, welche die realen Gegebenheiten besser wiederspiegeln oder das bisherige Berechnungsverfahren kann optimiert werden.

2 Literaturrecherche über Ursachen für Diskrepanzen

Durch eine Recherche konnte eine Vielzahl an Einflussfaktoren identifiziert werden, welche für die Abweichungen verantwortlich sein können. Es wurde zunächst eine Einteilung in nutzerabhängige- und nutzerunabhängige Einflussfaktoren vorgenommen. Diese gliedern sich in mehrere Unterpunkte nach Tabelle 1 auf.

Tabelle 1: Einteilung der Einflussfaktoren in nutzerabhängige und nutzerunabhängige Einflüsse

Nutzerabhängige Einflüsse	Nutzerunabhängige Einflüsse
Raumlufttemperatur	Abweichung durch Aussteller
Luftwechselrate	Normgrundlage
Anwesenheit/ Belegungsdichte	Energiebezugsfläche
Teilbeheizung	Gebäudehülle
Tag- und Nachtabsenkung	Technische Gebäudeausrüstung
	Orientierung der Gebäude

Nutzerabhängige Einflüsse

In [2–6] haben Studien ergeben, dass in vielen älteren Gebäuden die durch Nutzer eingestellte Raumlufttemperatur geringer ist als in neueren, energetisch besseren Gebäuden. Dies liegt zum einen an dem für die Nebenkosten zur Verfügung stehenden Budget, als auch daran, dass mit steigender energetischer Qualität des Gebäudes in vielen Fällen auch ein erhöhtes Komfortbedürfnis (etwa erhöhte Raumlufttemperaturen) der Nutzer einhergeht. Ebenfalls steigt mit der Dichtheit der Gebäudehülle nach [5] die Fensteröffnungsdauer, was einen erhöhten Luftwechsel zur Folge hat.

Die Anzahl und Anwesenheit der Bewohner sowie die vorherrschende Teilbeheizung und die eingestellte Absenkungs- bzw. Abschaltungszeiten müssten im Idealfall für jedes Gebäude bekannt sein. Diese können jedoch auch über unterschiedliche Zeiträume (wie etwa Werktags und am Wochenende) stark variieren.

Somit ist das Nutzerverhalten, bzw. dessen Einfluss auf den Energieverbrauch, als hochgradig individuell unterschiedlich zu bezeichnen und kann hierdurch nicht kategorisch als systematische Diskrepanz quantifiziert werden.

Nutzerunabhängige Einflüsse

Abweichung durch den Aussteller

Nach [7] kann eine Abweichung der berechneten Bedarfswerte durch den Aussteller erfolgen. Diese Abweichung kann aus unterschiedlichen Gründen entstehen. In vielen Fällen müssen gewisse Annahmen bezüglich der Geometrie, den Bauteilen sowie der Anlagentechnik des Gebäudes getroffen werden, hierdurch entsteht ein gewisser Spielraum. Bei der Erstellung der Bedarfsausweise für unterschiedliche Gebäude in diesem Projekt gab es zwischen den Beteiligten unterschiedliche Ansichten wie ein Gebäude zu erfassen ist (siehe Kap. 6.1). Auch lässt die EnEV einen gewissen Spielraum, wenn es darum geht, ob beispielsweise ein nicht konditionierter Dachraum in die Zone zur Bilanzierung des Bedarfsausweises aufgenommen wird. Nach [1]: *Die wärmeübertragende Umfassungsfläche A eines Wohngebäudes in m² ist nach den in DIN V 18599-1: 2011-12 Abschnitt 8 angegebenen Bemaßungsregeln so festzulegen, dass sie alle beheizten und gekühlten Räume einschließt.*

Betrachtet man ein ausgebautes Dachgeschoss, so wäre die oberste Geschossdecke dieses Raumes als Grenze der thermisch konditionierten Zone zu sehen. Hierdurch wäre der U-Wert dieser Decke maßgeblich und würde gegen einen unbeheizten (Dach-)Raum führen. Nach EnEV ist es ebenfalls zulässig:

Eigentümer von Wohngebäuden sowie von Nichtwohngebäuden, die nach ihrer Zweckbestimmung jährlich mindestens vier Monate und auf Innentemperaturen von mindestens 19 Grad Celsius beheizt werden, müssen dafür sorgen, dass zugängliche Decken beheizter Räume zum unbeheizten Dachraum (oberste Geschossdecken), die nicht die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2: 2013-02 erfüllen, nach dem 31. Dezember 2015 so gedämmt sind, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der obersten Geschossdecke 0,24 Watt/(m²·K) nicht überschreitet. Die Pflicht nach Satz 1 gilt als erfüllt, wenn anstelle der obersten Geschossdecke das darüber liegende Dach entsprechend gedämmt ist oder den Anforderungen an den Mindestwärme-schutz nach DIN 4108-2: 2013-02 genügt. Bei Maßnahmen zur Dämmung nach den Sätzen 1 und 2 in Deckenzwischenräumen oder Sparrenzwischenräumen ist Anlage 3 Nummer 4 Satz 4 und 6 entsprechend anzuwenden.

Wird nun nicht die oberste Geschossdecke, sondern das darüber liegende Dach gedämmt, so müsste das Dachgeschoss ebenfalls in die zu bilanzierende Zone aufgenommen werden, auch wenn es nicht direkt thermisch konditioniert ist. Hierdurch wäre der U-Wert des gedämmten Daches maßgeblich und würde gegen die Außenluft führen. Damit würde sich auch die Geometrie bzw. das beheizte Gebäudevolumen ändern, was direkten Einfluss auf die Gebäudenutzfläche nach EnEV hätte.

Normgrundlage

Weitere nutzerunabhängige Einflüsse ergeben sich durch die Verwendung unterschiedlicher Normgrundlagen bei der Berechnung des Energieausweises. Ein Bedarfsausweis für Wohngebäude kann wahlweise nach DIN V 18599 [8] oder DIN V 4108 [9] in Verbindung mit DIN V 4701 [10] erstellt werden. In den jeweiligen Normen werden unterschiedliche Nutzungsrandbedingungen angesetzt (z.B. die mittlere Raumtemperatur nach DIN V 4108 mit 19 °C oder nach DIN V 18599 mit 20 °C). Weitere Unterschiede entstehen bei der Aufnahme von Gebäudedaten zur Geometrie und dem unteren Gebäudeabschluss. Ebenfalls wird die Anlagentechnik in unterschiedlichem Maße erfasst. Die genannten Gründe können zu unterschiedlichen Ergebnissen der Energiebedarfsausweise führen, je nachdem, welche Norm der Berechnung zugrunde gelegt wird.

Energiebezugsfläche

Für die Vergleichbarkeit von Energiebedarfsrechnungen mit Verbrauchsrechnungen muss zunächst sichergestellt sein, dass die gleiche Energiebezugsfläche vorausgesetzt wird. Bei Bedarfsausweisen wird die Nutzfläche A_N nach EnEV über das beheizte Gebäudevolumen bestimmt. Hinsichtlich der Verbrauchsausweise ist, neben der Ermittlung über das beheizte Gebäudevolumen, auch eine vereinfachte Ermittlung von A_N über die Wohnfläche möglich. Für die flächenbezogene Energiewerte kann es hierdurch zu weiteren Abweichungen kommen.

Gebäudehülle

Besonders bei älteren Gebäuden ist oftmals die Datengrundlage zur Berechnung des Bedarfsausweises nicht vollständig. Für die U-Werte der wärmeübertragenden Umfassungsfläche können in solch einem Fall dann pauschale Annahmen nach [11] verwendet werden. Diese sind nach [2, 12–14] in vielen Fällen energetisch zu schlecht angesetzt. Weiterhin können U-Werte durch Abweichungen zwischen Planung und Ausführung falsch erfasst werden, dies kann zu weiteren Abweichungen führen [15]. Nach Ergebnissen von [2, 7] sind die pauschalen Wärmebrückenzuschläge in vielen Fällen zu hoch angesetzt, dies kann zu weiteren Abweichungen führen.

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Bei älteren Gebäude wird gerade der Erzeuger oftmals als weniger energieeffizient angesetzt als in der Realität vorhanden [12]. Dies liegt unter anderem auch daran, dass die genauen Daten des Erzeugers nicht bekannt sind. Ein weiterer Grund für Diskrepanzen kann nach der energetischen Sanierung der Gebäudehülle auftreten. Die Anlagentechnik ist ohne entsprechende Anpassung dann oftmals überdimensioniert [16]. Dies kann zu abweichenden Wirkungsgraden des Erzeugers führen. Nach der Installation der Heizungsregelung ist diese zuweilen falsch eingestellt bzw. der Beginn und das Ende der Heizperiode wird falsch eingeschätzt [15, 17].

Zusammenfassung der Literaturrecherche:

Als Ergebnis der Literaturrecherche kann der individuelle Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch nicht ohne weiteres als systematische Diskrepanz betrachtet werden (auch wenn es Anzeichen von Einteilungsmöglichkeiten in verschiedene Nutzertypen gibt). Das individuelle Nutzerverhalten sowie die Belegungsdichte des Wohnraums können zu Abweichungen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch führen. Auffällig ist jedoch, dass ältere Gebäude im Mittel oft einen höheren Energiebedarf im Vergleich zum tatsächlichen Energieverbrauch aufweisen [5]. Neubauten bzw. energetisch gut sanierte Gebäude weisen hingegen oftmals einen höheren Energieverbrauch im Vergleich zum berechnetem Energiebedarf auf [14, 18].

Die Tatsache, dass in DIN V 18599 Beiblatt 1 [19] eine Möglichkeit der „Korrektur“ der Bedarfsberechnung an den tatsächlichen Verbrauch existiert, indem Parameter der Hülle und TGA angepasst werden können, festigt die Vermutung, dass neben dem Nutzer auch die Gebäudeparameter von Gebäudehülle und TGA einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Abweichung zwischen theoretischer Berechnung und realem Verbrauch bildet.

Für der Gebäudehülle sind die Einflussfaktoren U-Werte der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, die Wärmebrückenzuschläge sowie die Dichtheit der Gebäudehülle entscheidend. Hierbei wird der veranschlagte U-Wert als wesentlicher Faktor vermutet.

Für die TGA teilen sich die Einflussfaktoren, welche zur systematischen Diskrepanz führen können, in vier Hauptgebiete auf: Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe. Hierbei wird vermutet, dass bei älteren, unsanierten Gebäuden die Verteilung sowie die Übergabe und bei neueren energetisch guten Gebäuden der Erzeuger als wesentliche(r) Einflussfaktor(en) zu erachten ist (sind).

Neben der Eigenschaft, dass Verbesserung bzw. Verschlechterung eines Einflussfaktors eine Erhöhung oder Verringerung des Energiebedarfs hervorrufen, kann dies durch weitere Randbedingungen beeinflusst werden. Betrachtet man z.B. die Dämmung von Verteilleitungen der Heizungsanlage, so steigt mit schlechterem längenbezogenen U-Wert der Wärmeverlust. Für die Randbedingung, dass die Verteilleitung außerhalb der thermischen Hülle verläuft, zählt dies als Wärmeverlust in der Energiebilanz. Verläuft die Verteilleitung innerhalb der thermischen Hülle werden diese Wärmeverluste, zumindest anteilig, als Wärmegewinne der Energiebilanz zugerechnet. Dies gilt es in den weiteren Untersuchungen zu berücksichtigen.

Es wird vermutet, dass Kombinationen von Nutzereinfluss, Gebäudehülle und TGA in Abhängigkeit der Baualtersklasse bzw. des Sanierungsgrades zu systematischen Diskrepanzen führen können.

3 Gebäudeauswahl/ Datengrundlage

Im ersten Schritt wurde eine Auswahl der zu untersuchenden Gebäude vorgenommen. Hierfür wurde zunächst der Gebäudebestand in Deutschland unter Zuhilfenahme von [20, 21] untersucht. Darauf aufbauend wurde eine Auswahl der zu untersuchenden Gebäude getroffen.

3.1 Gebäudebestand in Deutschland

65% aller Wohngebäude in Deutschland sind Einfamilienhäuser (EFH), weitere rund 17% sind Zweifamilienhäuser (ZFH). Knapp 18% der Wohngebäude in Deutschland haben 3 oder mehr Wohneinheiten. Große Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten haben lediglich einen Anteil von knapp 6%. Betrachtet man hingegen die Anzahl der Wohneinheiten, weisen diese 6% mit etwa 1/3 aller Wohneinheiten einen ebenso großen Anteil wie die Einfamilienhäuser auf [20, 21].

Somit ist eine Untersuchung sowohl von Ein- und Zweifamilienhäusern (EFH-ZFH) als auch von Mehrfamilienhäusern (MFH) als notwendig zu erachten. Die Einteilung der Gebäude erfolgt unter Berücksichtigung verschiedener Literaturquellen wie z.B. [3, 11, 12, 16] in 3 Baualtersklassen.

Gebäudegruppe 1:

Bestandsgebäude älter 1995: repräsentieren Gebäude mit geringen Anforderungen an die Energieeffizienz

Gebäudegruppe 2:

Bestands- und entsprechend sanierte Gebäude von 1995 bis 2008: repräsentieren Gebäude mit erhöhter Anforderungen an die Energieeffizienz, wobei eine Bilanzierung mittels der Normenreihe DIN V 18599 noch nicht möglich war

Gebäudegruppe 3:

Neubauten und Sanierungen ab 2009 bis 2014: repräsentieren Gebäude, die auch nach DIN V 18599 berechnet werden konnten und von welchen über einen Zeitraum von mindestens 3 Jahren Verbrauchsdaten vorliegen

3.2 Kurzvorstellung der untersuchten Gebäude

Zur wissenschaftlich belastbaren Untersuchung der Gebäude muss eine Mindestanforderung an die Datengrundlage vorausgesetzt werden. Diese beinhaltet, Verbrauchskostenabrechnungen über 3 Jahre, Gebäudepläne sowie möglichst viele Angaben zur technischen Gebäudeausrüstung. Wünschenswert wäre für jedes Gebäude eine Nutzerbefragung über Heiz- und Lüftungsverhalten, Detailpläne bzw. Angaben über den genauen Wandaufbau sowie TGA Pläne gewesen. Jedoch ist gerade bei älteren Gebäuden die Datengrundlage hinsichtlich Wandaufbauten und etwa Lage und energetische Qualität der verlegten Heizleitungen kaum oder nicht vorhanden. Auf eine Nutzerbefragung wurde in den meisten Fällen verzichtet, da der Zugang zu den Nutzern größtenteils nicht gegeben oder nur durch sehr erheblichen Zeitaufwand umsetzbar gewesen wäre. Die Datengrundlage, speziell für Einfamilienhäuser, wurde teilweise durch Häuser unsere Mitarbeiter ergänzt. Für diese Gebäude konnte dann eine zuverlässige Nutzerbefragung durchgeführt werden, was die Erstellung eines spezifischen Nutzerprofils erlaubt.

Die Einteilung der Gebäude erfolgt in Einfamilienhäuser (EFH) Tabelle 2 und Mehrfamilienhäuser (MFH) Tabelle 3. Diese beiden Tabellen teilen sich dann jeweils in die drei Altersgruppen nach Kapitel 3.1 auf. Die untersuchten Gebäude erhalten aus Datenschutzgründen der Eigentümer und Bewohner lediglich Kurzbezeichnungen, diese enthalten den Gebäudetyp EFH oder MFH, die Gruppenzugehörigkeit G1 bis G3 und eine fortlaufende Nummerierung 01-05 bzw. 01-10.

Bei älteren Gebäuden, die im späteren Verlauf energetisch saniert wurden, erfolgt die Gruppenzuordnung entsprechend des Gebäudestandards nach der ältesten Sanierung, welche noch vor den erfassten Verbrauchsdaten stattgefunden hat.

Zum besseren Verständnis ein fiktives Beispiel: Energetische Sanierung der Hülle 2004, Austausch des Erzeugers 2009, Installation einer Solarthermie Anlage 2014. Verbrauchsdaten von 2010 bis 2013. Dieses Gebäude wurde dann der 2. Gruppe (1995-2008) zugeteilt (da älteste Sanierung 2004 stattfand). Die Solaranlage wurde nicht berücksichtigt, da diese erst nach den vorliegenden Verbrauchsdaten installiert wurde.

Tabelle 2: Einteilung und Kurzbezeichnung der Einfamilienhäuser EFH

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
EFH G1 01	EFH G2 01	EFH G3 01
EFH G1 02	EFH G2 02	EFH G3 02
EFH G1 03	EFH G2 03	
EFH G1 04	EFH G2 04	
EFH G1 05		

Tabelle 3: Einteilung und Kurzbezeichnung der Mehrfamilienhäuser MFH

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
MFH G1 01	MFH G2 01	MFH G3 01
MFH G1 02	MFH G2 02	MFH G3 02
MFH G1 03	MFH G2 03	MFH G3 03
MFH G1 04	MFH G2 04	MFH G3 04
MFH G1 05	MFH G2 05	
MFH G1 06	MFH G2 06	
MFH G1 07	MFH G2 07	
MFH G1 08	MFH G2 08	
MFH G1 09	MFH G2 09	
MFH G1 10		

In Tabelle 2 und Tabelle 3 ist zu erkennen, dass gerade für neuere Gebäude der Gruppe 3 (Baujahr ab 2009) die Datengrundlage etwas geringer gegenüber den Gruppen 1 und 2 ausfällt. Die Plangrundlage für neuere Gebäude war durch unsere Partner zwar gegeben, jedoch waren diese Bauten teilweise noch in der Bauphase bzw. war es schwer für neuere Gebäude eine gute Datengrundlage hinsichtlich des Verbrauchs zu erhalten. So waren einige MFH zwar bereits errichtet aber etwa nicht vollständig vermietet, was einen unkontrollierbaren Fehler in den Verbrauchsdaten zur Folge hätte.

4 Untersuchungstools

4.1 ZUB Helena Ultra

Das Programm ZUB Helena Ultra [22] kann verwendet werden um Energiebedarfs- sowie Energieverbrauchsausweise zu erstellen. Hinsichtlich des Bedarfs kann dieser zum einen auf Grundlage der DIN 4108 in Verbindung mit DIN 4701 oder unter Zugrundelegung der DIN V 18599 erstellt werden. Diese Normen legen jeweils unterschiedliche Randbedingungen zu Grunde (etwa 19°C Raumlufttemperatur nach DIN 4108 und 20°C nach DIN V 18599) weiterhin werden die thermische Hülle sowie die TGA-Komponenten etwas anders erfasst. Abweichend von der EnEV kann des Weiteren eine freie Energieberatung durchgeführt werden. Hierzu können von der EnEV abweichende Randbedingungen hinsichtlich Außenklimabedingungen sowie unterschiedliche Nutzungsrandbedingungen eingestellt werden. Ebenfalls können unterschiedliche Variantenuntersuchungen in diesem Programm durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass ausgehend von der erstellten Referenzvariante die Gebäudekomponenten der thermischen Hülle sowie der TGA und deren Einfluss auf den berechneten Energiebedarf untersucht werden können. Jedoch kann gerade das Nutzerverhalten in diesem Programm nur bedingt variiert werden. Besonders zur besseren Berücksichtigung des individuellen Nutzerverhaltens wird das thermische Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS 18 [23] verwendet.

4.2 TRNSYS 18

TRNSYS ist eine umfassende und erweiterbare Simulationsumgebung für die transiente Simulation von Systemen, einschließlich Gebäuden mit mehreren Zonen. Es wird von Ingenieuren und Forschern auf der ganzen Welt zur Modellierung neuer Energiekonzepte verwendet, von einfachen Warmwassersystemen über das Design und die Simulation von Gebäuden und ihrer Ausrüstung, einschließlich Steuerungsstrategien, Nutzerverhalten, alternativen Energiesystemen (Wind, Solar, Photovoltaik, Wasserstoffsysteme) … [23]. Mit Hilfe des umfangreich validierten Programms TRNSYS kann der Einfluss von unterschiedlichen Randbedingungen auf Gebäude wesentlich detaillierter untersucht werden als mit ZUB Helena. So können Parameter der Gebäudehülle, TGA und des Nutzerverhaltens frei gewählt werden. In diesem Projekt kam TRNSYS insbesondere zur Untersuchung von Varianten, welche unterschiedliches Nutzerverhalten, hinsichtlich Lüftungs- und Heizverhalten sowie interner Wärmelasten, darstellen, zur Anwendung. Mit einer stundenweisen Berechnung kann z. B. individuelles Lüftungsverhalten in hohem Detailgrad modelliert werden. Für die hier durchgeführten Betrachtungen wurde TRNSYS 18 verwendet, dies ist die derzeit neueste Version dieses Programms.

5 Energiebedarf und Energieverbrauch/ Referenzvariante

5.1 Energiebedarfs- und Energieverbrauchsausweise

Es werden Energiebedarfs- sowie Energieverbrauchsausweise realer Gebäude ermittelt und miteinander verglichen. Die zugrunde gelegten Gebäudedaten der Projektpartner enthalten Planunterlagen, teilweise Angaben zu Bauteilaufbauten, Angaben zur TGA und auch bereits durchgeführte Energiebedarfsrechnungen. Diese Energiebedarfsrechnungen wurden größtenteils unter Zugrundelegung der DIN V 4108 in Verbindung mit der DIN V 4701 angefertigt. Daher wurde die Bedarfsrechnung unter Zuhilfenahme der mitgelieferten Gebäudedaten mit dem Berechnungstool ZUB Helena Ultra nach DIN V 18599 erneut berechnet. Vorteil der Durchführung aller Berechnungen durch den gleichen Aussteller ist, dass bei Wahlmöglichkeiten des Ausstellers für alle Gebäude vergleichbare Entscheidungen getroffen werden.

Die Bedarfsberechnungen wurden auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten wie folgt durchgeführt. Das beheizte Gebäudevolumen sowie die Größen der wärmeübertragenden Umfassungsflächen, Anzahl der Geschosse und die mittlere Geschosshöhe wurde aus den Planunterlagen ermittelt. Für die U-Werte der wärmeübertragenden Umfassungsfläche wurden die entsprechenden Konstruktionen hinterlegt bzw. für den Fall, dass die U-Werte bekannt sind direkt eingegeben. In Fällen ohne bekannten Wandaufbau bzw. U-Werte wurden die pauschalen Werte nach [11] verwendet. Für die Wärmebrücken-Korrektur wurde, soweit nichts Anderweitiges bekannt ist, der Standardwert von 0,10 W/m²K angesetzt. Bezüglich der Dichtheitsprüfung wurde, soweit nichts Anderweitiges gegeben ist, ein n_{50} Wert von 4,0 1/h angesetzt. Für die TGA wurde der entsprechende Erzeuger mit den bekannten, teilweise beim Hersteller abgefragten, Erzeugerparametern hinterlegt. Für alle weiteren TGA-Daten welche nicht bekannt waren wurden Standardwerte hinterlegt. Bezüglich der Vor- und Rücklauftemperaturen wurde, soweit nichts Anderweitiges angegeben wurde, der Standard von 70 °C / 55 °C gewählt. Für die Verteilung wurden alle bekannten Daten wie. z.B. Ein- oder Zweirohrnetz, mit oder ohne hydraulischen Abgleich hinterlegt. Hinsichtlich der jeweiligen Länge der Rohrabschnitte wurden, da diese in den seltensten Fällen genau bekannt sind, die aus Gebäudegeometrie und Netz Typ ermittelten Standardlängen hinterlegt. Für die Übergabe wurden die entsprechenden Arten (Heizkörper, Flächenheizung usw.) sowie die Art der Regelung nach der vorhandenen Datengrundlage eingetragen. In Fällen, in denen keine Angaben vorhanden waren wurde auch hierbei auf Standardwerte zurückgegriffen. Der jeweils erstelle Bedarfsausweis dient dann für alle weiteren Untersuchungen als Referenzvariante.

Neben den Bedarfsberechnungen wurde für jedes Gebäude ein Verbrauchsausweis erstellt. Für die Anfertigung wurden die Verbrauchsdaten nach Energiekostenabrechnungen ausgewertet. Die Verbrauchsausweise wurden auf Basis vom Gebäudestandort und den Jahren der jeweiligen Heizkostenabrechnungen (nach EnEV von mindestens 3 Jahren) jahresweise klima- und standortbereinigt. Es wurden weiterhin die gleichen Energiebezugsflächen, berechnet über das beheizte Gebäudevolumen, wie in den Bedarfsausweisen hinterleg. Somit kann der spezifische Primärenergieverbrauch direkt mit dem Primärenergiebedarf verglichen werden.

5.2 Gegenüberstellung Primärenergiebedarf und Primärenergieverbrauch

Wie in 5.1 beschrieben kann der spezifische Primärenergiebedarf und der spezifische Primärenergieverbrauch der einzelnen Gebäude direkt miteinander verglichen werden. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Einfamilienhäuser und in Tabelle 5 die Ergebnisse der Mehrfamilienhäuser gegenüber gestellt. Die Abweichung (Spalte 4) beschreibt die prozentuale Abweichung des spezifischen Primärenergieverbrauchs bezogen auf den spezifischen Primärenergiebedarf.

Tabelle 4: Vergleich spez. Primärenergiebedarf und spez. Primärenergieverbrauch für EFH

Gebäude	Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	Primärenergieverbrauch [kWh/m²a]	Abweichung Verbrauch zum Bedarf [%]
EFH G1 01	454,7	194,5	-57
EFH G1 02	180,3	99,7	-45
EFH G1 03	228,0	140,3	-38
EFH G1 04	188,4	106,2	-44
EFH G1 05	304,4	172,0	-43
EFH G2 01	203,9	79,7	-61
EFH G2 02	142,5	127,7	-10
EFH G2 03	141,6	86,9	-39
EFH G2 04	161,8	141,9	-12
EFH G3 01	67,4	73,0	8
EFH G3 02	90,5	61,9	-32

In den Tabelle 4 und Tabelle 5 ist zu erkennen, dass die prozentualen Abweichungen des Primärenergieverbrauchs bezogen auf den Primärenergiebedarf über Gebäudeklasse und Gruppe hinweg im unterschiedlichsten Maße variieren. Bei den Einfamilienhäusern als auch bei den Mehrfamilienhäusern sind Abweichungen von über 50% aufgetreten.

Des Weiteren ist nur bei der Gebäudegruppe 3 ein höherer Primärenergieverbrauch im Vergleich zum Primärenergiebedarf aufgetreten. Auf Grundlage dieser Daten könnte die Aussagen bestätigt werden, dass neue bzw. energetisch gute Gebäude zu positiv bei der Bedarfsberechnung bewertet werden.

In Tabelle 4 ist weiterhin ersichtlich, dass sowohl der Primärenergiebedarf als auch der Primärenergieverbrauch im Mittel von Gruppe 1 (Bedarf von 271 kWh/m²a, Verbrauch von 143 kWh/m²) über Gruppe 2 (Bedarf von 162,4 kWh/m²a, Verbrauch von 109,1 kWh/m²a) hin zu Gruppe 3 (Bedarf 78,9 kWh/m²a, Verbrauch 67,5 kWh/m²a) stetig sinkt. Diese Entwicklung, hin zu niedrigeren Primärenergieverbräuchen, geht mit den steigenden Anforderungen der energetischen Qualität von Gebäuden konform.

Hierbei soll nun angemerkt sein, dass sowohl der Bedarf als auch der Verbrauch über die Gebäudegruppen sinken, dies jedoch in unterschiedlichem Maße von Statten geht. Für den Bedarf entsteht eine mittlere Reduzierung von Gruppe 1 zu Gruppe 2 von 108,8 kWh/m²a und von Gruppe 2 zu Gruppe 3 von 83,5 kWh/m²a, wohingegen die mittlere Reduzierung für den Verbrauch von Gruppe 1 zu Gruppe 2 von 33,4 kWh/m²a und von Gruppe 2 zu Gruppe 3 von 41,6 kWh/m²a beträgt.

Diese unterschiedlichen Reduzierungen für Bedarf und Verbrauch können ein Hinweis darauf sein, dass der Energiebedarf energetisch hochwertigerer Gebäude tendenziell in der Bedarfsberechnung etwas

unterschätzt wird, während weniger energetisch optimierten Gebäude tendenziell höhere Bedarfswerte zugeordnet werden als real in den Gebäuden verbraucht wird.

Tabelle 5: Vergleich spez. Primärenergiebedarf und spez. Primärenergieverbrauch für MFH

Gebäude	Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	Primärenergieverbrauch [kWh/m²a]	Abweichung Verbrauch zum Bedarf [%]
MFH G1 01	238,1	171,9	-28
MFH G1 02	452,8	221,3	-51
MFH G1 03	339,7	179,9	-47
MFH G1 04	345,3	179,2	-48
MFH G1 05	272,2	150,3	-45
MFH G1 06	260,0	175,3	-33
MFH G1 07	287,3	228,1	-21
MFH G1 08	222,7	127,7	-43
MFH G1 09	424,3	154,5	-64
MFH G1 10	287	156	-46
MFH G2 01	395,9	173,8	-56
MFH G2 02	444,4	185,8	-58
MFH G2 03	386,5	148,1	-62
MFH G2 04	388,3	164,6	-58
MFH G2 05	429,8	161,0	-63
MFH G2 06	434,6	162,5	-63
MFH G2 07	282	111	-61
MFH G2 08	341	121	-64
MFH G2 09	325	123	-62
MFH G3 01	38,5	51,2	33
MFH G3 02	37,7	41,2	9
MFH G3 03	37,6	46,6	24
MFH G3 04	35,7	49,0	37

Die spezifischen Primärenergiewerte sind in den folgenden Abbildung 1 bis Abbildung 4 nochmals grafisch gegenübergestellt. Hierbei ist der spezifische Primärenergiebedarf auf der X-Achse und der spezifische Primärenergieverbrauch auf der Y-Achse aufgetragen. Der Fall, dass Bedarf und Verbrauch übereinstimmt, wird mit der orangenen Linie dargestellt. Die blauen Punkte stellen in den Abbildungen hierbei die untersuchten Gebäude dar. Es ist zu erkennen, dass der Verbrauch den Bedarf sowohl unter als auch überschreitet. Des Weiteren steigt im Mittel mit zunehmenden Primärenergiebedarf die absolute Abweichung, dies lässt die Vermutung zu, dass gerade ältere Gebäude mit einem hohen Primärenergiebedarf bei der Bedarfsberechnung zu schlecht bewertet werden. Betrachtet man sich die prozentualen Werte der Abweichungen nach den Tabellen 4 und Tabelle 5 wird ersichtlich, dass auch die nach Abbildung 1 vermeintlich kleinen Abweichung im niedrigeren Primärenergiebereich prozentual gesehen in einer ähnlichen Größenordnung liegen können wie für Gebäude im höheren Primärenergiebereich.

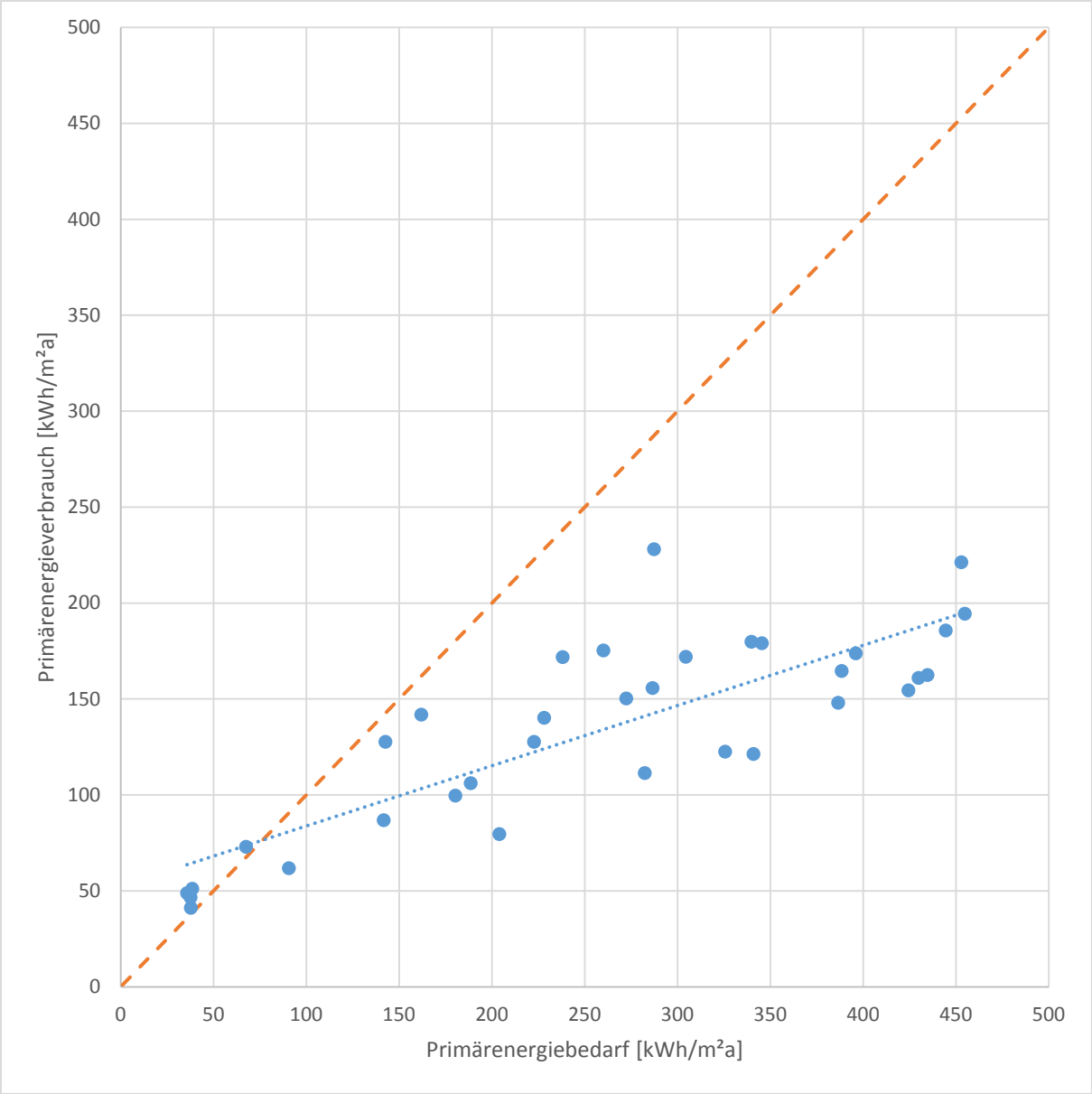

Abbildung 1: Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf

Die eingezeichnete Trendlinie (blau gepunktet) schneidet die Übereinstimmungsgerade bei etwa 75 kWh/m²a. Nach den vorliegenden Daten wurde dies bedeuten, dass Gebäude welche einen berechneten Primärenergiebedarf von 75 kWh/m²a und geringer besitzen tendenziell etwas zu optimistisch berechnet werden. Diese Schnittstelle bleibt auch nach der Aufteilung in Ein- und Mehrfamilienhäuser (Abbildung 3) etwa an der gleichen Stelle. Des Weiteren ist in Abbildung 3 ersichtlich, dass nach den hier vorliegenden Daten die Trendlinien sowohl für die Ein- als auch die Mehrfamilienhäuser eine qualitativ ähnliche Steigung aufweisen. Nach Abbildung 3 sind somit für Einfamilienhäuser als auch für Mehrfamilienhäuser ähnliche Abweichungen zwischen berechnetem Bedarf und tatsächlichen Verbrauch vorhanden. Durch welche Einflüsse diese Abweichungen entstehen wird im weiteren Verlauf genauer untersucht.

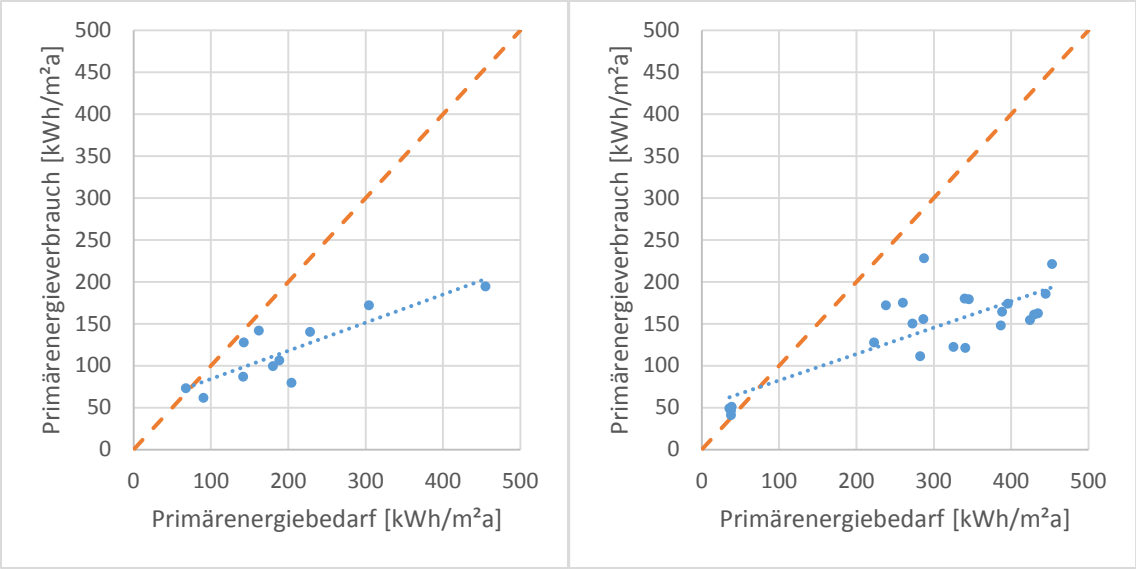

Abbildung 2: Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für EFH (links) und MFH (rechts)

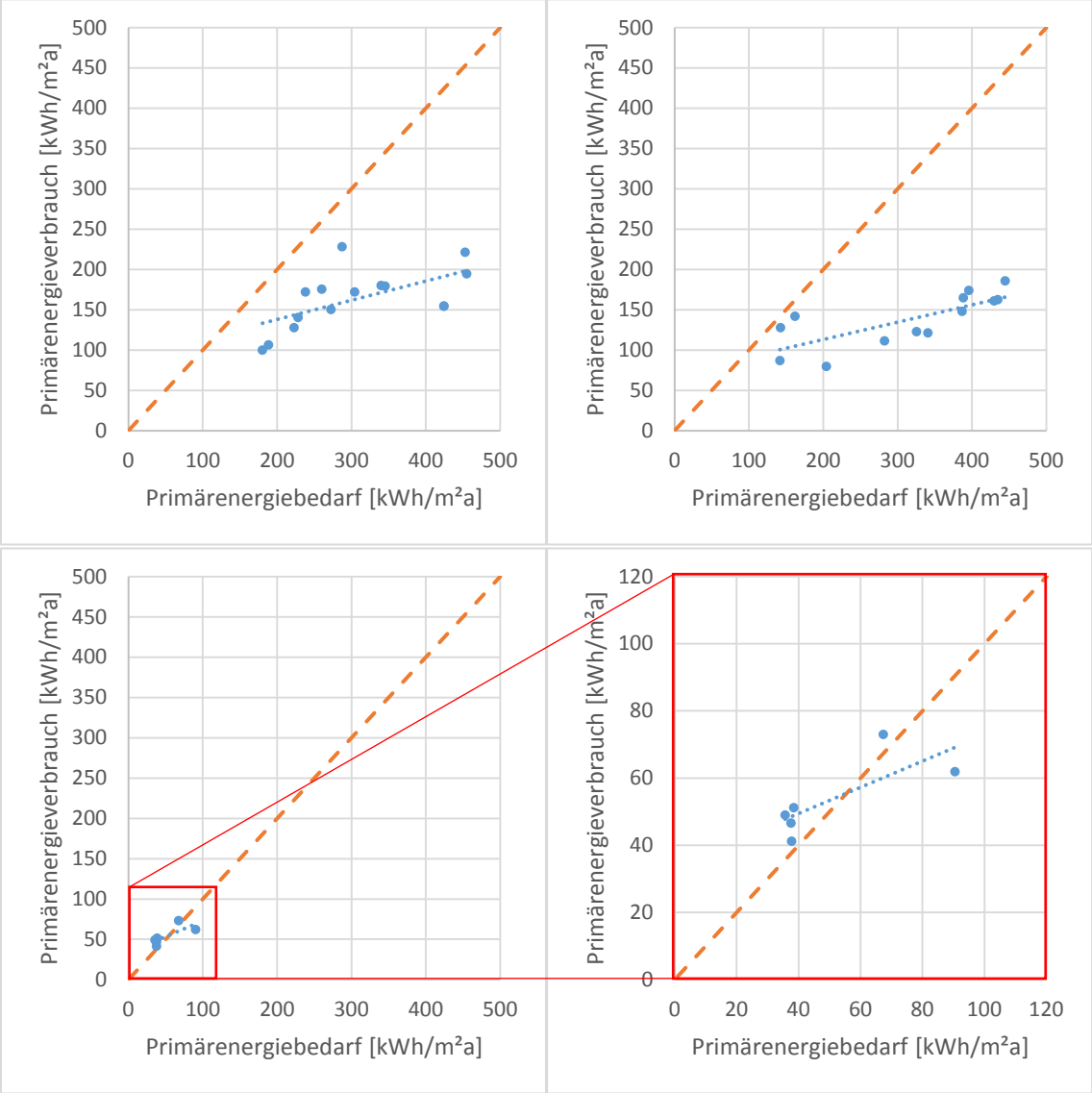

Abbildung 3: Vergleich Primärenergieverbrauch zu Primärenergiebedarf für die Gebäudegruppen G1 (o.l.), G2 (o.r.), G3 (u.l.) und G3 vergrößert (u.r.)

In Abbildung 4 sind die vorliegenden Daten in die drei Gebäudegruppen (Gebäudegruppe G1 oben links, Gebäudegruppe G2 oben rechts, Gebäudegruppe G3 unten links sowie eine Vergrößerung der Gebäudegruppe G3 unten rechts) aufgeteilt. Die Gebäudegruppen 1 und 2 weisen hierbei beide Energiebedarfswerte von rund 150 kWh/m²a bis 480 kWh/m²a auf. Ebenfalls liegen, nach den hier vorliegenden Daten, die Diskrepanzen zum tatsächlichen Primärenergieverbrauch in einem ähnlichen Bereich. Die Gebäudegruppe 3 besitzt dahingegen eine deutliche Abgrenzung zu den Gebäudegruppen 1 und 2. Sämtliche Gebäude aus Gruppe 3 weisen eine Primärenergiebedarf von unter 100 kWh/m²a auf. Weiterhin ist ersichtlich, dass lediglich bei der Gebäudegruppe 3 der tatsächliche Primärenergieverbrauch den Primärenergiebedarf überschreitet. Nach Abbildung 4 könnten unterschiedliche Einflussfaktoren für die Abweichungen in den einzelnen Gebäudegruppen verantwortlich sein.

6 Ursachenuntersuchung für Diskrepanzen

6.1 Ausstellereinfluss

Der Ausstellereinfluss auf den berechneten Energiebedarf wird exemplarisch anhand eines Einfamilienhauses (Abbildung 4 und Abbildung 5) untersucht. Bei diesem Einfamilienhaus, aus der Gebäudegruppe 1 (EFH G1 02), handelt es sich um einen voll unterkellerten Bungalow, welcher 1986 errichtet wurde. Die Bodenplatte, Kellerdecke sowie Wände sind massiv ausgebildet. Als Wärmeerzeuger dient ein Öl-Brennwertkessel, die Warmwassererzeugung wird zusätzlich noch mit einer Solarthermie Anlage in Verbindung mit einem bivalenten Speicher unterstützt. Für die Untersuchung des Ausstellereinflusses wurden die Bedarfsberechnungen von 6 Ausstellern miteinander verglichen.

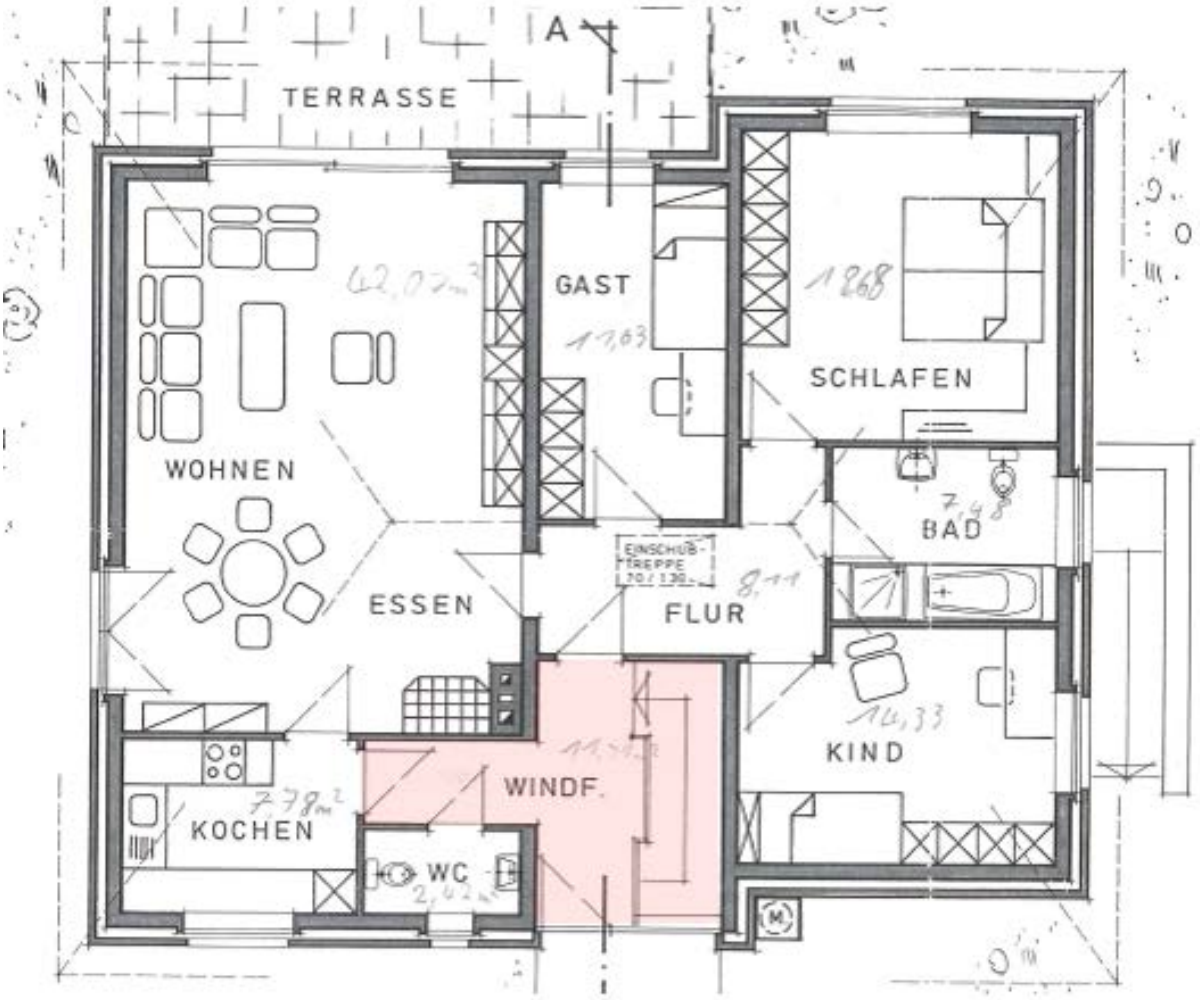

Abbildung 4: Grundriss des Bungalows zur Untersuchung der durch den Aussteller auftretenden Diskrepanz

Die erste Annahme, welche getroffen werden musste und zugleich der erste Grund, durch welchen Diskrepanzen aufgetreten sind, ist die Festlegung der thermisch konditionierten Zone. Hierbei sei angemerkt, dass von keinem der Aussteller eine vor Ort Begehung stattgefunden hat. Somit mussten diese Annahmen lediglich anhand der zur Verfügung gestellten Pläne und Erfahrungswerten erfolgen. Hierdurch wurden bereits unterschiedliche Abschätzungen getroffen ob etwa der Windfang im Eingangsbereich und der dazugehörige (durch Türen abgetrennte) Treppenraum (Abbildung 4 und Abbildung 5 roter Bereich) mit in die thermisch konditionierte Zone aufgenommen wurden oder nicht. Durch unterschiedlich getroffene Annahmen ergeben sich Volumina der thermisch konditionierten

Zone, für das gleiche Einfamilienhaus, von rund 531 bis 616 m³. Da keine Ortsbegehung stattfinden konnte, kann keine der beiden Annahmen als falsch eingestuft werden. Durch diese unterschiedlichen Annahmen ergeben sich sowohl abweichende Gebäudenutzflächen nach EnEV als auch Abweichungen der thermischen Hüllfläche. Ebenfalls diesem Umstand geschuldet sind unterschiedlich große Nettogrundflächen, diese wiederum haben Einfluss auf etwa die Leitungslängen der Heiz- und Trinkwasserverteilung.

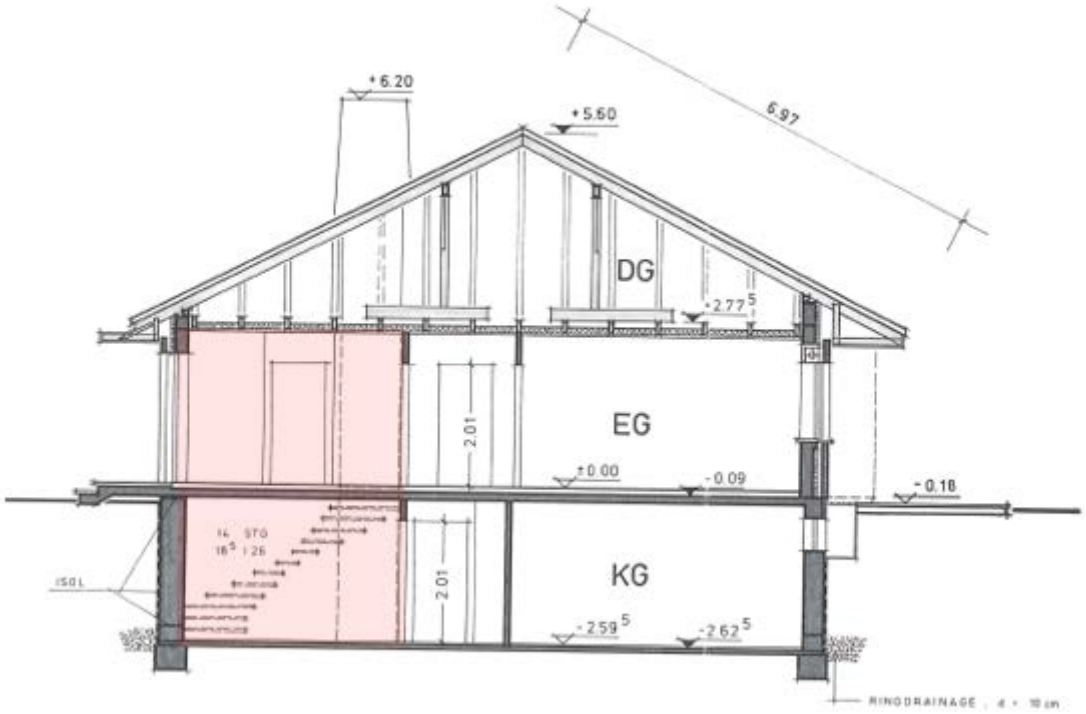

Abbildung 5: Schnitt des Bungalows zur Untersuchung der durch den Aussteller auftretenden Diskrepanz

Für die U-Werte der unterschiedlichen Bauteile, wurden die nächsten größeren Abweichungen festgestellt, da nicht für alle Bauteile der Konstruktionsaufbau bzw. der U-Wert bekannt war. Somit wurden, etwa hinsichtlich der Bodenplatte (Bopla), sehr unterschiedliche U-Werte von ca. 3,5 W/m²K (Konstruktion mit Beton und Estrich) bis 0,6 W/m²K (pauschale Annahme nach [11]) angesetzt. Zum einen ist es zulässig, bei unbekannten Bauteilaufbauten auf die pauschalen Werte zurückzugreifen. Zum anderem ist in den Plänen eine 10 cm dicke Betonbodenplatte mit einem 3 cm Aufbau vermaßt, Angaben über eine etwaig verbaute Perimeterdämmung unter der Bodenplatte stehen leider nicht zur Verfügung und konnten ebenfalls nicht durch eine Befragung des Eigentümers bestätigt oder verneint werden. Wird eine solche Konstruktion dem Bauteil hinterlegt ändert sich der U-Wert der Bodenplatte dementsprechend massiv. Ohne Kenntnis des genauen Aufbaus, kann somit auch in diesem Fall keiner der angesetzten U-Werte als falsch eingestuft werden. Hinsichtlich der Kelleraußenwand (AW KG) der Kellerinnenwand (IW KG) verhält es sich wie bei der Bodenplatte, die gewählten Konstruktionen der Aussteller sind alle nachvollziehbar und begründbar. Lediglich Aussteller 4 hat bei den nicht bekannten Bauteilen die Pauschalwerte nach [11] durchgängig angesetzt. Gerade die teilweise sehr unterschiedlichen Annahmen der U-Werte der unbekannten Bauteile Bodenplatte sowie Außen- und Innenwand des Kellers führen zu einer erheblichen Diskrepanz der Aussteller untereinander.

Tabelle 6: gewählte U-Werte für Bauteile unterschiedlicher Aussteller sowie bekannte Werte des Gebäudes

Gewerk	bekannt [W/m²K]	Aussteller 1 [W/m²K]	Aussteller 2 [W/m²K]	Aussteller 3 [W/m²K]	Aussteller 4 [W/m²K]	Aussteller 5 [W/m²K]	Aussteller 6 [W/m²K]
Bopla	-	0,60	3,59	2,45	0,60	0,64	0,60
AW KG	-	0,36	1,82	1,58	0,60	1,24	0,39
IW KG	-	1,73	2,59	2,46	0,70	2,17	2,04
AW EG	0,37	0,36	0,40	0,37	0,37	0,37	0,39
Decke	0,28	0,28	0,27	0,33	0,28	0,20	0,26
Fenster	1,30	1,50	1,30	1,50	1,90	1,30	1,30

Für die Bauteile Außenwand im Erdgeschoss (AW EG) sowie die Decke zum unbeheizten Dachraum waren die Konstruktionsaufbauten sowie die errechneten U-Werte durch die bereits angefertigte Berechnung nach Wärmeschutzverordnung bekannt. Bezüglich der Fenster wurden der U_g-Wert für diese vom Eigentümer übermittelt. Die somit bekannten Werte wurden teilweise direkt eingetragen bzw. der Bauteilaufbau nachkonstruiert, dies führt zu einer minimalen Abweichung der U-Werte.

Hinsichtlich der TGA konnten ebenfalls nicht alle für die Berechnung notwendigen Daten aus den Datenblättern ermittelt werden. Hierbei musste somit auf Standardwerte zurückgegriffen werden. Bezüglich der TGA-Komponenten ergaben sich zwischen den Ausstellern nur sehr geringe Abweichungen. Hierbei sollten die teilweise unterschiedlichen Leitungslängen der Heiz- und Trinkwarmwasserleitung nicht unerwähnt bleiben. Diese sind jedoch auf die unterschiedlichen Annahmen der Nettogrundfläche und das Fehlen von TGA-Plänen zurückzuführen.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Punkte sind große Abweichungen in den Primärenergiebedarfswerten nicht weiter verwunderlich. Dies Zeigt sich besonders in Abbildung 6. Die berechneten spezifischen Primärenergiebedarfswerte reichen hierbei von 180,3 kWh/m²a (Austeller 4) bis 305,3 kWh/m²a (Aussteller 3). Die sich hierdurch ergebende prozentuale Abweichung beträgt annähernd 70 %. Der tatsächliche spezifische Primärenergieverbrauch (orangener Balken) von 99,7 kWh/m²a unterschreitet jedoch alle Bedarfsberechnungen der Austeller deutlich. Diese Abweichung von 45 % (Verbrauch bezogen auf Aussteller 4) wird im weiteren Verlauf genauer untersucht.

Neben unterschiedlichen Aufnahmen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (mit und ohne Windfang) sind für die Abweichungen hauptsächlich die unterschiedlichen Annahmen der U-Werte verantwortlich. Die Untersuchung der durch U-Werte verursachten möglichen Diskrepanzen wird in Kap. 6.4 genauer behandelt. Für die weiteren Untersuchungen werden die durch den Aussteller auftretenden Diskrepanzen jedoch nicht berücksichtigt, da alle Berechnungen vom gleichen Aussteller durchgeführt werden.

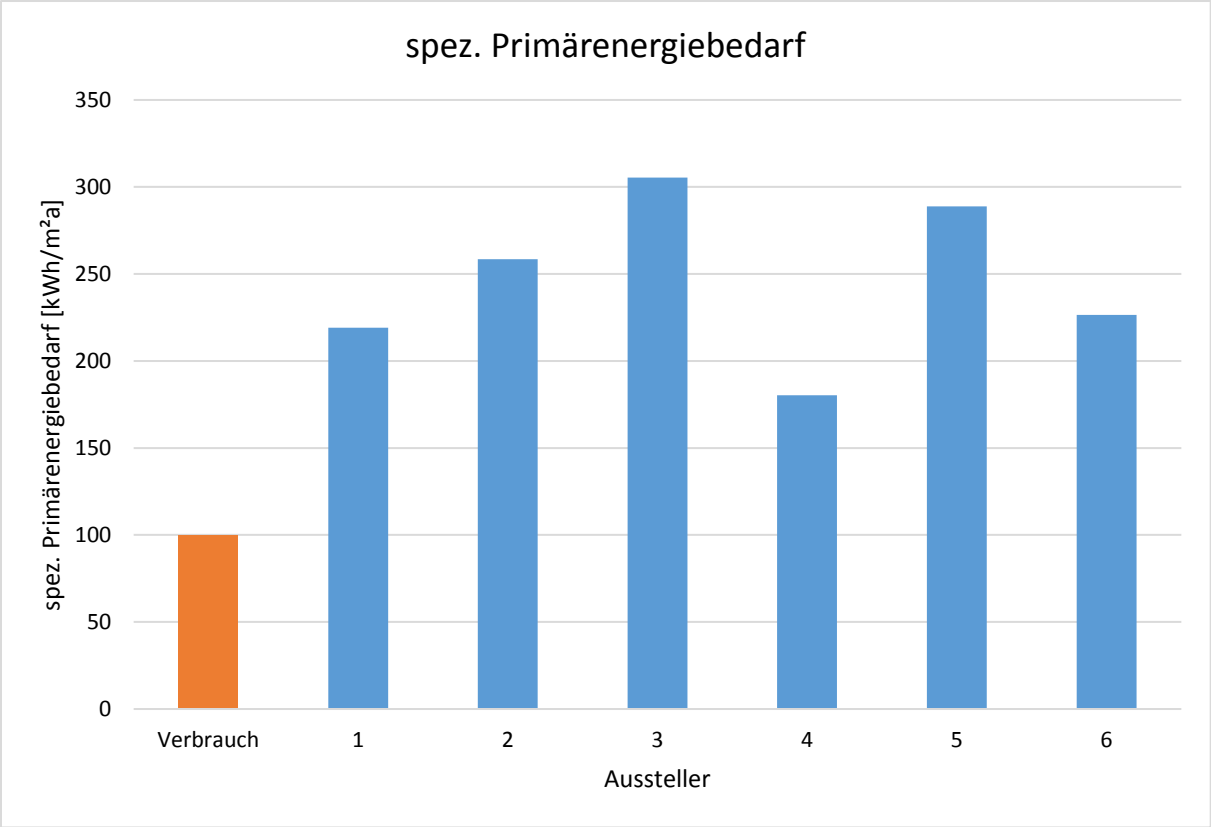

Abbildung 6: Berechnung des spez. Primärenergiebedarfs für ein Beispielgebäude durch 6 unterschiedliche Aussteller

6.2 Normgrundlage und Energiebezugsfläche

Diskrepanzen aus unterschiedlichen Normgrundlagen wurden in diesem Projekt ausgeschlossen, da jeder Bedarfsausweis nach EnEV unter Zugrundelegung der DIN V 18599 erstellt wurde.

Die Energiebezugsfläche bzw. die Nutzfläche nach EnEV wurde sowohl für den Bedarfsausweis als auch für den Verbrauchsausweis über das beheizte Gebäudevolumen bestimmt. Hierdurch kann insbesondere der spezifische Primärenergiebedarf von Verbrauchs- und Bedarfsausweis direkt miteinander verglichen werden.

6.3 Einflussgruppe 1: Nutzereinfluss

Unter Zuhilfenahme von ZUB Helena und des thermischen Gebäudesimulationsprogramms TRNSYS wird der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energiebedarf genauer untersucht.

Für die Untersuchung in TRNSYS wird im ersten Schritt die Gebäudegeometrie unter Zuhilfenahme des Zeichenprogramms SketchUp [24] nachgebildet. Unter anderem zur Berücksichtigung der im Gebäude tatsächlich vorhandenen thermischen Speichermasse, wurden hierfür Mehrzonenmodelle der Gebäude erstellt, d.h. es erfolgte eine Berücksichtigung der Innenwände und Decken. Ein Beispiel wird in Abbildung 7 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass jedem Raum eine separate Zone zugewiesen wurde. Neben den beheizten Zonen (Räumen) werden auch die thermisch nicht konditionierten Zonen, in diesem Beispiel der Dachraum und Teile des Kellers, in TRNSYS eingearbeitet. Hierdurch können auch diesen Zonen Eigenschaften wie etwa eine Raumsolltemperatur von 13 °C zugewiesen werden.

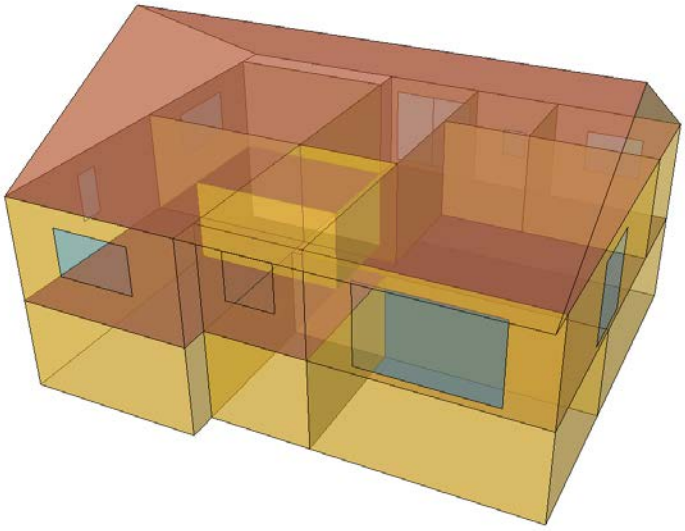

Abbildung 7: SketchUp-Modell als Geometriegrundlage in TRNSYS

Im zweiten Schritt wird diese Gebäudegeometrie in das Simulationsstudio eingelesen und die Bauteile hinsichtlich Schichtaufbauten, U-Wert, thermische Speichermasse sowie g-Wert (bei transparenten Bauteilen) definiert.

Im dritten Schritt werden die Nutzungsrandbedingungen für die Simulation hinterlegt. Hierbei können unterschiedliche Nutzungsprofile für jede Zone (jeden Raum) angelegt werden, d.h. es können für unterschiedlichen Zonen (Räumen) auch jeweils unterschiedliche Heiz- und Lüftungsverhalten sowie unterschiedliche interne Wärmequellen zugrunde gelegt werden. Des Weiteren kann somit auch der Einfluss der Gebäudedichtheit über die Infiltrationsrate untersucht werden.

Die technische Gebäudeausrüstung wurde entsprechend der Bedarfsberechnung nach ZUB Helena (Referenzvariante) in TRNSYS eingefügt. Hierbei wird der Erzeuger, die Speicherung und Verteilung für Heiz- und Trinkwarmwasser in unterschiedlichen sogenannten Types modelliert. In diesen Types werden die Lage (innerhalb oder außerhalb der thermisch konditionierten Zone) und etwa geometrischen Abmessungen (z.B. Leitungslängen) sowie die energetische Qualität der jeweiligen TGA-Komponenten dem Modell hinterlegt. Hierdurch können die Anlagenverluste welche innerhalb der thermischen Hülle anfallen wieder als Gewinne in das Gebäude eingepflegt werden.

Der spezifische Nutzwärmebedarf nach Berechnungen mit ZUB Helena und TRNSYS ist in Abbildung 8 dargestellt. Es zeigt sich, dass für die meisten Gebäude eine gute Übereinstimmung festzustellen ist. Der durch TRNSYS berechnete Wert wird als Referenzwert zur Untersuchung des Einflusses von Variationen der energetischen Qualität der Gebäudehülle, der TGA und des Nutzerverhaltens benutzt.

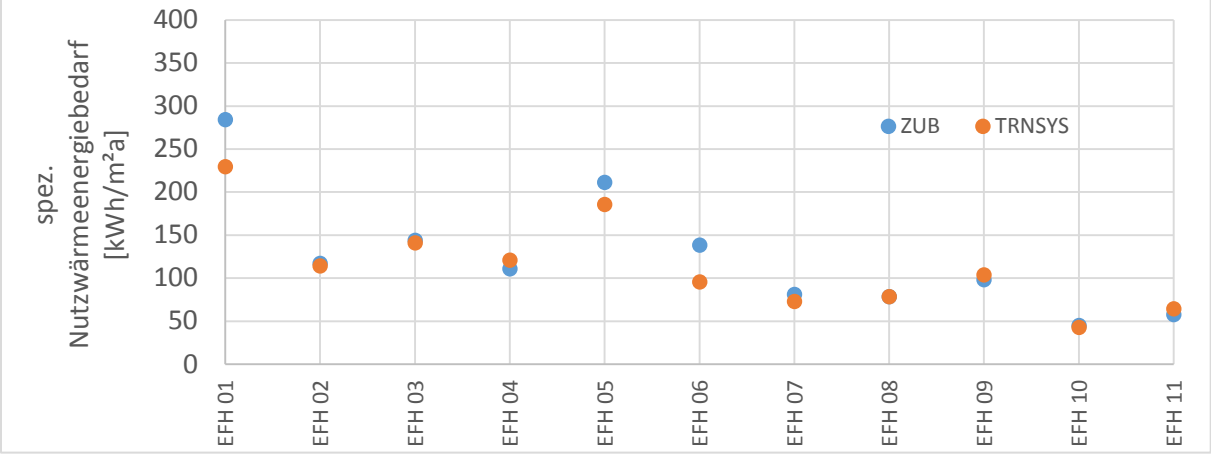

Abbildung 8: Ergebnisvergleich der Berechnung nach ZUB Helena und TRNSYS am Beispiel der Einfamilienhäuser

Um den Einfluss des Nutzers aufzeigen zu können, wurden unterschiedliche Nutzerprofile angelegt. Ausgehend von dem in DIN V 18599 normierten „Standardnutzer“ (Raumsolltemperatur: 20 °C, Luftwechselrate: 0,50 1/h und interne Wärmequellen 45 Wh/m²d (EFH) bzw. 90 Wh/m²d (MFH)) wurde jeweils ein Nutzerprofil für einen sparsamen sowie einen verschwenderischen Nutzer erstellt.

Für den sparsamen Nutzer wurden eine Raumsolltemperatur von 17 °C, eine Luftwechselrate von 0,30 1/h und interne Wärmequellen von 40 / 80 Wh/m²d (EFH / MFH) gewählt. Diese durchaus niedrigen Werte wurden zum einen gewählt, damit auch eine erhöhte Teilbeheizung der Gebäude Berücksichtigung findet. Zum anderen, dass eine geringere Bedarfslüftung in einzelnen Zimmern (etwa lediglich Lüften des Schlafzimmers nach dem Aufstehen sowie des Bades nach dem Duschen) berücksichtigt werden können. Durch die Verringerung der internen Wärmequellen des sparsamen Nutzers wird ein gegenläufiger Effekt bewirkt (Erhöhung des Nutzwärmeenergiebedarfs), dieser Ansatz erscheint jedoch als plausibel, da ein sparsamer Nutzer im Allgemeinen einen sparsamen Umgang z.B. mit Elektrogeräten ausüben wird.

Für den verschwenderischen Nutzer wurden eine Raumsolltemperatur von 23 °C, eine Luftwechselrate von 0,60 1/h und interne Wärmequellen von 50 EFH /100 MFH Wh/m²d gewählt. Die um 3 Kelvin erhöhte Raumsolltemperatur soll hierbei eine Nutzergruppe mit erhöhtem Wärme- bzw. Komfortbedürfnis abbilden. Dieses erhöhte Komfortbedürfnis stellt sich nach [5] oftmals mit steigender energetischer Qualität der Gebäudehülle ein. Durch die erhöhte energetische Qualität der Gebäudehülle wird auch deren Dichtheit steigen, dies kann eine Erhöhung der Luftwechselrate zur Folge haben. Die Erhöhung der internen Wärmequellen hat, genau wie für den sparsamen Nutzer, einen etwas gegenläufigen Effekt. Eine Zusammenfassung der Nutzerprofile mit den entsprechend verwendeten Daten für Raumsolltemperatur, Luftwechselrate sowie den internen Wärmequellen kann Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Nutzerprofile

Nutzerprofil	sparsam	Standard	verschwenderisch
Temperatur [°C]	17	20	23
Luftwechsel [1/h]	0,3	0,5	0,6
Interne Wärmequellen [Wh/m²d]	40/80	45/90	50/100

6.4 Einflussgruppe 2: Gebäudehülle

Die energetische Qualität der Gebäudehülle hat einen erheblichen Einfluss auf den Nutzenergiebedarf der Heizung. Diese energetische Qualität bestimmt sich aus der Luftdichtheit der Gebäudehülle, Ausführung bzw. Vermeidung von Wärmebrücken, den Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (U-Werte) und dem Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der transparenten Bauteile.

Hinsichtlich der Luftdichtheit, werden Gebäude in Einzelfalluntersuchungen bewertet, ausgehend von den Standardwerten nach EnEV, n_{50} = 4,0 1/h ohne vorgesehene Luftdichtheitsprüfung wird für Gebäude, welche nach Baualter bzw. Sanierungsstand eine bessere Dichtheit aufweisen sollten, ein n_{50}–Wert von 2,0 1/h (bzw. 1,0 1/h bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen), was den Werten für Gebäude mit vorgesehener Dichtheitsprüfung entspricht, angesetzt bzw. variiert.

Der Einfluss von Wärmebrücken bzw. die Abweichung von reellen zu pauschalen Wärmebrückenkorrekturfaktoren kann über eine detaillierte Wärmebrückenberechnung ermittelt werden. Solche Berechnungen sind jedoch sehr zeitaufwändig und konnten somit, im Rahmen dieses Projektes, nicht für alle Gebäude durchgeführt werden. Auch hierbei wurden jedoch Einzelfalluntersuchungen für verschiedene Gebäude durchgeführt. Ausgehende vom pauschalem Wärmebrückenkorrekturwert von 0,10 W/m²K (ohne Nachweis) wird für neue bzw. gut sanierte Gebäude ein Wert von 0,05 W/m²K (DIN 4108 Bbl. 2 [25] eingehalten) und für Gebäude, welche bereits einen Wert von 0,05 W/m²K aufweisen, ein Wert von 0,03 W/m²K (DIN V 18599-2:2018-09 für die Einhaltung aller Anforderungen der Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2) angesetzt bzw. variiert.

Für die Untersuchung der U-Werte wurden unterschiedliche Studien ausgewertet. In den Studien wurden gemessene U-Werte mit pauschalen U-Werten verglichen. Neben diesen Studien wurde während des Projekts für Beispielgebäude die pauschalen U-Werte, nach unterschiedlichen Baualtern und Bauweisen, nach [11] mit den entsprechenden Beispielkonstruktionen nach DENA aus der Datenbank von ZUB Helena verglichen. Diese Gegenüberstellung ist in Abbildung 9 beispielhaft für ein Gebäude dargestellt. Hierbei sind die zwei möglichen Ansätze der Pauschalwerte in blau und grün dargestellt und zwei mögliche Varianten nach DENA in rot und orange. Es ist ersichtlich, dass die absoluten Schwankungen in steigendem Gebäudealter zunehmen. Die prozentualen Abweichungen untereinander liegen zum größten Teil im Bereich von ± 20%. Diese Abweichung wurde für die weiteren Untersuchungen der U-Werte herangezogen. Bei der Variation der U-Werte wurde diese somit um 20% verbessert als auch verschlechtert. Die g-Werte der transparenten Bauteile wurden, zur Plausibilitätsprüfung, mit Fensterdatenblättern unterschiedlicher Hersteller verglichen. Der Einfluss der U-Werte wird hierbei in die Hüllkomponenten Bodenplatte/Kellerdecke, Außenwände, oberste Geschossdecke/Dach und Fenster unterteilt.

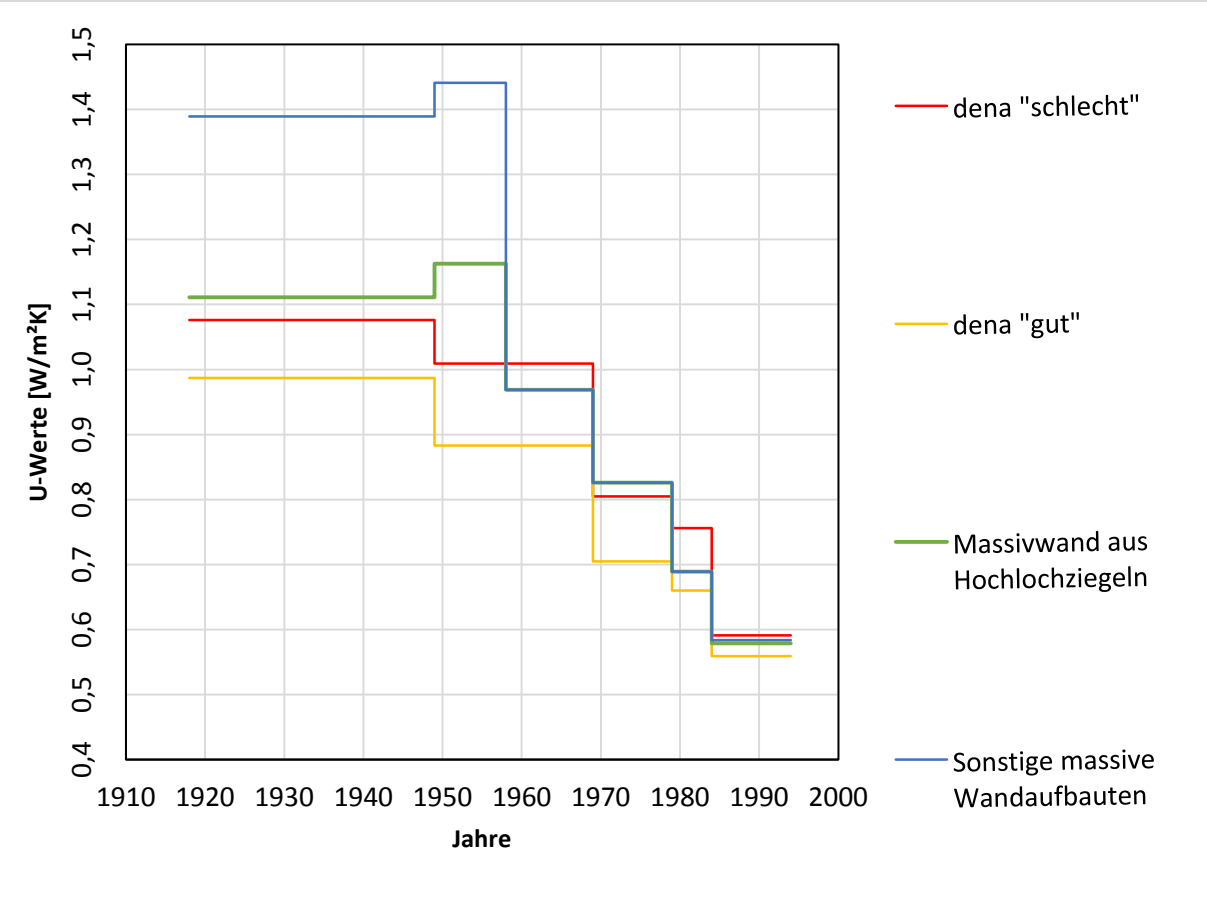

Abbildung 9: Vergleich von Jahresbezogenen U-Werten unterschiedlicher Ansätze

Eine Übersicht über die Untersuchungen der Gebäudehülle kann Tabelle 8 entnommen werden. Hierbei sei nochmals angemerkt, dass die Variationen des Wärmebrückenzuschlags sowie des Infiltrationsluftwechsels nur in Einzelfallentscheidungen durchgeführt wird. Die Referenzwerte werden wie bereits in Kap. 6.3 beschrieben, auch in TRNSYS hinterlegt und können somit sowohl in ZUB Helena als auch in TRNSYS untersucht werden.

Tabelle 8: Variation der Einflussfaktoren thermische Gebäudehülle

Einflussfaktoren	Variation		
U-Werte opak Boden	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte opak Wände	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte opak Decke	-20%	Referenzwert	+20%
U-Werte transparent	-20%	Referenzwert	+20%
Wärmebrückenzuschlag	0,03 W/m²K	0,05 W/m²K	0,10 W/m²K
Infiltration (n_{50})	1,0 bzw.2,0 1/h	4,0 1/h	-

6.5 Einflussgruppe 3: TGA

Für die Untersuchung der TGA wurde diese in die Bereiche Erzeugung, Verteilung und Übergabe aufgeteilt.

Bei der Erzeugung wurde neben der Variation der Vor- und Rücklauftemperaturen Tabelle 9 Zeile 1 auch der Erzeuger bzw. dessen energetische Qualität (etwa Kesselwirkungsgrad bei Voll- und Teillast) Tabelle 9 Zeile 2 genauer untersucht. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die jeweiligen Variationen in einem realitätsnahen Bereich liegen, d.h. bei etwa einem Gas-Niedertemperaturkessel wurde als obere maximale Grenze des Wirkungsgrads 99% und bei einem Gas-Brennwertgerät 109% gewählt.

Für die Verteilung wurde die Durchführung bzw. Art des hydraulischen Abgleiches (Tabelle 9 Zeile 3) untersucht. Weiter wurde der längenbezogene U-Wert (Tabelle 9 Zeile 4) und die damit einhergehenden Verluste, der Verteilleitung von Heiz- und Trinkwarmwasser betrachtet. Hinsichtlich der Pumpe wurde deren Auslegung (Tabelle 9 Zeile 5) sowie Regelung (Tabelle 9 Zeile 6) genauer untersucht.

Die Art der energetisch wirksamen Übergabe bzw. deren Regelung wurde in eine energetisch positive sowie negative Richtung variiert (Tabelle 9 Zeile 7).

Tabelle 9: Variation der Einflussfaktoren TGA

Einflussfaktoren	Variation		
Vor- und Rücklauf	70/55	55/45	45/35
Kesselwirkungsgrad	-4%	Referenzwert	+4%
hydraulischer Abgleich	ohne	stat. abgestimmt	Differenzdruckregler
längenbezogener U-Wert	-20%	Referenzwert	+20%
Pumpenauslegung	bedarf	überdimensioniert	-
Pumpenregelung	ungeregelt	konstant	variabel
Übergabe	verschlechtert	Referenzregler	verbessert

Neben den energetischen Eigenschaften der untersuchten Komponenten hat deren Lage, innerhalb oder außerhalb der thermischen konditionierten Zone, einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf. In vielen Fällen ist die genaue Lage des Erzeugers, Speichers und der Verteilleitungen bekannt. Liegen diese innerhalb der thermischen konditionierten Zone werden die Energieverluste zumindest anteilig in der Gesamtbilanzierung wieder angerechnet. Sind diese Komponenten außerhalb der thermisch konditionierten Zone angeordnet werden deren Verluste als reine Systemverluste angerechnet. Dies bedeutet, dass auch die Auswirkungen einer Variation der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie einer Variation des längenbezogenen U-Wertes einen wesentlich stärkeren Einfluss haben, wenn die Komponenten außerhalb der thermisch konditionierten Zone liegen.

Ebenfalls haben die entsprechenden Leitungslängen einen Einfluss auf den Energiebedarf. Hierbei gilt es jedoch festzuhalten, dass in den wenigsten Fällen ein detaillierter Leitungsplan vorhanden ist. Dann muss auf Standardwerte, welche im Wesentlichen vom gewählten Netztyp (Nach DIN V 18599-5:2011 Anhang C: Etagenringtyp, Etagenverteiltyp, Steigstrangtyp und Strahlungs- und Luftheizung) und der Nettogrundfläche des Gebäudes abhängig sind, zurückgegriffen werden. Eine Gegenüberstellung der vom Programm ZUB Helena Ultra angenommenen Leitungslängen und der tatsächlich verlegten Leitungslänge der Heiz- und Trinkwasserleitung sind, für ein Beispielgebäude (Leitungspläne vorhanden), in Tabelle 10 und Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 10: Längenvergleich der Heizleitung zwischen ZUB Helena und den TGA-Plänen

Heizung	ZUB HZ [m]	Plan HZ [m]	Abweichung HZ [%]
Verteilleitung	89	80	-10
Strangleitung	25	76	204
Anbindeleitung	869	720	-17

Tabelle 11: Längenvergleich der Trinkwarmwasserleitung zwischen ZUB Helena und den TGA-Plänen

Trinkwarmwasser	ZUB TWW [m]	Plan TWW [m]	Abweichung TWW [%]
Verteilleitung	110	96	-13
Strangleitung	101	57	-44
Stichleitungen	118	242	105

Durch die Änderungen der angenommenen Leitungslängen von ZUB Helena Ultra auf die Planwerte ändert sich der spez. Primärenergiebedarf von 38,47 kWh/m²a auf 38,28 kWh/m²a, was einer Reduzierung von etwa einem halben Prozent entspricht. Diese Abweichung ist vergleichsweise sehr gering jedoch könnten die Werte je nach gewähltem Netztyp noch weiter abweichen. Gerade die enorme Abweichung der Strangleitung (Tabelle 10 Zeile 2) von 204% und der Stichleitung (Tabelle 11 Zeile 3) von 105% zeigen auf, wie weit die tatsächlich verbauten Leitungslängen von den Standardwerten abweichen können.

Diese signifikanten Einflüsse der TGA machen es unerlässlich, diese auch in TRNSYS zu modellieren, um deren Einfluss auf den Energiebedarf mit zu berücksichtigen. Wie bereits in Kap. 6.3 beschrieben, werden die TGA-Komponenten in so genannten Types in der Simulationsumgebung modelliert. Somit können auch die Einflüsse durch etwa Änderungen der energetischen Qualität der TGA-Komponenten sowohl in ZUB Helena als in TRNSYS untersucht werden.

6.6 Analyse des Einflusses der Einflussgruppen 1-3 auf die Bedarfsberechnung

Die folgenden Abbildungen zeigen, in welchem Bereich die unterschiedlichen Diskrepanzen für jedes Gebäude liegen können.

In den Abbildungen der jeweiligen Gebäude sind zum einen die Verbrauchsdaten (orange Linie), die erstellte Referenzvariante (schwarze Linie) sowie der jeweilige Verbesserungsbereich (grüner Balken) und der Verschlechterungsbereich (roter Balken) in Abhängigkeit der Einflussgruppen bzw. deren Überlagerung (Y-Achse) dargestellt. Für die Vergleichbarkeit wurden alle Werte auf die spezifische Primärenergie (X-Achse) bezogen. Die Unterteilung anhand der Ergebnisse kann in vier Gruppen erfolgen. Die erste Gruppe von 9 Gebäuden, bei welcher durch die Variation aller Faktoren in eine energetisch verbessernde Richtung der tatsächlich Primärenergieverbrauch nachvollzogen werden kann, ist in Abbildung 10 bis Abbildung 18 dargestellt.

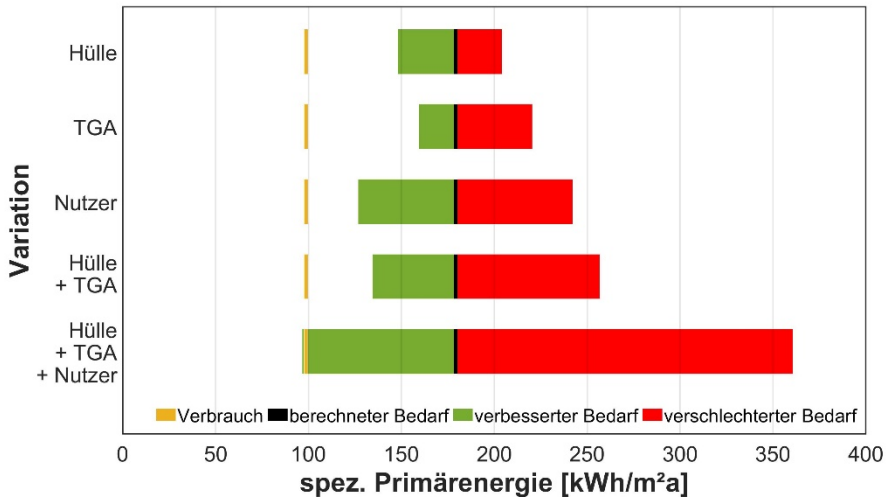

Abbildung 10: Einflussanalyse EFH G1 02

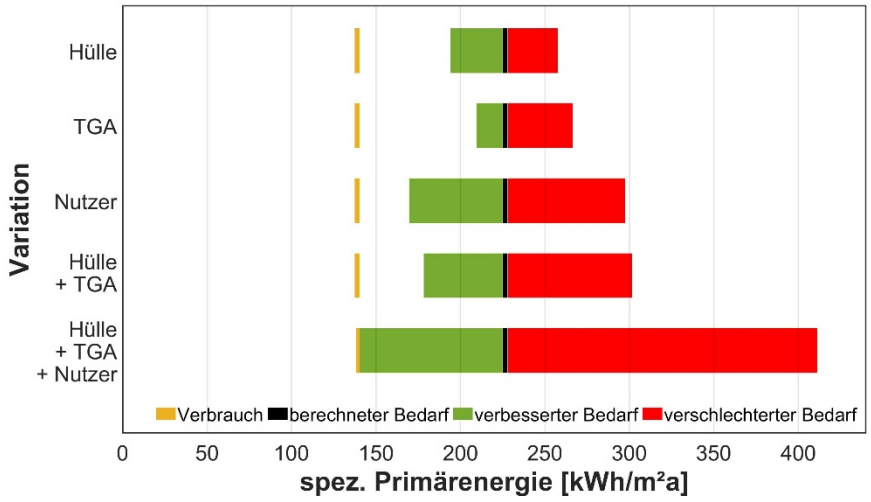

Abbildung 11: Einflussanalyse EFH G1 03

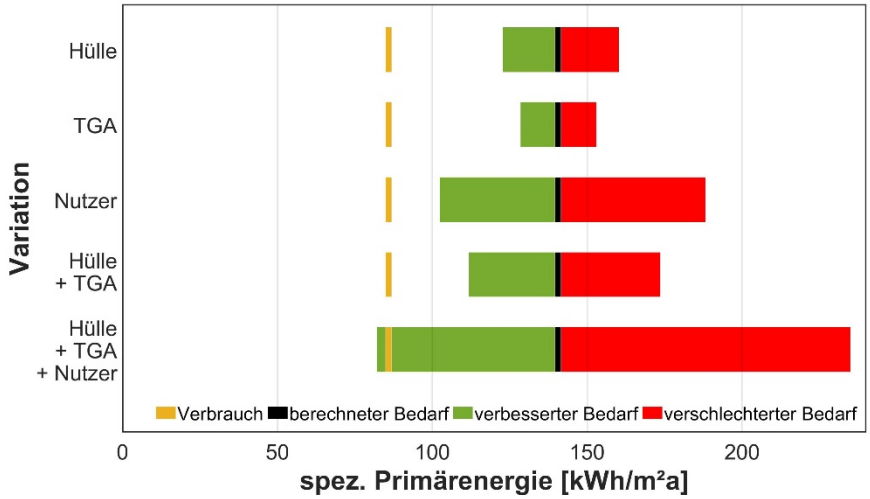

Abbildung 12: Einflussanalyse EFH G2 03

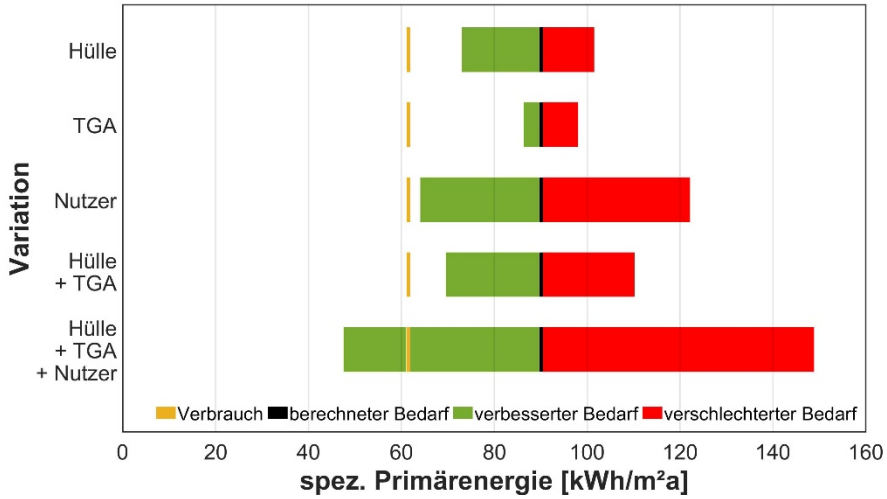

Abbildung 13: Einflussanalyse EFH G3 02

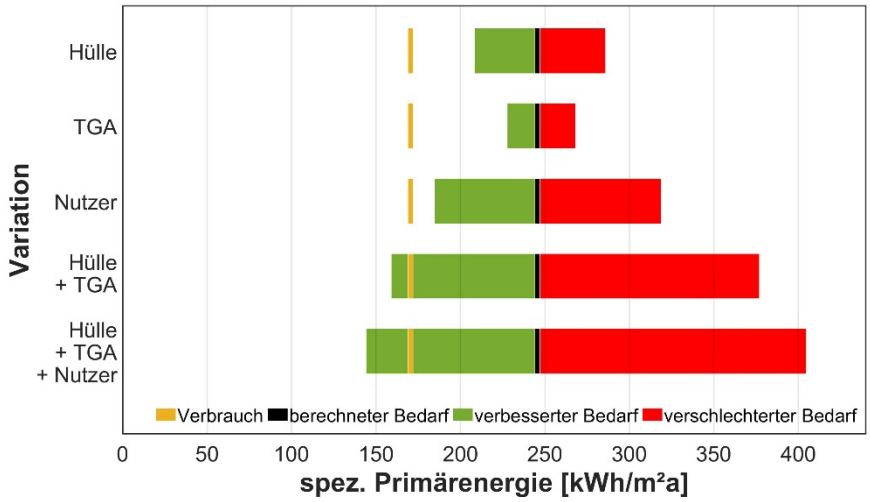

Abbildung 14: Einflussanalyse MFH G1 01

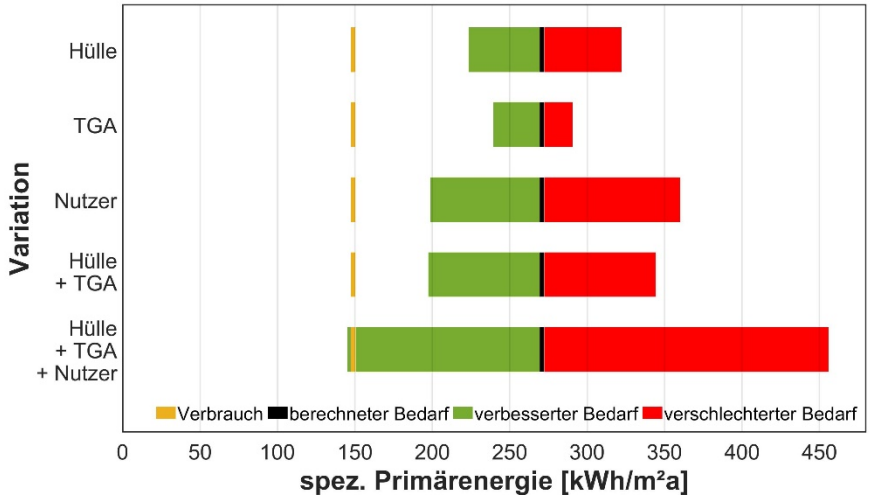

Abbildung 15: Einflussanalyse MFH G1 05

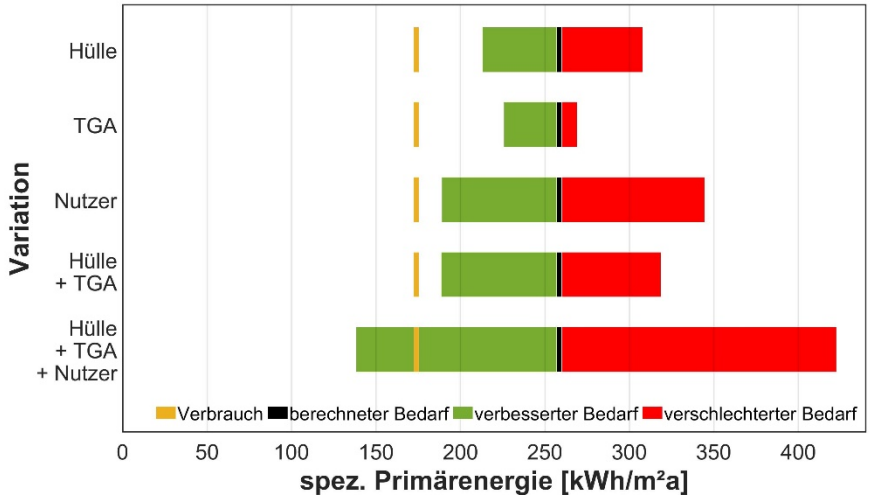

Abbildung 16: Einflussanalyse MFH G1 06

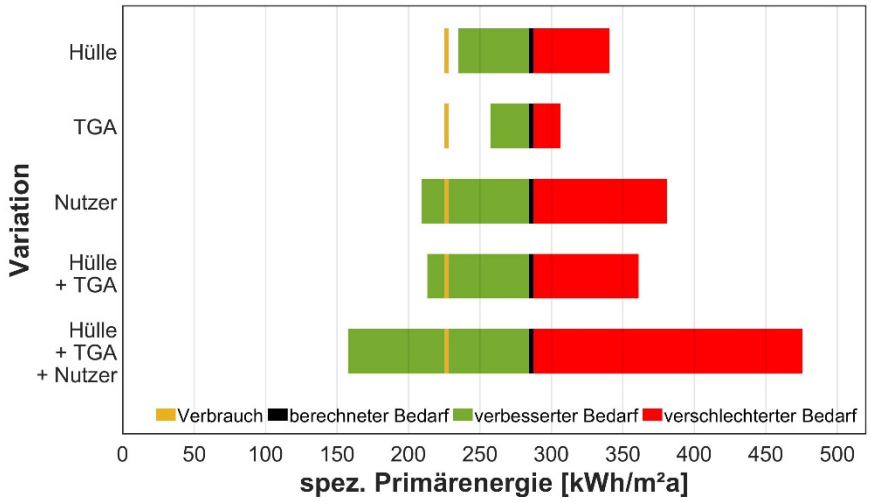

Abbildung 17: Einflussanalyse MFH G1 07

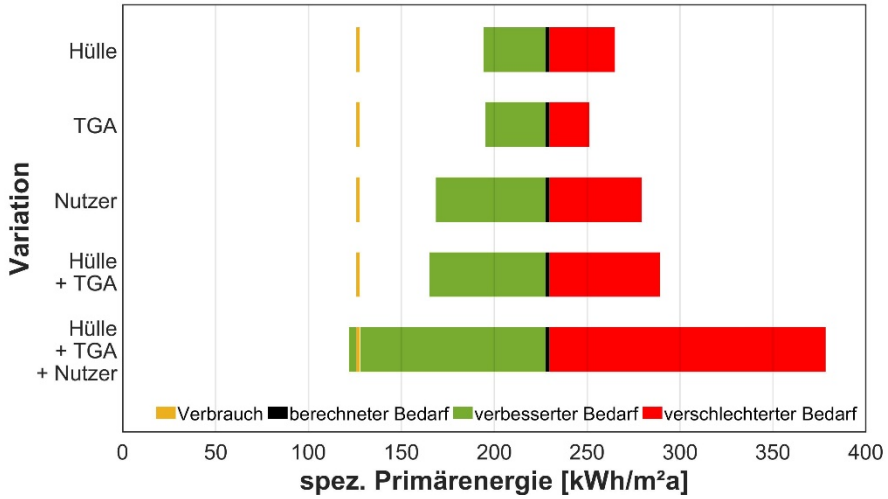

Abbildung 18: Einflussanalyse MFH G1 08

In den jeweiligen Abbildungen (Abbildung 10 bis Abbildung 18) ist zu erkennen, dass der Nutzer zwar einen erhebliche Einflussgruppe darstellt, sich jedoch die tatsächlichen Verbräuche nicht durch einen sparsamen Nutzer allein erklären lassen. Weiterhin ist zu erkennen, dass etwa die Überlagerung der Einflussgruppen Hülle und TGA einen ähnlich großen Einfluss wie der Nutzer haben können. Der tatsächliche Verbrauch kann für die gezeigten Gebäude (Abbildung 10 bis Abbildung 18) erst durch die Überlagerung aller drei Einflussgruppen erreicht werden. Die gezeigten Gebäude sind für die Einfamilienhäuser über alle drei Gebäudegruppen anzutreffen, wohingegen die gezeigten Mehrfamilienhäuser alle aus der Gebäudegruppe 1 stammen.

In den weiteren Abbildungen von Abbildung 19 bis Abbildung 32, ist eine zweite Gruppe von 14 Gebäuden gezeigt, für welche ersichtlich ist, dass selbst durch das Ansetzen aller energetisch positiveren Werte nach Kap. 6.3, 6.4 und 6.5 der tatsächliche Verbrauch nicht nachvollzogen werden kann.

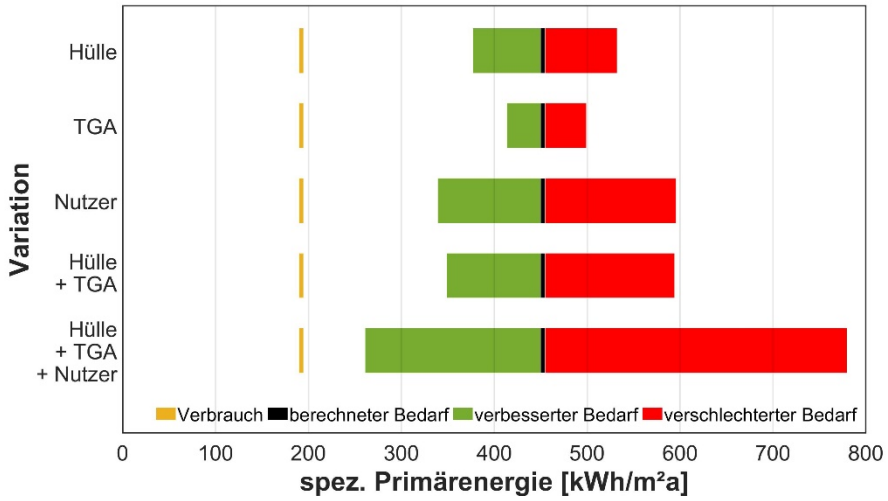

Abbildung 19: Einflussanalyse EFH G1 01

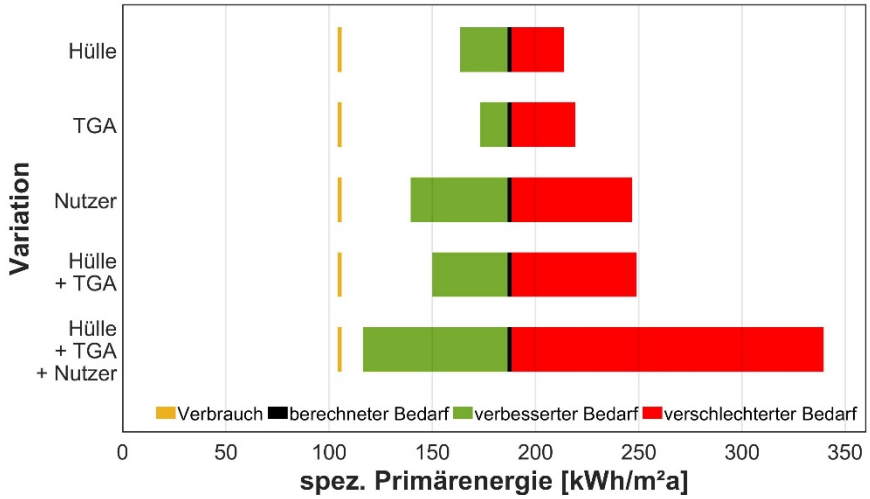

Abbildung 20: Einflussanalyse EFH G1 04

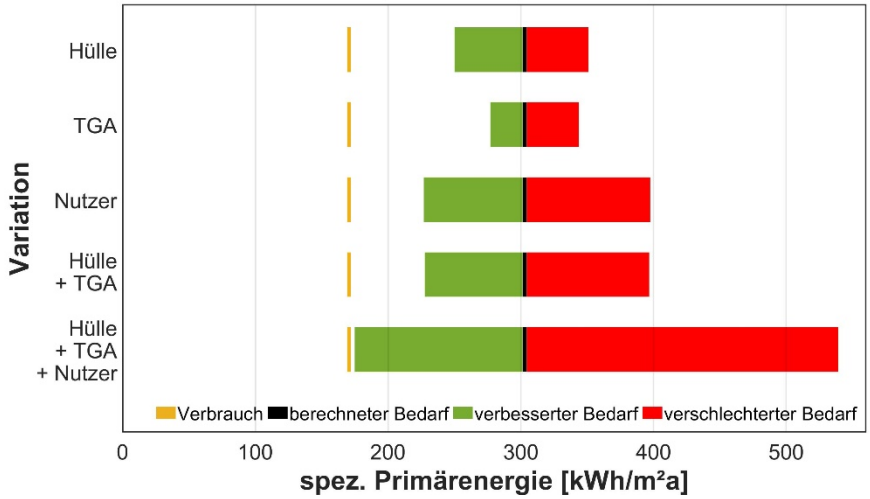

Abbildung 21: Einflussanalyse EFH G1 05

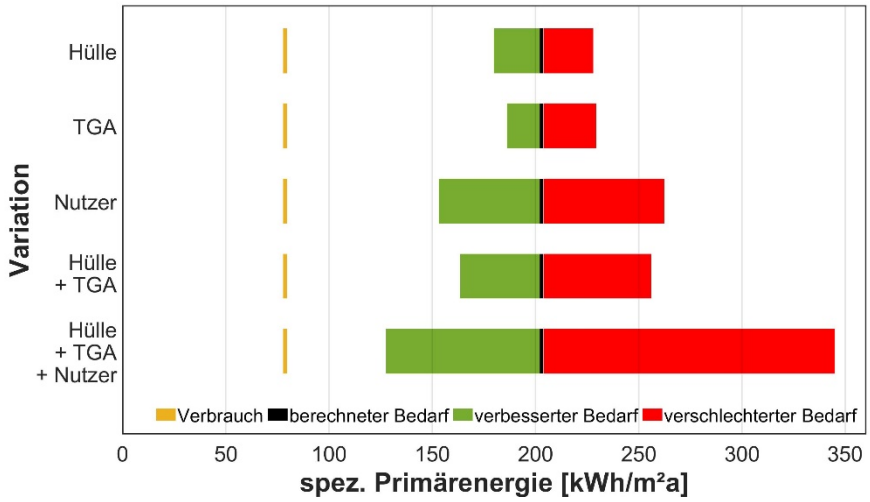

Abbildung 22: Einflussanalyse EFH G2 01

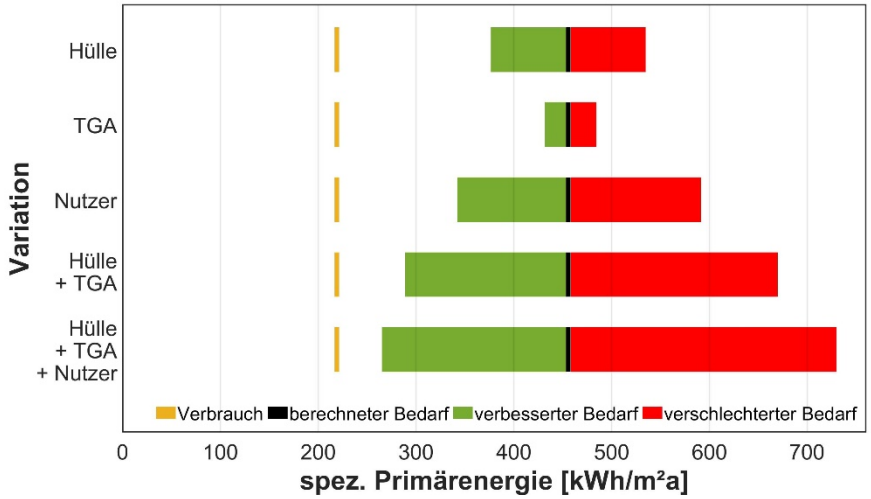

Abbildung 23: Einflussanalyse MFH G1 02

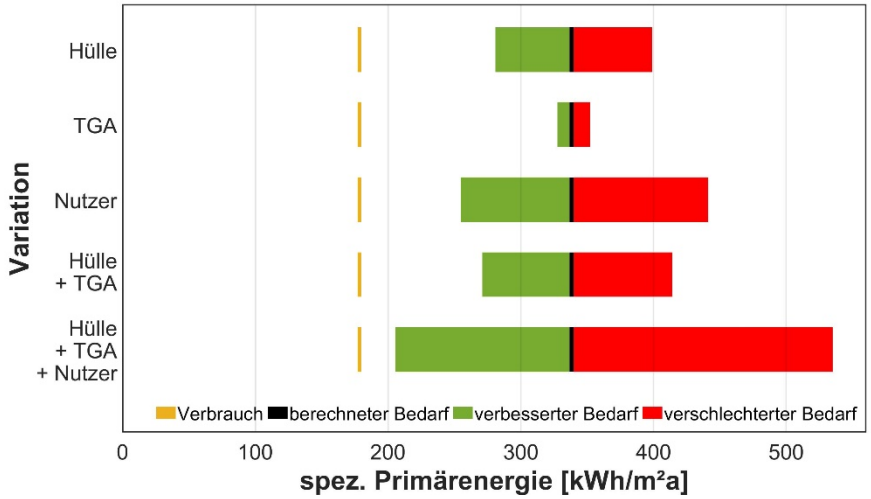

Abbildung 24: Einflussanalyse MFH G1 03

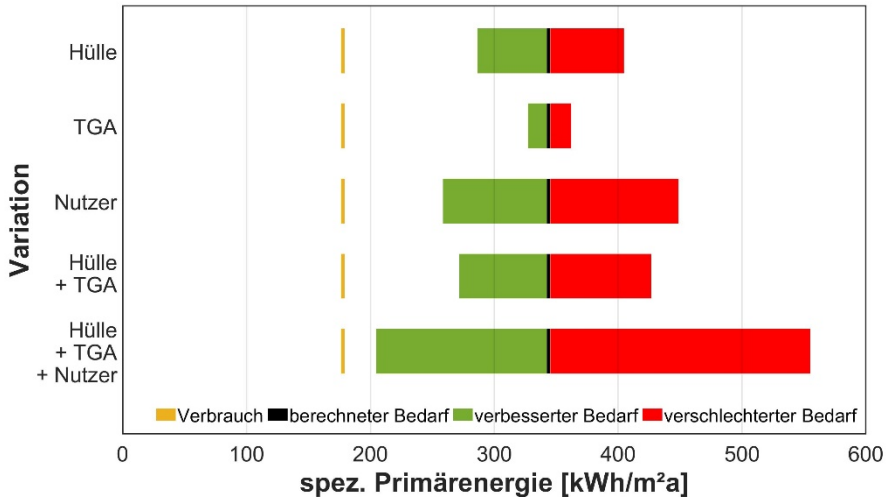

Abbildung 25: Einflussanalyse MFH G1 04

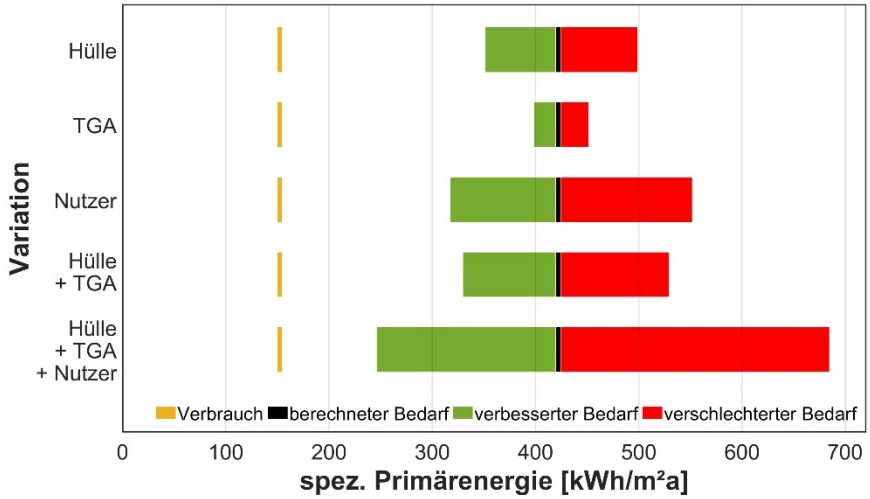

Abbildung 26: Einflussanalyse MFH G1 09

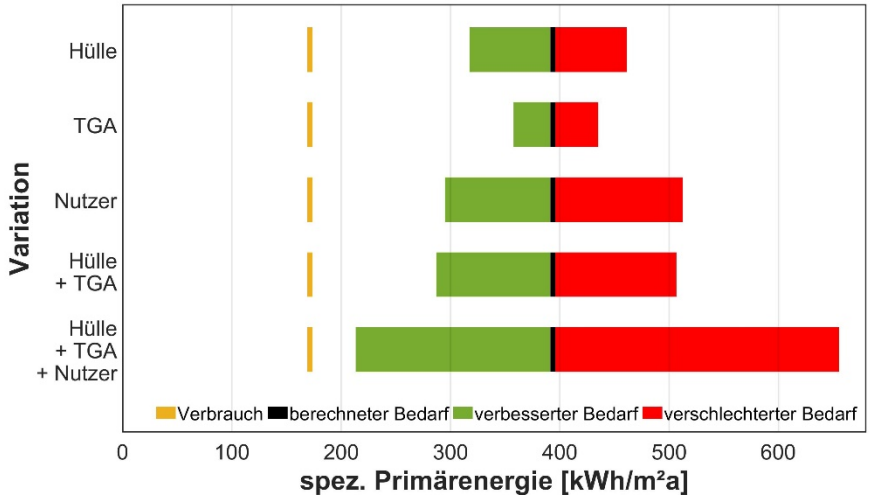

Abbildung 27: Einflussanalyse MFH G2 01

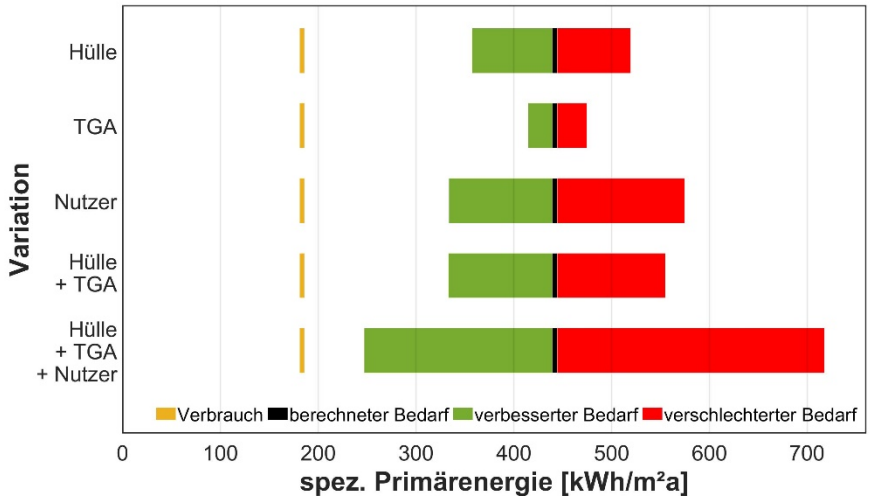

Abbildung 28: Einflussanalyse MFH G2 02

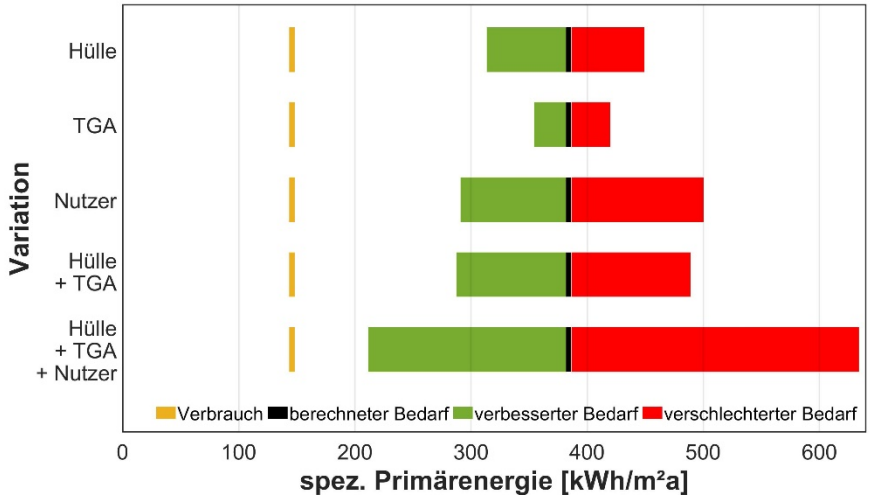

Abbildung 29: Einflussanalyse MFH G2 03

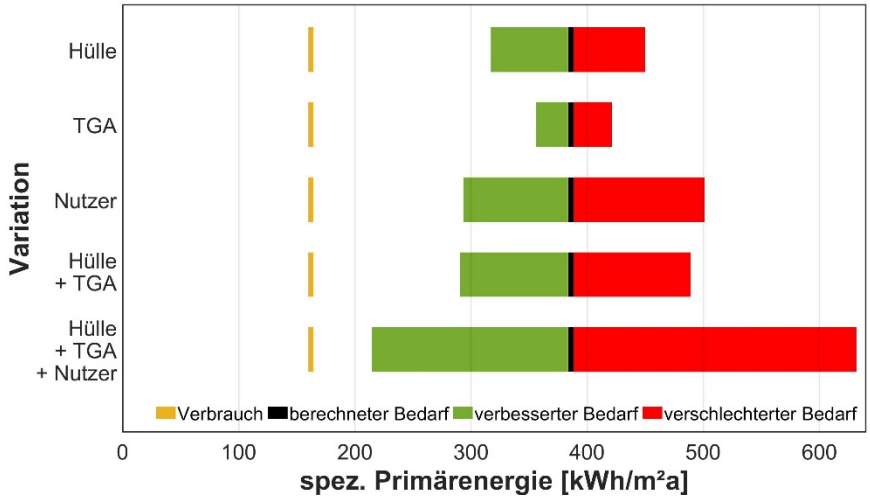

Abbildung 30: Einflussanalyse MFH G2 04

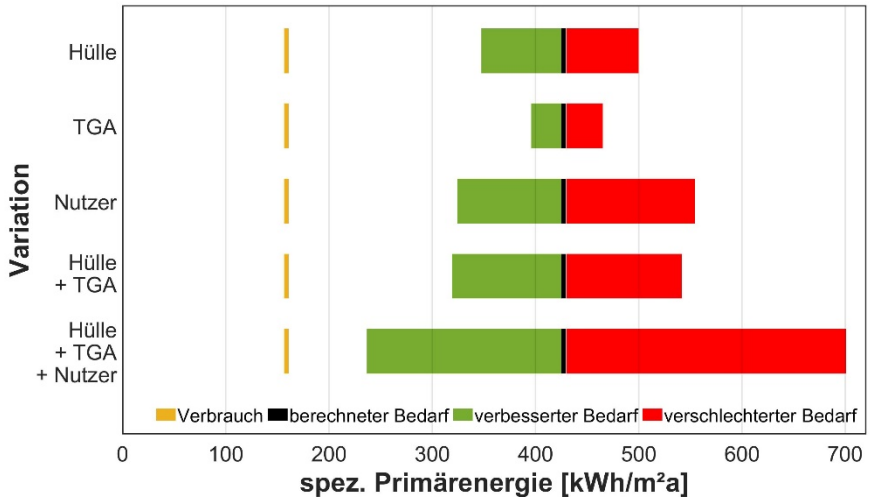

Abbildung 31: Einflussanalyse MFH G2 05

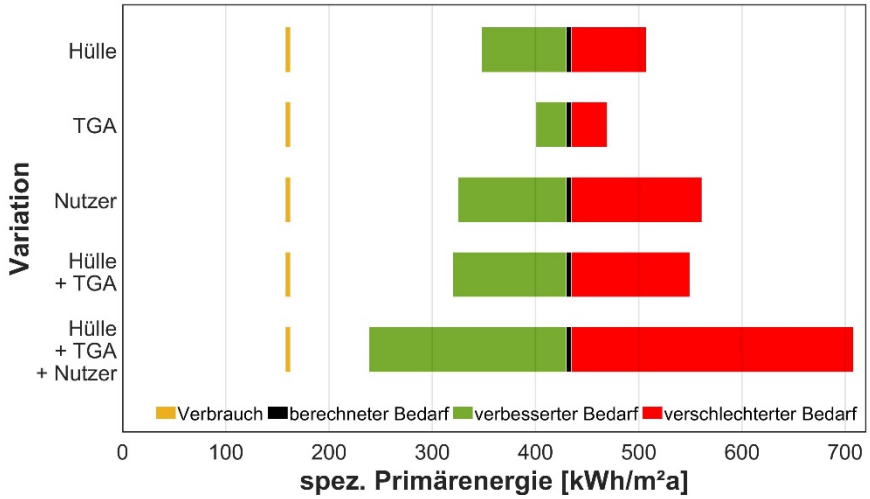

Abbildung 32: Einflussanalyse MFH G2 06

Die gezeigten Gebäude (Abbildung 19 bis Abbildung 32), für welche der Primärenergieverbrauch nicht nachvollzogen werden konnte, sind sowohl bei den Ein- als auch Mehrfamilienhäusern sowohl den Gebäudegruppen 1 und 2 zuzuordnen.

Somit kann durch die angesetzten energetisch positiveren Werte für Nutzer, Hülle und TGA der tatsächliche Verbrauch bei 9 Gebäuden der Gebäudegruppen 1 und 2 durch die Überlagerung aller Einflussgruppen nachvollzogen werden (Abbildung 10 bis Abbildung 18), für weitere 14 Gebäude in diesen Gruppen (Abbildung 19 bis Abbildung 32) kann der Verbrauch jedoch nicht komplett nachvollzogen werden. Es wird allerdings ersichtlich, dass sich durch das Ansetzen der energetisch positiveren Werte der Primärenergiebedarf dem Primärenergieverbrauch auch für letztere Gebäude stark annähert.

Der Grund, dass der Verbrauch trotz eines sparsamen Nutzerverhaltens, einer aus energetischer Sicht verbesserte Gebäudehülle sowie TGA nicht komplett nachvollzogen werden kann ist nicht abschließend geklärt. Zum einen könnte ein noch sparsameres Nutzerverhalten vorliegen, zum anderen die Gebäudehülle weiterhin deutlich unterschätzt sein. Bei den Mehrfamilienhäusern erscheint ein noch sparsamerer Nutzer als unwahrscheinlich, jedoch sollten die teilweise noch vorhandenen Einzelöfen in den Mehrfamilienhäusern an dieser Stelle noch Erwähnung finden, da hierdurch die Variation dieser TGA-Komponenten nur sehr reduziert möglich war. Für die Mehrfamilienhäuser liegt somit die Vermutung nah, dass eine Kombination aus weiterhin unterschätzter energetischer Qualität der Hülle sowie den TGA-Komponenten handelt. Für diese Gebäude wäre weiterer Forschungsbedarf im Sinne einer jeweiligen Einzeluntersuchung gegeben.

Bei den folgenden Abbildungen (Abbildung 33 bis Abbildung 35) handelt es sich um drei Gebäude der dritten Gruppe, in welcher der tatsächliche Verbrauch den Bedarf überschreitet. Es handelt sich hierbei ausschließlich um Gebäude der Gebäudegruppe 3.

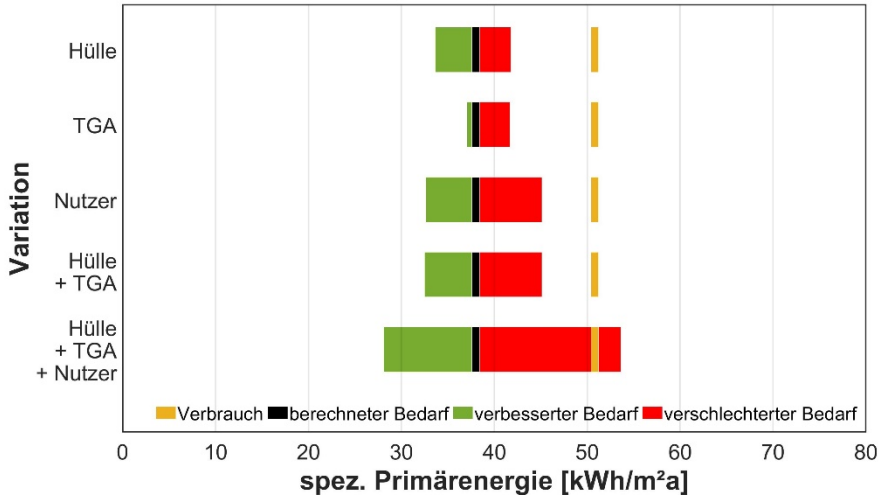

Abbildung 33: Einflussanalyse MFH G3 01

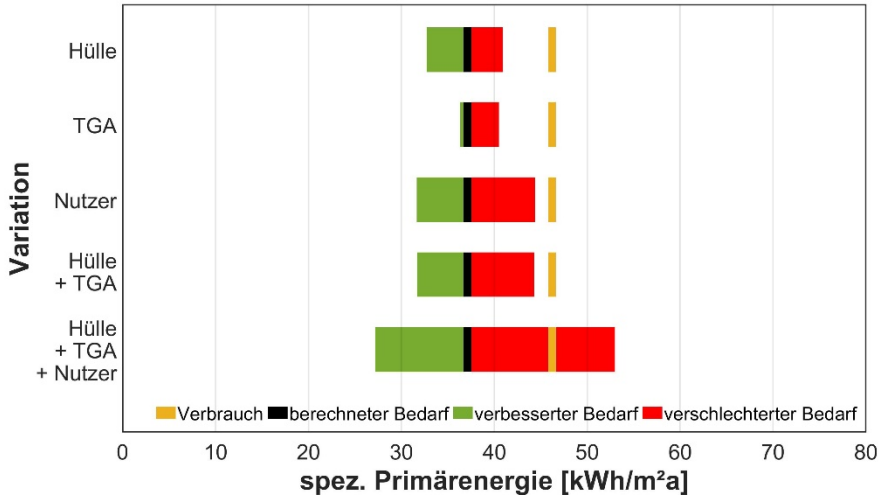

Abbildung 34 Einflussanalyse MFH G3 03

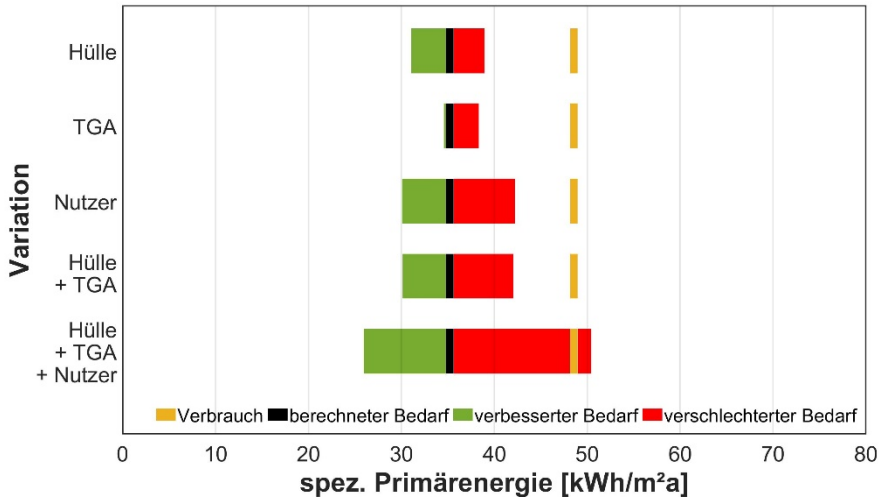

Abbildung 35 Einflussanalyse MFH G3 04

Bei diesen Gebäuden aus den Abbildung 33 bis Abbildung 35, welche alle aus der Gebäudegruppe 3 stammen, ist ersichtlich, dass lediglich durch die Annahme aller energetisch unvorteilhaften Variationen, der tatsächliche Verbrauch nachvollzogen werden kann. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass der Nutzer einen großen Einfluss hat, jedoch gerade die Überlagerung Hülle und TGA einen ähnlich großen Einfluss darstellt. Weiterhin wird ersichtlich, dass die absoluten Spannweiten der Einflussgruppen, in den energetisch guten Gebäuden der Gebäudegruppe 3, wesentlich geringer als in den Gebäudegruppen 1 und 2 sind. Dies ist unter anderem dem Umstand geschuldet, dass etwa die Variation des U-Wertes prozentual erfolgte. Dieses Vorgehen wurde jedoch gewählt, weil eine absolute Variation des U-Wertes um etwa 1 W/m²K bei, aus energetischer Sicht, guten Gebäuden einen sehr erheblichen Einfluss und bei, aus energetischer Sicht, schlechten Gebäuden einen wesentlich geringeren Einfluss hätte.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 36 bis Abbildung 39) beschreiben eine vierte Gruppe von 4 Gebäude, bei welchen der tatsächliche Verbrauch den Bedarf teilweise unter- aber auch überschreitet. Der Verbrauch dieser Gebäude kann jedoch quasi durch jede Einflussgruppe für sich bereits nachvollzogen werden.

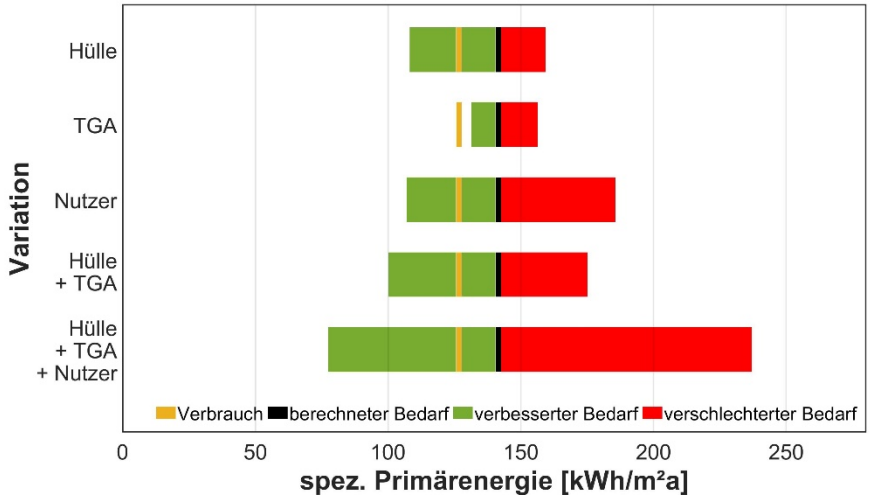

Abbildung 36: Einflussanalyse EFH G2 02

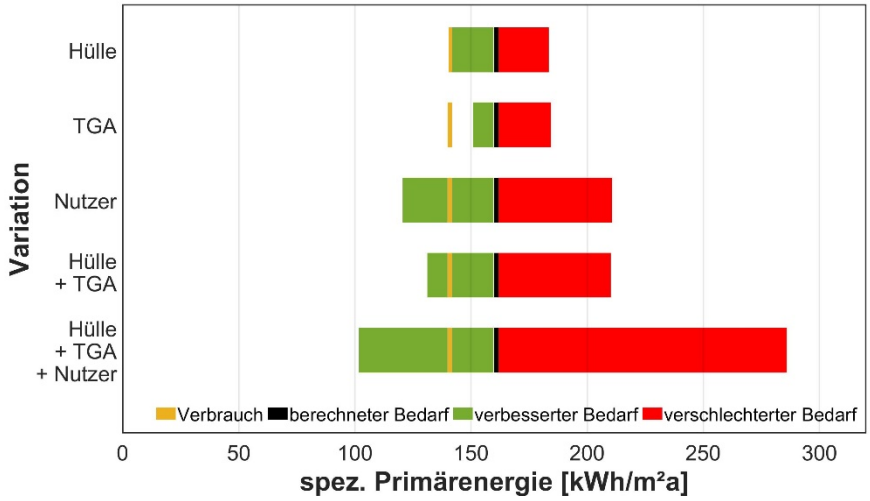

Abbildung 37: Einflussanalyse EFH G2 04

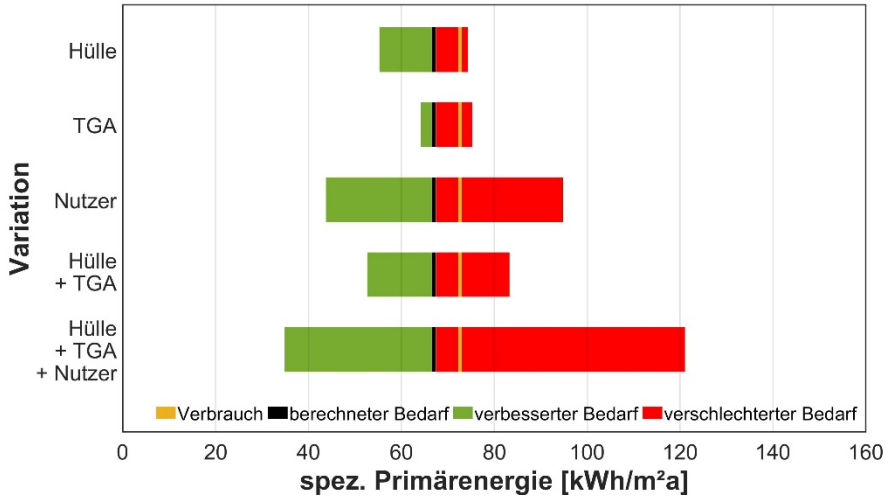

Abbildung 38: Einflussanalyse EFH G3 01

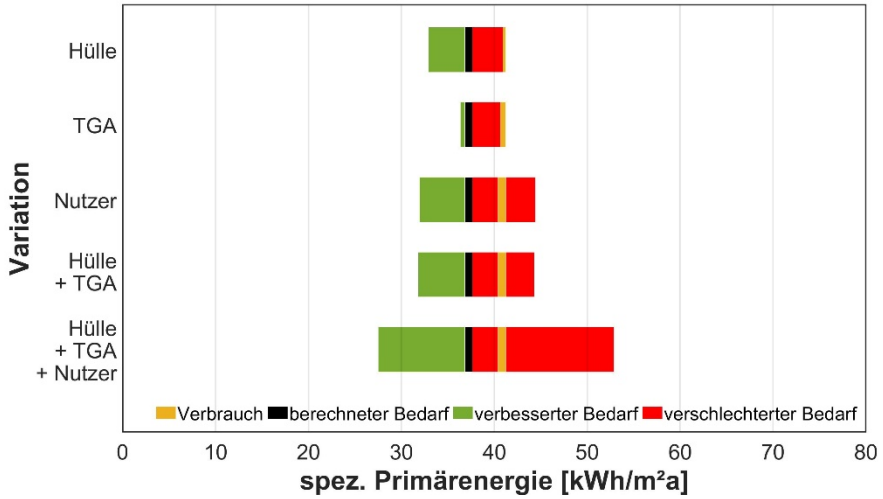

Abbildung 39: : Einflussanalyse MFH G3 02

Die Gebäude aus den Abbildung 36 bis Abbildung 39 sind aus den Gebäudegruppen 2 und 3. Einer der Gründe, dass der tatsächliche Verbrauch durch fast jede Einflussgruppe nachvollzogen werden kann, ist, dass die anfängliche Diskrepanz sehr gering ist. Dies könnte zum einen auf ein sehr EnEV-konformes Nutzerverhalten zurückzuführen sein. Jedoch sind gewisse Überlagerungseffekte der einzelnen Einflussfaktoren in und über die Gruppen hinweg nicht auszuschließen. Ebenfalls kann eine gute Datengrundlage hinsichtlich der Gebäudehülle und TGA, wie sie in der Gebäudegruppe 3 und teilweise in der Gebäudegruppe 2 vorlag, zur Verringerung der Diskrepanzen beitragen.

In Tabelle 12 sind zur Verdeutlichung alle Primärenergiewerte des Verbrauchs, des Bedarfs sowie die Ergebnisse der Variation der Gebäudehülle (Hülle), der technischen Gebäudeausrüstung (TGA), des Nutzereinflusses (Nutzer) sowie die Überlagerung Gebäudehülle und technische Gebäudeausrüstung und die Überlagerung aller drei Einflussgruppen Gebäudehülle, technische Gebäudeausrüstung und Nutzerverhalten für alle Gebäude dargestellt.

Tabelle 12: Gegenüberstellung der Primärenergiewerte von Verbrauch und Bedarf sowie den Variationen Hülle, TGA und Nutzer aller Gebäudegruppen

Gebäude	Verbrauch [kWh/m²a]	Bedarf [kWh/m²a]	Hülle [kWh/m²a]	TGA [kWh/m²a]	Nutzer [kWh/m²a]	Hülle + TGA [kWh/m²a]	Hülle + TGA + Nutzer [kWh/m²a]
EFH G1 01	194,5	454,7	377,1	413,3	339,3	348,9	260,8
EFH G1 02	99,7	180,3	148,1	159,3	126,6	134,4	96,6
EFH G1 03	140,3	228,0	194,0	209,4	169,4	178,2	138,1
EFH G1 04	106,2	188,4	163,4	173,1	139,5	150,0	116,3
EFH G1 05	172,0	304,4	249,9	276,8	226,8	227,4	174,7
EFH G2 01	79,7	203,9	179,6	186,1	153,1	163,5	127,5
EFH G2 02	127,7	142,5	108,1	131,3	106,9	100,1	77,4
EFH G2 03	86,9	141,6	122,7	128,5	102,3	111,8	82,0
EFH G2 04	141,9	161,8	140,3	150,8	120,5	131,0	101,7
EFH G3 01	73,0	67,4	74,4	75,4	94,8	83,3	121,1
EFH G3 02	61,9	90,5	73,0	86,3	64,0	69,6	47,6
MFH G1 01	171,9	238,1	208,2	227,7	184,9	159,2	144,2
MFH G1 02	221,3	452,8	376,4	431,5	342,1	288,8	264,9
MFH G1 03	179,9	339,7	280,8	327,5	254,8	270,9	205,3
MFH G1 04	179,2	345,3	286,3	327,2	258,5	271,7	204,6
MFH G1 05	150,3	272,2	223,2	239,4	198,7	197,2	145,0
MFH G1 06	175,3	260,0	213,0	225,8	189,0	188,6	138,2
MFH G1 07	228,1	287,3	234,8	257,2	209,1	213,0	157,7
MFH G1 08	127,7	222,7	194,2	195,2	168,5	165,0	121,7
MFH G1 09	154,5	424,3	351,0	398,4	317,5	329,7	246,2
MFH G1 10	155,8	286,5	235,8	268,4	211,8	221,7	164,6
MFH G2 01	173,8	395,9	317,1	357,6	294,6	286,7	213,0
MFH G2 02	185,8	444,4	357,1	414,6	333,4	332,9	246,9
MFH G2 03	148,1	386,5	313,5	354,2	290,7	287,3	211,3
MFH G2 04	164,6	388,3	317,0	356,1	293,4	290,6	214,7
MFH G2 05	161,0	429,8	347,4	395,6	324,1	318,8	236,3
MFH G2 06	162,5	434,6	348,0	400,7	325,1	319,9	239,1
MFH G2 07	111,4	282,2	224,7	267,2	210,2	213,1	157,5
MFH G2 08	121,4	340,8	266,7	317,4	248,4	255,1	190,1
MFH G2 09	122,6	325,5	257,1	305,5	242,1	244,1	181,0
MFH G3 01	51,2	38,5	41,8	41,7	45,1	45,1	53,6
MFH G3 02	41,2	37,7	40,9	40,7	44,4	44,3	52,9
MFH G3 03	46,6	37,6	40,9	40,5	44,4	44,3	53,0
MFH G3 04	49,0	35,7	39,0	38,3	42,2	42,1	50,5

Alle Gebäude wurden analog zu Tabelle 12 mit den Ergebnissen aus den Variationen entsprechend der Einflussgruppen 1-3 (Abbildung 40) und deren Überlagerung (Abbildung 41) in Diagrammen aufgetragen. Hierbei können die einzelnen Variationsschritte nachvollzogen werden. Für die Diagramme ist der spezifische Primärenergiebedarf auf der X-Achse und der spezifische Primärenergieverbrauch auf der Y-Achse aufgetragen. Der Fall, dass Bedarf und Verbrauch übereinstimmen, wird mit der orange gestrichelten Linie dargestellt. Die roten Punkte stellen hierbei die Referenzbedarfsrechnungen nach Kap. 5.2 dar. Die gelben Punkte bilden die Variation der Einflussgruppe Gebäudehülle ab. Die Variation der technischen Gebäudeausrüstung ist in Abbildung 40 mit den blauen Punkten hinterlegt. Die Einflussgruppe des Nutzers ist hierbei in grün dargestellt. Für die Überlagerung (Abbildung 41) der Einflussgruppen Gebäudehülle und TGA wurden lila Punkte gewählt und die Überlagerung aller drei Einflussgruppen (Hülle, TGA und Nutzer) ist mit den schwarzen Punkten markiert. Gerade die Trendlinien in den jeweils entsprechenden Farben zeigt, dass die Anpassung jeder Einflussgruppe für sich bereits eine Annäherung an die Übereinstimmungsgerade (orangene Linie) darstellt. Hierbei sollte erwähnt werden, dass die Trendlinie des Nutzers (grün) mit der Trendlinie der Überlagerung von Hülle und TGA (lila) in Abbildung 41 übereinanderliegen und somit einen etwa gleichbedeutenden Einfluss auf die Diskrepanz haben. Die Trendlinie der Überlagerung aller Einflussgruppen (schwarz) zeigt eine deutliche Minimierung der Diskrepanz gegenüber der Referenztrendlinie (rot).

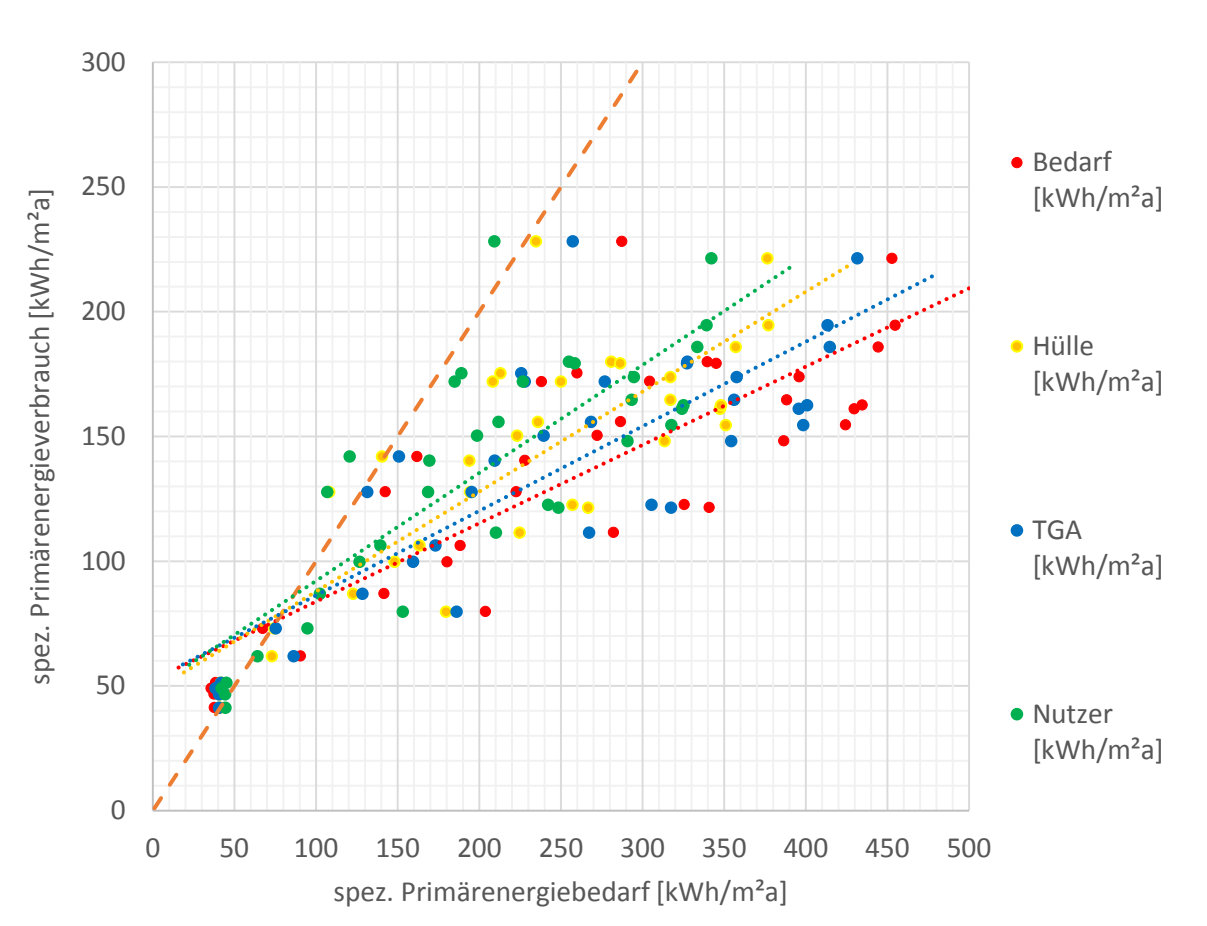

Abbildung 40: Variierte Bedarfswerte der Einflussgruppen im Vergleich zu den Referenzbedarfswerten

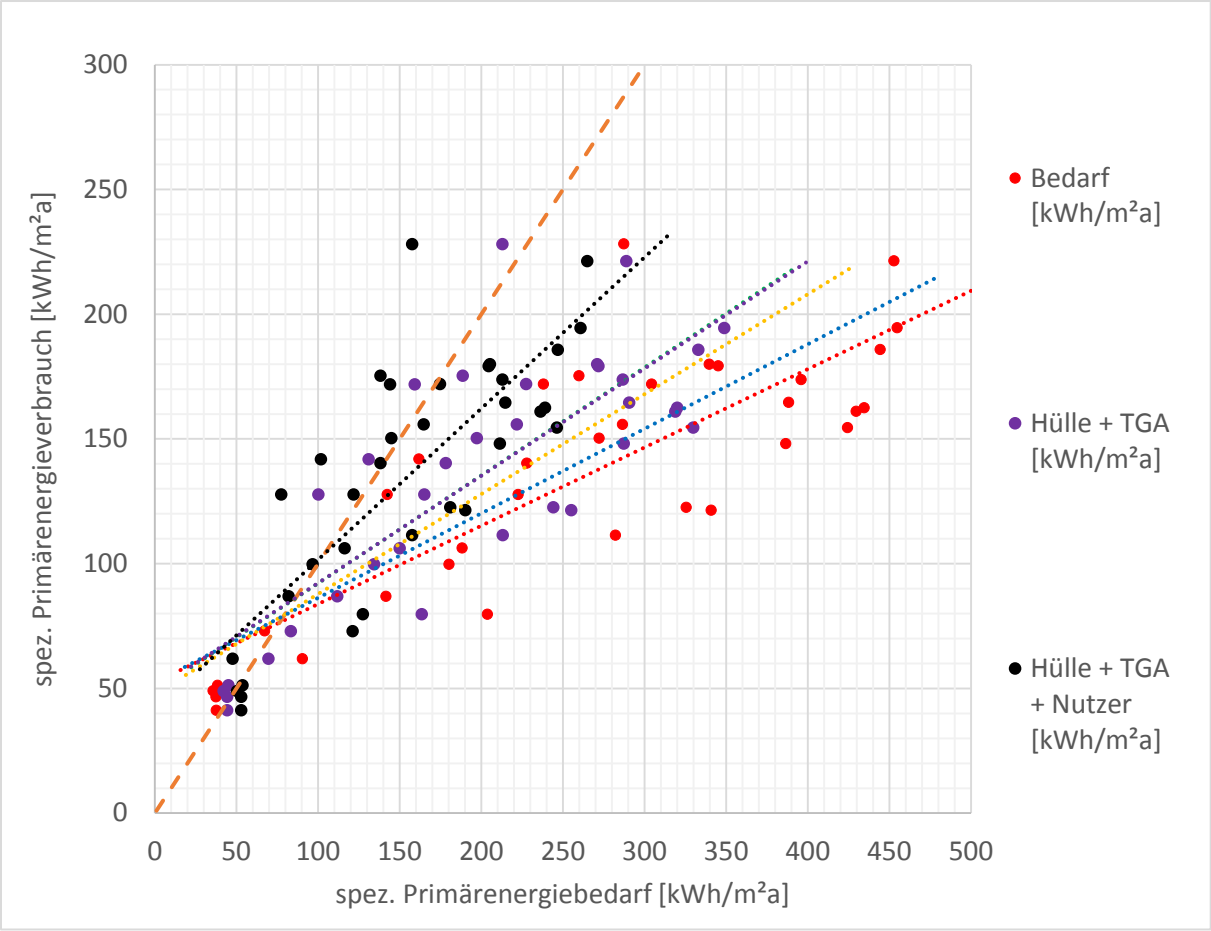

Abbildung 41: Variierte Bedarfswerte der Überlagerungen im Vergleich zu den Referenzbedarfswerten

Die Untersuchung der Einflussgruppen Nutzereinfluss, Gebäudehülle und TGA hat ergeben, dass unterschiedliche Kombinationen dieser Gruppen den tatsächlichen Verbrauch beschreiben können bzw. sich ihm stark annähern. Welches jedoch die wichtigsten Einflussfaktoren sind, kann durch diese Betrachtung nicht ermittelt werden. Daher ist eine Betrachtung des Einflusses einzelner Einflussfaktoren notwendig.

6.7 Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren in den Einflussgruppen 1-3

Um zu untersuchen, wie groß der Einfluss einzelner Faktoren der Einflussgruppen 1-3 auf den berechneten Primärenergiebedarf ist, werden diese nun einzeln variiert. Diese Variation erfolgt lediglich in Richtung des tatsächlichen Primärenergieverbrauchs, also z.B. bei höherem berechneten Primärenergiebedarf bezogen auf den Primärenergieverbrauch werden die Einflussfaktoren in eine, aus energetischer Sicht, negative Richtung variiert. Besonders für kleine prozentuale Abweichungen wird somit eine bessere Einschätzung, welcher Einflussfaktor für diese verantwortlich sein kann, erzielt. Hierbei gilt es festzuhalten, dass unterschiedliche Einflussfaktoren einer Gruppe gewisse Überlagerungseffekte mit anderen Einflussfaktoren der gleichen Gruppe haben können. Daher entsprechen die durch die Variation hervorgerufenen, prozentualen Abweichungen der Einzelfaktoren nicht in jedem Fall der Summe der prozentualen Abweichung der gesamten Einflussgruppe.

Hinsichtlich der Gebäudehülle bzw. der Wärmebrücken gibt Tabelle 13 eine Übersicht, bei welchen Gebäuden eine Verbesserung des Wärmebrückenzuschlags mit in die Variation aufgenommen wird.

Tabelle 13: Zuordnung der verbesserten Wärmebrückenzuschläge

Gruppe 1	ΔU_{WB} verbessert?	Gruppe 2	ΔU_{WB} verbessert?	Gruppe 3	ΔU_{WB} verbessert?
EFH					
EFH G1 01	nein	EFH G2 01	nein	EFH G3 01	ja
EFH G1 02	nein	EFH G2 02	ja	EFH G3 02	nein
EFH G1 03	nein	EFH G2 03	nein		
EFH G1 04	nein	EFH G2 04	nein		
EFH G1 05	nein				
MFH					
MFH G1 01	nein	MFH G2 01	nein	MFH G3 01	ja
MFH G1 02	nein	MFH G2 02	nein	MFH G3 02	ja
MFH G1 03	nein	MFH G2 03	nein	MFH G3 03	ja
MFH G1 04	nein	MFH G2 04	nein	MFH G3 04	ja
MFH G1 05	nein	MFH G2 05	nein		
MFH G1 06	nein	MFH G2 06	nein		
MFH G1 07	nein	MFH G2 07	nein		
MFH G1 08	nein	MFH G2 08	nein		
MFH G1 09	nein	MFH G2 09	nein		
MFH G1 10	nein				

Für die Infiltrationsluftwechselrate wird dies analog in Tabelle 14 dargestellt. Für beide Einflussfaktoren wurden die Gebäude erneut ausgewertet, ob die Gebäude in der Einzelbetrachtung für eine mögliche Verbesserung der jeweiligen Einflussfaktoren in Frage kommen.

Tabelle 14: Zuordnung der verbesserten Infiltrationsrate

Gruppe 1	n_{50} verbessert	Gruppe 2	n_{50} verbessert	Gruppe 3	n_{50} verbessert
EFH					
EFH G1 01	nein	EFH G2 01	nein	EFH G3 01	nein
EFH G1 02	ja	EFH G2 02	ja	EFH G3 02	ja
EFH G1 03	nein	EFH G2 03	nein		
EFH G1 04	nein	EFH G2 04	nein		
EFH G1 05	ja				
MFH					
MFH G1 01	nein	MFH G2 01	ja	MFH G3 01	nein
MFH G1 02	nein	MFH G2 02	ja	MFH G3 02	nein
MFH G1 03	nein	MFH G2 03	ja	MFH G3 03	nein
MFH G1 04	nein	MFH G2 04	ja	MFH G3 04	nein
MFH G1 05	nein	MFH G2 05	ja		
MFH G1 06	nein	MFH G2 06	ja		
MFH G1 07	nein	MFH G2 07	ja		
MFH G1 08	nein	MFH G2 08	ja		
MFH G1 09	nein	MFH G2 09	ja		
MFH G1 10	nein				

Für die Einordnung der Einflussgrößen, welche durch die Einflussparameter der TGA-Komponenten entstehen, wird in Tabelle 15 eine Übersicht über die Lage der TGA-Komponenten gegeben.

Tabelle 15: Übersicht über die Lage der TGA-Komponenten Erzeuger, Speicher und Verteilleitung

Gruppe 1	Lage TGA	Gruppe 2	Lage TGA2	Gruppe 3	Lage TGA3
EFH					
EFH G1 01	innerhalb	EFH G2 01	außerhalb	EFH G3 01	innerhalb
EFH G1 02	außerhalb	EFH G2 02	innerhalb	EFH G3 02	innerhalb
EFH G1 03	außerhalb	EFH G2 03	innerhalb		
EFH G1 04	außerhalb	EFH G2 04	innerhalb		
EFH G1 05	außerhalb				
MFH					
MFH G1 01	innerhalb	MFH G2 01	innerhalb	MFH G3 01	außerhalb
MFH G1 02	innerhalb	MFH G2 02	innerhalb	MFH G3 02	außerhalb
MFH G1 03	innerhalb	MFH G2 03	innerhalb	MFH G3 03	außerhalb
MFH G1 04	innerhalb	MFH G2 04	innerhalb	MFH G3 04	außerhalb
MFH G1 05	innerhalb	MFH G2 05	innerhalb		
MFH G1 06	innerhalb	MFH G2 06	innerhalb		
MFH G1 07	innerhalb	MFH G2 07	innerhalb		
MFH G1 08	außerhalb	MFH G2 08	innerhalb		
MFH G1 09	innerhalb	MFH G2 09	innerhalb		
MFH G1 10	innerhalb				

Die Lage der TGA-Komponenten hat direkten Einfluss auf die Einflussparameter Vor- und Rücklauftemperatur und den längenbezogenen U-Wert der Verteilleitungen. Liegen diese Komponenten innerhalb der thermischen Hülle werden die Wärmeverluste teilweise als Wärmequellen in der Bilanzierung betrachtet. Somit hat z.B. das Absenken der Vor- und Rücklauftemperatur einen sehr viel geringeren Einfluss auf die Wärmebilanz, wenn die Verluste innerhalb der thermischen Hülle anfallen.

In den folgenden Tabellen (Tabelle 16 bis Tabelle 23) sind die Änderungen der Bedarfsberechnungen durch den jeweiligen Einflussfaktor dargestellt. In den Spalten sind die Daten den jeweiligen Gebäuden zugeordnet. In den Zeilen wird zunächst der spezifische Primärenergiebedarf und der spezifische Primärenergieverbrauch sowie die prozentuale Abweichung des Primärenergiebedarfs bezogen auf den Verbrauch dargestellt. Weiter werden dann die einzelnen Einflussfaktoren drei Einflussgruppen genauer betrachtet. Für die Einflussgruppe Nutzer wird wie nach Kap. 6.3 beschrieben die mittlere Raumlufttemperatur (Temperatur), die Luftwechselrate (Luftwechsel) sowie die internen Wärmequellen (Interne WQ) zunächst separat variiert und der entsprechend variierte spezifische Primärenergiebedarf in den entsprechenden Zellen hinterlegt. Die sich, durch den jeweiligen Einflussfaktor ergebende Abweichung auf den spezifischen Primärenergieverbrauch ist in der jeweils darunterliegenden Zeile eingetragen. Als Abschluss der Variation des Nutzers werden die einzelnen Einflussfaktoren überlagert um somit den gesamten Nutzereinfluss (Nutzer gesamt) darzustellen. Die Variationen der Gebäudehülle (Hülle) wird wie in Kap. 6.4 beschrieben in die Einflussfaktoren U-Wert der Bodenplatte bzw. Kellerdecke (U-Wert Bopla), U-Werte der wärmeübertragenden Wände (U-Wert Wände), U-Werte des oberen Gebäudeabschlusses Dach bzw. oberste Geschossdecke (U-Wert Decke), U-Werte der transparenten Bauteile sowie der Türen (U-Wert Fenster) sowie den Wärmebrückenkorrekturfaktor (Delta UWB) und die Gebäudedichtheit (Infiltration) aufgeteilt. Die Werte werden analog zur Einflussgruppe Nutzer in der Tabelle hinterlegt und auch für die wärmeübertragende Umfassungsfläche (Hülle) wird der Gesamteinfluss der Gruppe (Hülle gesamt) hinterlegt. Bezüglich der Variation TGA wurde diese nach Kap. 6.5 in die Einflussfaktoren Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizkreislaufs (V / R Temp.) den Wirkungsgrad des Heizkessels sowohl bei Voll- als auch Teillast (Wirkungsgrad), die Einstellung bzw. Durchführung des hydraulischen Abgleichs (hyd. Abgleich), den längenbezogenen U-Wert der Verteilleitungen (U-Wert Leitung), Einstellung und Regelung der Pumpe (Pumpe) sowie die Regelung der thermisch wirksamen Übergabe (Übergabe) aufgeteilt. Für die Variation der Einflussgruppe TGA wurden die Werte analog zur Einflussgruppe Nutzer hinterlegt. Die Tabellen schließen dann mit der Variation der Überlagerung aller drei Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA ab. Die prozentualen Abweichungen der gesamten Überlagerung und die damit einhergehende Minimierung der Diskrepanzen wird über den Vergleich mit der ursprünglichen prozentualen Abweichung der Referenzvariante zum tatsächlichen Verbrauch ersichtlich.

Tabelle 16: Einflussfaktoren Einfamilienhäuser der Gruppe 1

Gebäude	EFH G1 01	EFH G1 02	EFH G1 03	EFH G1 04	EFH G1 05
Bedarf (Ref.)	455 kWh/m²a	180 kWh/m²a	228 kWh/m²a	188 kWh/m²a	304 kWh/m²a
Verbrauch	195 kWh/m²a	100 kWh/m²a	140 kWh/m²a	106 kWh/m²a	172 kWh/m²a
Abweichung	**133,8 %**	**80,8 %**	**62,5 %**	**77,4 %**	**77,0 %**
Variation Nutzer					
Temperatur	346 kWh/m²a	134 kWh/m²a	177 kWh/m²a	147 kWh/m²a	233 kWh/m²a
Abweichung	78,1 %	34,1 %	25,9 %	38,1 %	35,7 %
Luftwechsel	442 kWh/m²a	168 kWh/m²a	217 kWh/m²a	177 kWh/m²a	293 kWh/m²a
Abweichung	127,3 %	68,9 %	54,4 %	66,4 %	70,6 %
Interne WQ	457 kWh/m²a	182 kWh/m²a	229 kWh/m²a	190 kWh/m²a	306 kWh/m²a
Abweichung	134,9 %	82,4 %	63,3 %	78,6 %	77,9 %
Nutzer gesamt	339 kWh/m²a	127 kWh/m²a	169 kWh/m²a	139 kWh/m²a	227 kWh/m²a
Abweichung	74,4 %	27,0 %	20,8 %	31,3 %	31,8 %
Variation Hülle					
U-Wert Bopla	447 kWh/m²a	175 kWh/m²a	223 kWh/m²a	185 kWh/m²a	299 kWh/m²a
Abweichung	129,9 %	75,5 %	58,9 %	74,6 %	73,8 %
U-Wert Wände	427 kWh/m²a	172 kWh/m²a	216 kWh/m²a	179 kWh/m²a	275 kWh/m²a
Abweichung	119,8 %	72,0 %	54,1 %	68,6 %	60,1 %
U-Wert Decke	422 kWh/m²a	178 kWh/m²a	222 kWh/m²a	185 kWh/m²a	296 kWh/m²a
Abweichung	116,9 %	78,2 %	58,4 %	74,3 %	72,3 %
U-Wert Fenster	445 kWh/m²a	173 kWh/m²a	216 kWh/m²a	178 kWh/m²a	300 kWh/m²a
Abweichung	128,6 %	73,5 %	54,3 %	67,7 %	74,4 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Infiltration	nein	172 kWh/m²a	nein	nein	297 kWh/m²a
Abweichung	-	72,5 %	-	-	72,6 %
Hülle gesamt	377 kWh/m²a	148 kWh/m²a	194 kWh/m²a	163 kWh/m²a	250 kWh/m²a
Abweichung	93,9 %	48,6 %	38,3 %	53,8 %	45,3 %
Variation TGA					
V / R Temp.	451 kWh/m²a	175 kWh/m²a	225 kWh/m²a	186 kWh/m²a	300 kWh/m²a
Abweichung	132,1 %	75,6 %	60,3 %	75,5 %	74,6 %
Wirkungsgrad	438 kWh/m²a	174 kWh/m²a	221 kWh/m²a	182 kWh/m²a	294 kWh/m²a
Abweichung	125,4 %	74,4 %	57,3 %	71,6 %	71,0 %
hyd. Abgleich	440 kWh/m²a	177 kWh/m²a	224 kWh/m²a	185 kWh/m²a	299 kWh/m²a
Abweichung	126,1 %	77,6 %	59,8 %	74,6 %	74,0 %
U-Wert Leitung	455 kWh/m²a	176 kWh/m²a	227 kWh/m²a	187 kWh/m²a	303 kWh/m²a
Abweichung	134,0 %	76,4 %	61,5 %	75,8 %	75,9 %
Pumpe	454 kWh/m²a	180 kWh/m²a	228 kWh/m²a	188 kWh/m²a	304 kWh/m²a
Abweichung	133,5 %	80,4 %	62,4 %	77,2 %	76,8 %
Übergabe	448 kWh/m²a	177 kWh/m²a	225 kWh/m²a	186 kWh/m²a	297 kWh/m²a
Abweichung	130,1 %	77,8 %	60,0 %	74,8 %	72,8 %
TGA gesamt	413 kWh/m²a	159 kWh/m²a	209 kWh/m²a	173 kWh/m²a	277 kWh/m²a
Abweichung	112,5 %	59,8 %	49,3 %	63,0 %	60,9 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA					
Überlagerung	261 kWh/m²a	97 kWh/m²a	138 kWh/m²a	116 kWh/m²a	175 kWh/m²a
Abweichung	**34,1 %**	**-3,1 %**	**-1,5 %**	**9,5 %**	**1,5 %**

Tabelle 17: Einflussfaktoren Einfamilienhäuser der Gruppe 2

Gebäude	EFH G2 01	EFH G2 02	EFH G2 03	EFH G2 04
Bedarf (Ref.)	204 kWh/m²a	142 kWh/m²a	142 kWh/m²a	162 kWh/m²a
Verbrauch	80 kWh/m²a	128 kWh/m²a	87 kWh/m²a	142 kWh/m²a
Abweichung	**155,8 %**	**11,6 %**	**62,9 %**	**14,0 %**
Variation Nutzer				
Temperatur	159 kWh/m²a	113 kWh/m²a	109 kWh/m²a	127 kWh/m²a
Abweichung	100,0 %	-11,3 %	25,7 %	-10,5 %
Luftwechsel	194 kWh/m²a	132 kWh/m²a	130 kWh/m²a	151 kWh/m²a
Abweichung	143,4 %	3,7 %	49,9 %	6,7 %
Interne WQ	205 kWh/m²a	144 kWh/m²a	143 kWh/m²a	163 kWh/m²a
Abweichung	157,4 %	12,4 %	64,4 %	14,9 %
Nutzer	153 kWh/m²a	107 kWh/m²a	102 kWh/m²a	121 kWh/m²a
Abweichung	92,1 %	-16,3 %	17,7 %	-15,1 %
Variation Hülle				
U-Wert Bopla	201 kWh/m²a	139 kWh/m²a	140 kWh/m²a	159 kWh/m²a
Abweichung	152,5 %	9,1 %	61,7 %	12,3 %
U-Wert Wände	191 kWh/m²a	139 kWh/m²a	133 kWh/m²a	153 kWh/m²a
Abweichung	139,5 %	8,7 %	52,7 %	7,8 %
U-Wert Decke	200 kWh/m²a	139 kWh/m²a	139 kWh/m²a	158 kWh/m²a
Abweichung	151,5 %	8,8 %	59,5 %	11,0 %
U-Wert Fenster	199 kWh/m²a	136 kWh/m²a	136 kWh/m²a	156 kWh/m²a
Abweichung	149,5 %	6,3 %	56,1 %	9,7 %
Delta UWB	nein	132 kWh/m²a	nein	nein
Abweichung	-	3,4 %	-	-
Infiltration	nein	135 kWh/m²a	nein	nein
Abweichung	-	5,9 %	-	-
Hülle	180 kWh/m²a	108 kWh/m²a	123 kWh/m²a	140 kWh/m²a
Abweichung	125,4 %	-15,4 %	41,2 %	-1,1 %
Variation TGA				
V / R Temp.	201 kWh/m²a	142 kWh/m²a	140 kWh/m²a	161 kWh/m²a
Abweichung	152,5 %	11,0 %	61,3 %	13,3 %
Wirkungsgrad	198 kWh/m²a	138 kWh/m²a	137 kWh/m²a	157 kWh/m²a
Abweichung	147,8 %	8,3 %	57,7 %	10,5 %
hyd. Abgleich	201 kWh/m²a	140 kWh/m²a	138 kWh/m²a	159 kWh/m²a
Abweichung	152,3 %	9,5 %	58,4 %	12,3 %
U-Wert Leitung	201 kWh/m²a	142 kWh/m²a	142 kWh/m²a	162 kWh/m²a
Abweichung	152,6 %	11,1 %	63,0 %	13,8 %
Pumpe	204 kWh/m²a	142 kWh/m²a	140 kWh/m²a	162 kWh/m²a
Abweichung	155,6 %	11,3 %	61,6 %	13,9 %
Übergabe	200 kWh/m²a	140 kWh/m²a	140 kWh/m²a	160 kWh/m²a
Abweichung	150,8 %	9,5 %	60,8 %	12,4 %
TGA	186 kWh/m²a	131 kWh/m²a	129 kWh/m²a	151 kWh/m²a
Abweichung	133,5 %	2,8 %	47,9 %	6,3 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA				
Überlagerung	127 kWh/m²a	77 kWh/m²a	82 kWh/m²a	102 kWh/m²a
Abweichung	**59,9 %**	**-39,4 %**	**-5,6 %**	**-28,4 %**

Tabelle 18: Einflussfaktoren Einfamilienhäuser der Gruppe 3

Gebäude	EFH G3 01	EFH G3 02
Bedarf (Ref.)	67 kWh/m²a	90 kWh/m²a
Verbrauch	73 kWh/m²a	62 kWh/m²a
Abweichung	**-7,7 %**	**46,2 %**
Variation Nutzer		
Temperatur	88 kWh/m²a	70 kWh/m²a
Abweichung	20,9 %	13,2 %
Luftwechsel	73 kWh/m²a	81 kWh/m²a
Abweichung	0,4 %	30,6 %
Interne WQ	66 kWh/m²a	92 kWh/m²a
Abweichung	-9,5 %	47,9 %
Nutzer	95 kWh/m²a	64 kWh/m²a
Abweichung	29,8 %	3,4 %
Variation Hülle		
U-Wert Bopla	68 kWh/m²a	89 kWh/m²a
Abweichung	-6,8 %	43,3 %
U-Wert Wände	70 kWh/m²a	88 kWh/m²a
Abweichung	-4,3 %	41,6 %
U-Wert Decke	69 kWh/m²a	88 kWh/m²a
Abweichung	-5,8 %	42,8 %
U-Wert Fenster	70 kWh/m²a	86 kWh/m²a
Abweichung	-4,3 %	39,7 %
Delta UWB	nein	nein
Abweichung	-	-
Infiltration	nein	83 kWh/m²a
Abweichung	-	34,8 %
Hülle	74 kWh/m²a	73 kWh/m²a
Abweichung	1,9 %	17,9 %
Variation TGA		
V / R Temp.	68 kWh/m²a	nein
Abweichung	-7,4 %	-
Wirkungsgrad	70 kWh/m²a	88 kWh/m²a
Abweichung	-4,8 %	41,5 %
hyd. Abgleich	69 kWh/m²a	nein
Abweichung	-4,8 %	-
U-Wert Leitung	67 kWh/m²a	90 kWh/m²a
Abweichung	-7,7 %	46,1 %
Pumpe	70 kWh/m²a	90 kWh/m²a
Abweichung	-4,2 %	45,1 %
Übergabe	69 kWh/m²a	90 kWh/m²a
Abweichung	-5,6 %	45,2 %
TGA	75 kWh/m²a	86 kWh/m²a
Abweichung	3,2 %	39,4 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA		
Überlagerung	121 kWh/m²a	48 kWh/m²a
Abweichung	**65,9 %**	**-23,2 %**

Tabelle 19: Einflussfaktoren Mehrfamilienhäuser der Gruppe 1 Teil 1

Gebäude	MFH G1 01	MFH G1 02	MFH G1 03	MFH G1 04	MFH G1 05
Bedarf (Ref.)	247 kWh/m²a	458 kWh/m²a	340 kWh/m²a	345 kWh/m²a	272 kWh/m²a
Verbrauch	172 kWh/m²a	221 kWh/m²a	180 kWh/m²a	180 kWh/m²a	150 kWh/m²a
Abweichung	**43,7 %**	**107,0 %**	**88,8 %**	**91,9 %**	**81,1 %**
Variation Nutzer					
Temperatur	192 kWh/m²a	350 kWh/m²a	262 kWh/m²a	266 kWh/m²a	206 kWh/m²a
Abweichung	11,6 %	58,0 %	45,6 %	47,7 %	37,3 %
Luftwechsel	234 kWh/m²a	444 kWh/m²a	326 kWh/m²a	331 kWh/m²a	258 kWh/m²a
Abweichung	35,9 %	100,6 %	81,3 %	84,1 %	71,8 %
Interne WQ	250 kWh/m²a	462 kWh/m²a	343 kWh/m²a	349 kWh/m²a	275 kWh/m²a
Abweichung	45,6 %	108,6 %	90,5 %	93,8 %	83,1 %
Nutzer	185 kWh/m²a	342 kWh/m²a	255 kWh/m²a	258 kWh/m²a	199 kWh/m²a
Abweichung	7,6 %	54,6 %	41,6 %	43,7 %	32,2 %
Variation Hülle					
U-Wert Bopla	241 kWh/m²a	438 kWh/m²a	326 kWh/m²a	332 kWh/m²a	268 kWh/m²a
Abweichung	40,3 %	97,7 %	81,2 %	84,6 %	78,3 %
U-Wert Wände	234 kWh/m²a	422 kWh/m²a	312 kWh/m²a	316 kWh/m²a	248 kWh/m²a
Abweichung	35,9 %	90,9 %	73,4 %	75,9 %	64,7 %
U-Wert Decke	241 kWh/m²a	429 kWh/m²a	332 kWh/m²a	339 kWh/m²a	265 kWh/m²a
Abweichung	40,3 %	94,0 %	84,7 %	88,3 %	76,5 %
U-Wert Fenster	234 kWh/m²a	443 kWh/m²a	329 kWh/m²a	335 kWh/m²a	259 kWh/m²a
Abweichung	35,9 %	100,1 %	82,9 %	86,1 %	72,2 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Infiltration	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Hülle	208 kWh/m²a	376 kWh/m²a	281 kWh/m²a	286 kWh/m²a	223 kWh/m²a
Abweichung	21,1 %	70,1 %	56,1 %	59,2 %	48,5 %
Variation TGA					
V / R Temp.	246 kWh/m²a	454 kWh/m²a	338 kWh/m²a	343 kWh/m²a	268 kWh/m²a
Abweichung	42,9 %	105,0 %	87,8 %	90,4 %	78,6 %
Wirkungsgrad	239 kWh/m²a	448 kWh/m²a	335 kWh/m²a	339 kWh/m²a	263 kWh/m²a
Abweichung	39,0 %	102,4 %	86,2 %	88,2 %	75,1 %
hyd. Abgleich	240 kWh/m²a	449 kWh/m²a	336 kWh/m²a	339 kWh/m²a	268 kWh/m²a
Abweichung	39,8 %	103,1 %	86,5 %	88,5 %	78,2 %
U-Wert Leitung	247 kWh/m²a	nein	nein	nein	272 kWh/m²a
Abweichung	43,9 %	-	-	-	81,2 %
Pumpe	247 kWh/m²a	458 kWh/m²a	340 kWh/m²a	345 kWh/m²a	270 kWh/m²a
Abweichung	43,6 %	107,0 %	88,8 %	91,9 %	79,9 %
Übergabe	244 kWh/m²a	454 kWh/m²a	338 kWh/m²a	342 kWh/m²a	258 kWh/m²a
Abweichung	41,8 %	105,2 %	87,7 %	90,3 %	71,7 %
TGA	228 kWh/m²a	432 kWh/m²a	327 kWh/m²a	327 kWh/m²a	239 kWh/m²a
Abweichung	32,5 %	95,0 %	82,0 %	81,9 %	59,3 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA					
Überlagerung	144 kWh/m²a	265 kWh/m²a	205 kWh/m²a	205 kWh/m²a	145 kWh/m²a
Abweichung	**-16,1 %**	**19,7 %**	**14,1 %**	**13,7 %**	**-3,5 %**

Tabelle 20: Einflussfaktoren Mehrfamilienhäuser der Gruppe 1 Teil 2

Gebäude	MFH G1 06	MFH G1 07	MFH G1 08	MFH G1 09	MFH G1 10
Bedarf (Ref.)	260 kWh/m²a	287 kWh/m²a	223 kWh/m²a	424 kWh/m²a	287 kWh/m²a
Verbrauch	175 kWh/m²a	228 kWh/m²a	128 kWh/m²a	155 kWh/m²a	156 kWh/m²a
Abweichung	**48,3 %**	**25,9 %**	**74,4 %**	**174,7 %**	**83,9 %**
Variation Nutzer					
Temperatur	197 kWh/m²a	217 kWh/m²a	176 kWh/m²a	325 kWh/m²a	219 kWh/m²a
Abweichung	12,2 %	-4,9 %	38,0 %	110,2 %	40,4 %
Luftwechsel	246 kWh/m²a	273 kWh/m²a	215 kWh/m²a	410 kWh/m²a	272 kWh/m²a
Abweichung	40,1 %	19,6 %	68,6 %	165,6 %	74,7 %
Interne WQ	263 kWh/m²a	290 kWh/m²a	233 kWh/m²a	428 kWh/m²a	289 kWh/m²a
Abweichung	50,0 %	27,3 %	82,3 %	176,8 %	85,7 %
Nutzer	189 kWh/m²a	209 kWh/m²a	169 kWh/m²a	318 kWh/m²a	212 kWh/m²a
Abweichung	7,8 %	-8,3 %	32,0 %	105,5 %	35,9 %
Variation Hülle					
U-Wert Bopla	256 kWh/m²a	283 kWh/m²a	219 kWh/m²a	409 kWh/m²a	279 kWh/m²a
Abweichung	45,8 %	24,0 %	71,6 %	165,0 %	78,8 %
U-Wert Wände	238 kWh/m²a	260 kWh/m²a	208 kWh/m²a	383 kWh/m²a	264 kWh/m²a
Abweichung	36,0 %	14,2 %	62,9 %	147,9 %	69,6 %
U-Wert Decke	253 kWh/m²a	280 kWh/m²a	221 kWh/m²a	416 kWh/m²a	276 kWh/m²a
Abweichung	44,2 %	22,8 %	72,8 %	169,6 %	77,2 %
U-Wert Fenster	246 kWh/m²a	273 kWh/m²a	210 kWh/m²a	415 kWh/m²a	275 kWh/m²a
Abweichung	40,2 %	19,7 %	64,6 %	168,7 %	76,2 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Infiltration	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Hülle	213 kWh/m²a	235 kWh/m²a	194 kWh/m²a	351 kWh/m²a	236 kWh/m²a
Abweichung	21,5 %	2,9 %	52,1 %	127,2 %	51,4 %
Variation TGA					
V / R Temp.	257 kWh/m²a	284 kWh/m²a	217 kWh/m²a	420 kWh/m²a	284 kWh/m²a
Abweichung	46,5 %	24,3 %	70,2 %	171,8 %	82,2 %
Wirkungsgrad	251 kWh/m²a	286 kWh/m²a	215 kWh/m²a	415 kWh/m²a	280 kWh/m²a
Abweichung	43,3 %	25,4 %	68,6 %	168,7 %	79,8 %
hyd. Abgleich	252 kWh/m²a	278 kWh/m²a	216 kWh/m²a	416 kWh/m²a	281 kWh/m²a
Abweichung	43,8 %	22,0 %	69,0 %	169,0 %	80,1 %
U-Wert Leitung	260 kWh/m²a	288 kWh/m²a	219 kWh/m²a	nein	nein
Abweichung	48,5 %	26,2 %	71,7 %	-	-
Pumpe	258 kWh/m²a	285 kWh/m²a	221 kWh/m²a	424 kWh/m²a	286 kWh/m²a
Abweichung	47,3 %	25,1 %	73,1 %	174,6 %	83,4 %
Übergabe	247 kWh/m²a	272 kWh/m²a	211 kWh/m²a	420 kWh/m²a	284 kWh/m²a
Abweichung	40,7 %	19,3 %	65,2 %	172,0 %	82,1 %
TGA	226 kWh/m²a	257 kWh/m²a	195 kWh/m²a	398 kWh/m²a	268 kWh/m²a
Abweichung	28,8 %	12,8 %	52,9 %	157,8 %	72,3 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA					
Überlagerung	138 kWh/m²a	158 kWh/m²a	122 kWh/m²a	246 kWh/m²a	165 kWh/m²a
Abweichung	**-21,2 %**	**-30,9 %**	**-4,7 %**	**59,3 %**	**5,7 %**

Tabelle 21: Einflussfaktoren Mehrfamilienhäuser der Gruppe 2 Teil 1

Gebäude	MFH G2 01	MFH G2 02	MFH G2 03	MFH G2 04	MFH G2 05
Bedarf (Ref.)	396 kWh/m²a	444 kWh/m²a	386 kWh/m²a	388 kWh/m²a	430 kWh/m²a
Verbrauch	174 kWh/m²a	186 kWh/m²a	148 kWh/m²a	165 kWh/m²a	161 kWh/m²a
Abweichung	**127,8 %**	**139,2 %**	**161,0 %**	**135,9 %**	**166,9 %**
Variation Nutzer					
Temperatur	302 kWh/m²a	340 kWh/m²a	297 kWh/m²a	300 kWh/m²a	331 kWh/m²a
Abweichung	73,6 %	83,2 %	100,7 %	82,2 %	105,6 %
Luftwechsel	382 kWh/m²a	430 kWh/m²a	373 kWh/m²a	376 kWh/m²a	417 kWh/m²a
Abweichung	119,8 %	131,7 %	152,2 %	128,2 %	158,8 %
Interne WQ	399 kWh/m²a	448 kWh/m²a	390 kWh/m²a	392 kWh/m²a	433 kWh/m²a
Abweichung	129,9 %	141,1 %	163,3 %	138,0 %	169,1 %
Nutzer	295 kWh/m²a	333 kWh/m²a	291 kWh/m²a	293 kWh/m²a	324 kWh/m²a
Abweichung	69,5 %	79,5 %	96,3 %	78,3 %	101,3 %
Variation Hülle					
U-Wert Bopla	385 kWh/m²a	431 kWh/m²a	374 kWh/m²a	376 kWh/m²a	418 kWh/m²a
Abweichung	121,8 %	132,2 %	152,8 %	128,7 %	159,4 %
U-Wert Wände	366 kWh/m²a	405 kWh/m²a	358 kWh/m²a	360 kWh/m²a	394 kWh/m²a
Abweichung	110,6 %	118,2 %	141,7 %	119,0 %	144,5 %
U-Wert Decke	379 kWh/m²a	430 kWh/m²a	373 kWh/m²a	375 kWh/m²a	416 kWh/m²a
Abweichung	117,8 %	131,4 %	151,9 %	128,0 %	158,5 %
U-Wert Fenster	388 kWh/m²a	433 kWh/m²a	378 kWh/m²a	380 kWh/m²a	420 kWh/m²a
Abweichung	123,4 %	133,2 %	155,0 %	130,7 %	160,8 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Infiltration	386 kWh/m²a	435 kWh/m²a	378 kWh/m²a	380 kWh/m²a	421 kWh/m²a
Abweichung	122,3 %	134,1 %	155,0 %	130,7 %	161,4 %
Hülle	317 kWh/m²a	357 kWh/m²a	314 kWh/m²a	317 kWh/m²a	347 kWh/m²a
Abweichung	82,4 %	92,2 %	111,7 %	92,6 %	115,8 %
Variation TGA					
V / R Temp.	390 kWh/m²a	440 kWh/m²a	381 kWh/m²a	383 kWh/m²a	424 kWh/m²a
Abweichung	124,6 %	136,6 %	157,3 %	132,5 %	163,6 %
Wirkungsgrad	382 kWh/m²a	433 kWh/m²a	374 kWh/m²a	376 kWh/m²a	416 kWh/m²a
Abweichung	119,6 %	133,1 %	152,6 %	128,3 %	158,7 %
hyd. Abgleich	383 kWh/m²a	434 kWh/m²a	376 kWh/m²a	378 kWh/m²a	418 kWh/m²a
Abweichung	120,2 %	133,8 %	153,8 %	129,6 %	159,9 %
U-Wert Leitung	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-	-
Pumpe	396 kWh/m²a	444 kWh/m²a	386 kWh/m²a	388 kWh/m²a	430 kWh/m²a
Abweichung	127,7 %	139,1 %	160,9 %	135,8 %	166,8 %
Übergabe	390 kWh/m²a	440 kWh/m²a	381 kWh/m²a	383 kWh/m²a	424 kWh/m²a
Abweichung	124,2 %	136,6 %	157,5 %	132,9 %	163,6 %
TGA	358 kWh/m²a	415 kWh/m²a	354 kWh/m²a	356 kWh/m²a	396 kWh/m²a
Abweichung	105,7 %	123,2 %	139,2 %	116,4 %	145,7 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA					
Überlagerung	213 kWh/m²a	247 kWh/m²a	211 kWh/m²a	215 kWh/m²a	236 kWh/m²a
Abweichung	**22,5 %**	**32,9 %**	**42,7 %**	**30,4 %**	**46,8 %**

Tabelle 22: Einflussfaktoren Mehrfamilienhäuser der Gruppe 2 Teil 2

Gebäude	MFH G2 06	MFH G2 07	MFH G2 08	MFH G2 09
Bedarf (Ref.)	435 kWh/m²a	282 kWh/m²a	341 kWh/m²a	325 kWh/m²a
Verbrauch	163 kWh/m²a	111 kWh/m²a	121 kWh/m²a	123 kWh/m²a
Abweichung	**167,5 %**	**153,3 %**	**180,7 %**	**165,5 %**
Variation Nutzer				
Temperatur	333 kWh/m²a	217 kWh/m²a	255 kWh/m²a	249 kWh/m²a
Abweichung	104,6 %	94,9 %	110,4 %	103,2 %
Luftwechsel	420 kWh/m²a	268 kWh/m²a	319 kWh/m²a	311 kWh/m²a
Abweichung	158,5 %	141,0 %	162,8 %	153,4 %
Interne WQ	438 kWh/m²a	286 kWh/m²a	337 kWh/m²a	328 kWh/m²a
Abweichung	169,6 %	156,4 %	177,6 %	167,9 %
Nutzer	325 kWh/m²a	210 kWh/m²a	248 kWh/m²a	242 kWh/m²a
Abweichung	100,0 %	88,7 %	104,6 %	97,5 %
Variation Hülle				
U-Wert Bopla	419 kWh/m²a	272 kWh/m²a	321 kWh/m²a	312 kWh/m²a
Abweichung	157,9 %	144,5 %	164,2 %	154,7 %
U-Wert Wände	391 kWh/m²a	261 kWh/m²a	311 kWh/m²a	303 kWh/m²a
Abweichung	140,5 %	134,2 %	155,8 %	147,5 %
U-Wert Decke	426 kWh/m²a	274 kWh/m²a	318 kWh/m²a	309 kWh/m²a
Abweichung	162,4 %	145,5 %	161,6 %	152,2 %
U-Wert Fenster	425 kWh/m²a	276 kWh/m²a	327 kWh/m²a	318 kWh/m²a
Abweichung	161,7 %	147,7 %	169,6 %	159,5 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-
Infiltration	425 kWh/m²a	273 kWh/m²a	323 kWh/m²a	315 kWh/m²a
Abweichung	161,3 %	145,2 %	166,4 %	156,9 %
Hülle	348 kWh/m²a	225 kWh/m²a	267 kWh/m²a	257 kWh/m²a
Abweichung	114,1 %	101,7 %	119,7 %	109,7 %
Variation TGA				
V / R Temp.	429 kWh/m²a	280 kWh/m²a	337 kWh/m²a	323 kWh/m²a
Abweichung	164,2 %	151,1 %	177,4 %	163,2 %
Wirkungsgrad	424 kWh/m²a	277 kWh/m²a	333 kWh/m²a	314 kWh/m²a
Abweichung	160,7 %	148,4 %	174,0 %	155,9 %
hyd. Abgleich	422 kWh/m²a	277 kWh/m²a	333 kWh/m²a	319 kWh/m²a
Abweichung	159,7 %	148,8 %	174,4 %	160,1 %
U-Wert Leitung	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-
Pumpe	434 kWh/m²a	282 kWh/m²a	340 kWh/m²a	325 kWh/m²a
Abweichung	167,4 %	153,1 %	179,9 %	164,7 %
Übergabe	429 kWh/m²a	280 kWh/m²a	337 kWh/m²a	322 kWh/m²a
Abweichung	163,7 %	151,1 %	177,7 %	163,0 %
TGA	401 kWh/m²a	267 kWh/m²a	317 kWh/m²a	305 kWh/m²a
Abweichung	146,6 %	139,8 %	161,4 %	149,2 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA				
Überlagerung	239 kWh/m²a	158 kWh/m²a	190 kWh/m²a	181 kWh/m²a
Abweichung	**47,1 %**	**41,4 %**	**56,6 %**	**47,7 %**

Tabelle 23: Einflussfaktoren Mehrfamilienhäuser der Gruppe 3

Gebäude	MFH G3 01	MFH G3 02	MFH G3 03	MFH G3 04
Bedarf (Ref.)	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Verbrauch	51 kWh/m²a	41 kWh/m²a	47 kWh/m²a	49 kWh/m²a
Abweichung	**-25,0 %**	**-8,7 %**	**-19,6 %**	**-27,3 %**
Variation Nutzer				
Temperatur	47 kWh/m²a	46 kWh/m²a	46 kWh/m²a	43 kWh/m²a
Abweichung	-9,2 %	11,2 %	-2,1 %	-11,2 %
Luftwechsel	45 kWh/m²a	44 kWh/m²a	44 kWh/m²a	42 kWh/m²a
Abweichung	-13,0 %	6,3 %	-6,3 %	-14,7 %
Interne WQ	37 kWh/m²a	37 kWh/m²a	36 kWh/m²a	35 kWh/m²a
Abweichung	-27,3 %	-11,4 %	-21,8 %	-29,3 %
Nutzer	45 kWh/m²a	44 kWh/m²a	44 kWh/m²a	42 kWh/m²a
Abweichung	-11,9 %	7,8 %	-4,8 %	-13,8 %
Variation Hülle				
U-Wert Bopla	39 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-24,3 %	-7,8 %	-18,9 %	-26,7 %
U-Wert Wände	39 kWh/m²a	39 kWh/m²a	39 kWh/m²a	37 kWh/m²a
Abweichung	-22,9 %	-6,1 %	-17,3 %	-25,2 %
U-Wert Decke	39 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-24,0 %	-7,5 %	-18,7 %	-26,6 %
U-Wert Fenster	40 kWh/m²a	39 kWh/m²a	40 kWh/m²a	38 kWh/m²a
Abweichung	-21,6 %	-4,4 %	-15,2 %	-23,1 %
Delta UWB	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-
Infiltration	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-
Hülle	42 kWh/m²a	41 kWh/m²a	41 kWh/m²a	39 kWh/m²a
Abweichung	-18,4 %	-0,7 %	-12,2 %	-20,4 %
Variation TGA				
V / R Temp.	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-24,9 %	-8,5 %	-19,4 %	-27,1 %
Wirkungsgrad	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	-	-	-
hyd. Abgleich	39 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-23,6 %	-7,1 %	-18,0 %	-25,9 %
U-Wert Leitung	39 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-23,9 %	-7,3 %	-18,6 %	-26,5 %
Pumpe	39 kWh/m²a	38 kWh/m²a	38 kWh/m²a	36 kWh/m²a
Abweichung	-23,5 %	-6,8 %	-18,0 %	-25,8 %
Übergabe	40 kWh/m²a	39 kWh/m²a	39 kWh/m²a	37 kWh/m²a
Abweichung	-22,8 %	-6,1 %	-17,0 %	-25,1 %
TGA	42 kWh/m²a	41 kWh/m²a	41 kWh/m²a	38 kWh/m²a
Abweichung	-18,6 %	-1,4 %	-13,1 %	-21,7 %
Variation Überlagerung Nutzer + Hülle + TGA				
Überlagerung	54 kWh/m²a	53 kWh/m²a	53 kWh/m²a	50 kWh/m²a
Abweichung	**4,7 %**	**28,3 %**	**13,7 %**	**3,1 %**

Aus Tabelle 16 bis Tabelle 23 wird ersichtlich, dass die getroffenen Annahmen hinsichtlich des Nutzerverhaltens nach Kap. 6.3, der Gebäudehülle nach Kap. 6.4 und der technischen Gebäudeausrüstung nach Kap. 6.5 für alle gezeigten Gebäude eine Reduzierung der Diskrepanz zwischen Primärenergiebedarf und Verbrauch zur Folge haben. Teilweise wurden, besonders bei sehr geringen absoluten Diskrepanzen, diese durch die Variation von einzelnen Einflussfaktoren bzw. von Einflussgruppen diese bereits erfüllt. In diesen Fällen wandelt sich, durch die Überlagerung der Einflussgruppen, die Abweichungen in entgegengesetzte Richtung. Eine solch geringe Diskrepanz kann durch eine gute bis sehr gute Datengrundlage begünstigt werden. Eine solch gute Datengrundlage ist jedoch meist nur bei Neubauten vorhanden. Dies spiegelt sich auch in den vergleichsweise geringen absoluten Diskrepanzen der Gebäudegruppe 3 wieder. Ebenfalls bei den Einfamilienhäusern EFH G2 02 und EFH G2 04 war die Datengrundlage vergleichsweise gut, bei diesen Gebäuden waren die entsprechenden Diskrepanzen ebenfalls vergleichsweise gering. Neben der Datengrundlage hat das tatsächliche Nutzerverhalten einen wesentlichen Einfluss auf die Diskrepanz zwischen Bedarf und Verbrauch. Dies zeigt sich etwa in der Gebäudegruppe 1 bei dem Gebäude MFH G1 07. Dieses Mehrfamilienhaus weist eine recht geringe Diskrepanz auf, hierbei wird davon ausgegangen, dass das überlagerte Nutzerverhalten der Bewohner dem EnEV-konformen Nutzerverhalten sehr ähnelt. Im allgemeinem sind die Diskrepanzen in den Gebäudegruppen 1 und 2 jedoch auffällig hoch. In vielen Fällen kann in diesen Gebäuden der tatsächliche Primärenergieverbrauch selbst durch alle energetisch positiv getroffenen Annahmen der Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA, wie in Kap. 6.6 und den Tabellen 16, 17 sowie 19 bis 22 ersichtlich, nicht nachvollzogen werden. Besonders bei den Mehrfamilienhäusern der Gebäudegruppen 1 und 2 würde dies bedeuten, dass die getroffenen Annahmen der energetischen Verbesserungen der Einflussgruppen Hülle und TGA noch zu konservativ angesetzt sind. Dies begründet sich, nach den vorliegenden Daten, dadurch, dass eine weitere Reduzierung des sparsamen überlagerten Nutzerverhaltens (17 °C mittlere Raumlufttemperatur sowie eine vergleichsweise geringe Luftwechselrate von 0,3 1/h) nicht als realistisch eingestuft wird. Für die Gebäudegruppe 3 der Einfamilienhäuser kann, aus Gründen der geringen Datengrundlage, keine konkrete Aussage getroffen werden, zumal die Gebäude EFH G3 01 und EFH G3 02 den tatsächlichen Verbrauch zum einen über- und zum anderen unterschreiten. Ersichtlich ist lediglich, dass hinsichtlich der geringen Diskrepanz, das Ansetzen mittlerer Raumlufttemperaturen von 17 °C für das EFH G3 02 und 23 °C für das EFH G3 01 als wesentlich zu niedrig bzw. zu hoch einzuschätzen sind. Ähnlich verhält sich dies bei der Gebäudegruppe 3 der Mehrfamilienhäuser. Für diese Gebäude ist der tatsächliche Verbrauch zwar in allen Fällen höher als der berechnete Bedarf, jedoch ist auch hierbei die Datengrundlage mit 4 Gebäuden recht gering. Eine erhöhte Raumlufttemperatur von 23 °C für ein allgemeines Nutzerverhalten wird hierbei, besonders für Mehrfamilienhäuser, als zu hoch eingeschätzt.

In Tabelle 24 sind nochmals alle Werte aus Tabelle 16 bis Tabelle 23 aufgetragen. Hierbei wurden besonders die Einflussgruppen nochmals genauer untersucht. Abweichungen der Bedarfsberechnungen sowie den Variationen bezogen auf den tatsächlichen Verbrauch wurden hierfür farblich gekennzeichnet, eine Abweichung von über 25% rot, Abweichungen zwischen 10 und 25% gelb und Abweichungen unter 10% grün. Die oben getroffenen Aussagen werden durch diese Farbzuweisung nochmals verdeutlicht.

Für die Einfamilienhäuser sowie die Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 wurden die bereits erwähnten Änderungen hinsichtlich der mittleren Raumlufttemperaturen untersucht. Hierbei wurde die mittlere Raumlufttemperatur, abweichend von Kap. 6.3, für die Einfamilienhäuser auf 20 °C und für die Mehrfamilienhäuser auf 21 °C eingestellt. Die Diskrepanzen konnten hierdurch weiter minimiert werden. Für die Gebäudegruppen 1 und 2 scheint es, nach den hier vorliegenden Daten, ersichtlich, dass nur eine Berücksichtigung von allen drei Einflussgruppen es ermöglicht, eine nennenswerte Reduzierung der Diskrepanzen zu ermöglichen.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild: Für alle Gebäude der Gebäudegruppe 1, sowohl Ein- als auch Mehrfamilienhäuser, erscheint die Vorgehensweise einer energetisch positiveren Betrachtungsweise (sparsamer Nutzer, verbesserte TGA und Hülle) sinnvoll, um für die Mehrzahl der Gebäude den berechneten Bedarf deutlich an den realen Verbrauch anzunähern.

Für Einfamilienhäuser der Gebäudegruppe 2 erscheint das Ansetzten von energetisch positiven Werten für die Hüll- und TGA-Komponenten als sinnvoll, jedoch sollte der Nutzer nach den vorliegenden Daten als nicht zu sparsam angesetzt werden, da das Ansetzten 19 °C anstelle von 17 °C für die mittlere Raumlufttemperatur eine verbesserte mittlere Übereinstimmung aufweist.

Für Einfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 ist die Datenlage nicht ausreichend, somit wird an dieser Stelle keine direkte Empfehlung getätigt.

Für Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 2 erscheint die energetisch positive Variierung der Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA als zielführend. Hierbei müsste jedoch, nach den vorliegenden Daten eine noch positivere Betrachtung der Einflussgruppen Hülle und TGA stattfinden.

Für Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 erscheint die prozentual abgesenkte, bzw. hierdurch nur minimal abgesenkte absolute, energetische Qualität der Einflussgruppen Hülle und TGA einen Anstoß in die richtige Richtung zu sein. Ein zu verschwenderischer Nutzer mit einer mittleren Raumtemperatur von 23 °C ergab jedoch eine negative Verschiebung der Abweichung eine nur leichte Erhöhung der mittleren Raumtemperaturen auf 21 °C erzielte hierbei eine bessere Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Verbrauch.

Tabelle 24: Abweichungen der Bedarfsberechnungen sowie den Variationen bezogen auf den tatsächlichen Verbrauch. Abweichung von über 25% rot, Abweichungen zwischen 10 und 25% gelb und Abweichungen unter 10% grün.

	EG101	EG102	EG103	EG104	EG105	EG201	EG202	EG203	EG204	EG301	EG302	MG101	MG102	MG103	MG104	MG105	MG106	MG107	MG108	MG109	MG110	MG201	MG202	MG203	MG204	MG205	MG206	MG207	MG208	MG209	MG301	MG302	MG303	MG304
Bedarf (Ref.)	454,7	180,3	228,0	188,4	304,4	203,9	142,5	141,6	161,8	67,4	90,5	247,1	458,1	339,7	345,3	272,2	260,0	287,3	222,7	424,3	286,5	395,9	444,4	386,5	388,3	429,8	434,6	282,2	340,8	325,5	38,4	37,6	37,5	35,6
Verbrauch	194,5	99,7	140,3	106,2	172,0	79,7	127,7	86,9	141,9	73,0	61,9	171,9	221,3	179,9	179,9	150,3	175,3	228,1	127,7	154,5	155,8	173,8	185,8	148,1	164,6	161,0	162,5	111,4	121,4	122,6	51,2	41,2	46,6	49,0
Abweichung	133,8	80,8	62,5	77,4	77,0	155,8	11,6	62,9	14,0	-7,7	46,2	43,7	107,0	88,8	91,9	81,1	48,3	25,9	74,4	174,7	83,9	127,8	139,2	161,0	135,9	166,9	167,5	153,3	180,7	165,5	-25,0	-8,7	-19,6	-27,3
Temperatur	346,4	133,7	176,6	146,6	233,3	159,4	113,3	109,3	126,9	88,3	70,1	191,9	349,7	261,9	265,7	206,3	196,6	217,0	176,2	324,8	218,7	301,7	340,4	297,3	299,9	331,0	332,5	217,2	255,4	249,1	46,5	45,9	45,6	43,5
Abweichung	78,1	34,1	25,9	38,1	35,7	100,0	-11,3	25,7	-10,5	20,9	13,2	11,6	58,0	45,6	47,7	37,3	12,2	-4,9	38,0	110,2	40,4	73,6	83,2	100,7	82,2	105,6	104,6	94,9	110,4	103,2	-9,2	11,2	-2,1	-11,2
Luftwechsel	442,1	168,4	216,6	176,8	293,4	194,0	132,4	130,3	151,4	73,3	80,8	233,5	443,9	326,2	331,2	258,2	245,7	272,8	215,3	410,4	272,2	382,0	430,5	373,5	375,6	416,6	420,1	268,4	319,1	310,7	44,6	43,8	43,7	41,8
Abweichung	127,3	68,9	54,4	66,4	70,6	143,4	3,7	49,9	6,7	0,4	30,6	35,9	100,6	81,3	84,1	71,8	40,1	19,6	68,6	165,6	74,7	119,8	131,7	152,2	128,2	158,8	158,5	141,0	162,8	153,4	-13,0	6,3	-6,3	-14,7
Interne WQ	456,9	181,9	229,2	189,7	306,0	205,2	143,5	142,8	163,0	66,1	91,5	250,4	461,5	342,8	348,7	275,2	263,0	290,4	232,8	427,7	289,4	399,5	448,0	390,0	391,7	433,2	438,1	285,7	337,0	328,4	37,2	36,5	36,5	34,6
Abweichung	134,9	82,4	63,3	78,6	77,9	157,4	12,4	64,4	14,9	-9,5	47,9	45,6	108,6	90,5	93,8	83,1	50,0	27,3	82,3	176,8	85,7	129,9	141,1	163,3	138,0	169,1	169,6	156,4	177,6	167,9	-27,3	-11,4	-21,8	-29,3
Nutzer	339,3	126,6	169,4	139,5	226,8	132,6	106,9	102,3	120,5	94,8	64,0	184,9	342,1	254,8	258,5	198,7	189,0	209,1	168,5	317,5	211,8	294,6	333,4	290,7	293,4	324,1	325,1	210,2	248,4	242,1	45,1	44,4	44,4	42,2
Abweichung	74,4	27,0	20,8	31,3	31,8	66,3	-16,3	17,7	-15,1	29,8	3,4	7,6	54,6	41,6	43,7	32,2	7,8	-8,3	32,0	105,5	35,9	69,5	79,5	96,3	78,3	101,3	100,0	88,7	104,6	97,5	-11,9	7,8	-4,8	-13,8
U-Wert Bopla	447,2	175,0	222,9	185,4	298,9	201,2	139,4	140,5	159,4	68,0	88,7	241,2	437,6	325,9	332,1	268,0	255,6	282,8	219,1	409,4	278,5	385,4	431,5	374,4	376,5	417,6	419,0	272,4	320,7	312,3	38,8	38,0	37,8	35,9
Abweichung	129,9	75,5	58,9	74,6	73,8	152,5	9,1	61,7	12,3	-6,8	43,3	40,3	97,7	81,2	84,6	78,3	45,8	24,0	71,6	165,0	78,8	121,8	132,2	152,8	128,7	159,4	157,9	144,5	164,2	154,7	-24,3	-7,8	-18,9	-26,7
U-Wert Wände	427,5	171,5	216,2	179,1	275,3	190,9	138,8	132,7	153,0	69,9	87,7	233,6	422,4	312,0	316,5	247,6	238,4	260,4	208,0	383,1	264,3	366,1	405,4	357,9	360,5	393,6	390,8	260,9	310,6	303,4	39,5	38,7	38,6	36,7
Abweichung	119,8	72,0	54,1	68,6	60,1	139,5	8,7	52,7	7,8	-4,3	41,6	35,9	90,9	73,4	75,9	64,7	36,0	14,2	62,9	147,9	69,6	110,6	118,2	141,7	119,0	144,5	140,5	134,2	155,8	147,5	-22,9	-6,1	-17,3	-25,2
U-Wert Decke	421,8	177,6	222,3	185,1	296,4	200,5	138,9	138,6	157,5	68,8	88,4	241,1	429,3	332,3	338,8	265,3	252,8	280,1	220,7	416,5	276,1	378,5	430,0	373,1	375,2	416,2	426,4	273,5	317,5	309,2	38,9	38,1	37,9	35,9
Abweichung	116,9	78,2	58,4	74,3	72,3	151,5	8,8	59,5	11,0	-5,8	42,8	40,3	94,0	84,7	88,3	76,5	44,2	22,8	72,8	169,6	77,2	117,8	131,4	151,9	128,0	158,5	162,4	145,5	161,6	152,2	-24,0	-7,5	-18,7	-26,6
U-Wert Fenster	444,6	173,0	216,5	178,1	300,0	198,9	135,7	135,7	155,6	69,8	86,5	233,5	442,7	329,0	334,8	258,8	245,7	273,0	210,2	415,2	274,5	388,3	433,4	377,6	379,8	419,9	425,3	276,0	327,4	318,2	40,2	39,4	39,6	37,7
Abweichung	128,6	73,5	54,3	67,7	74,4	149,5	6,3	56,1	9,7	-4,3	39,7	35,9	100,1	82,9	86,1	72,2	40,2	19,7	64,6	168,7	76,2	123,4	133,2	155,0	130,7	160,8	161,7	147,7	169,6	159,5	-21,6	-4,4	-15,2	-23,1
Delta UWB	nein	nein	nein	nein	nein	nein	132,0	nein	nein	nein 1	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein 1	nein 1	nein 1	nein 1
Abweichung	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	nein	171,9	nein	nein	296,8	nein	135,2	nein	nein	nein	83,4	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	386,4	434,9	377,6	379,7	420,8	424,6	273,1	323,4	315,0	nein	nein	nein	nein
Abweichung	-	72,5	-	-	72,6	-	5,9	-	-	-	34,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122,3	134,1	155,0	130,7	161,4	161,3	145,2	166,4	156,9	-	-	-	-
Hülle	377,1	148,1	194,0	163,4	249,9	148,1	108,1	122,7	140,3	74,4	73,0	208,2	376,4	280,8	286,3	223,2	213,0	234,8	194,2	351,0	235,8	317,1	357,1	313,5	317,0	347,4	348,0	224,7	266,7	257,1	41,8	40,9	40,9	39,0
Abweichung	93,9	48,6	38,3	53,8	45,3	85,8	-15,4	41,2	-1,1	1,9	17,9	21,1	70,1	56,1	59,2	48,5	21,5	2,9	52,1	127,2	51,4	82,4	92,2	111,7	92,6	115,8	114,1	101,7	119,7	109,7	-18,4	-0,7	-12,2	-20,4
V / R Temp.	451,5	175,1	224,9	186,4	300,4	201,3	141,8	140,2	160,8	67,6	nein	245,6	453,7	337,8	342,5	268,5	256,9	283,6	217,3	420,0	283,9	390,3	439,6	381,1	382,7	424,4	429,3	279,8	336,8	322,7	38,5	37,7	37,6	35,7
Abweichung	132,1	75,6	60,3	75,5	74,6	152,5	11,0	61,3	13,3	-7,4	-	42,9	105,0	87,8	90,4	78,6	46,5	24,3	70,2	171,8	82,2	124,6	136,6	157,3	132,5	163,6	164,2	151,1	177,4	163,2	-24,9	-8,5	-19,4	-27,1
Wirkungsgrad	438,4	173,9	220,7	182,2	294,1	197,5	138,3	137,0	156,8	69,5	87,6	239,0	448,0	335,0	338,5	263,2	251,3	286,0	215,3	415,1	280,2	381,6	433,1	374,1	375,8	416,5	423,6	276,7	332,6	313,7	nein	nein	nein	nein
Abweichung	125,4	74,4	57,3	71,6	71,0	147,8	8,3	57,7	10,5	-4,8	41,5	39,0	102,4	86,2	88,2	75,1	43,3	25,4	68,6	168,7	79,8	119,6	133,1	152,6	128,3	158,7	160,7	148,4	174,0	155,9	-	-	-	-
hyd. Abgleich	439,8	177,0	224,3	185,4	299,3	201,1	139,8	137,7	159,4	69,5	nein	240,3	449,4	335,6	339,1	267,9	252,1	278,3	215,8	415,6	280,6	382,7	434,4	375,9	377,9	418,4	422,0	277,1	333,2	318,9	39,1	38,3	38,2	36,3
Abweichung	126,1	77,6	59,8	74,6	74,0	152,3	9,5	58,4	12,3	-4,8	-	39,8	103,1	86,5	88,5	78,2	43,8	22,0	69,0	169,0	80,1	120,2	133,8	153,8	129,6	159,9	159,7	148,8	174,4	160,1	-23,6	-7,1	-18,0	-25,9
U-Wert Leitung	455,1	175,8	226,6	186,7	302,5	201,3	141,9	141,7	161,5	67,4	90,4	247,3	nein	nein	nein	272,4	260,4	287,8	219,3	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	39,0	38,2	37,9	36,0
Abweichung	134,0	76,4	61,5	75,8	75,9	152,6	11,1	63,0	13,8	-7,7	46,1	43,9	-	-	-	81,2	48,5	26,2	71,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-23,9	-7,3	-18,6	-26,5
Pumpe	454,1	179,8	227,9	188,2	304,1	203,7	142,2	140,4	161,6	69,9	89,8	246,9	458,1	339,6	345,3	270,4	258,2	285,4	221,1	424,3	285,7	395,8	444,3	386,3	388,1	429,6	434,5	282,0	339,8	324,5	39,2	38,4	38,3	36,3
Abweichung	133,5	80,4	62,4	77,2	76,8	155,6	11,3	61,6	13,9	-4,2	45,1	43,6	107,0	88,8	91,9	79,9	47,3	25,1	73,1	174,6	83,4	127,7	139,1	160,9	135,8	166,8	167,4	153,1	179,9	164,7	-23,5	-6,8	-18,0	-25,8
Übergabe	447,6	177,3	224,5	185,6	297,2	199,9	139,8	139,7	159,6	68,9	89,9	243,8	454,0	337,7	342,3	258,1	246,7	272,2	211,0	420,2	283,7	389,7	439,6	381,4	383,3	424,3	428,6	279,8	337,2	322,4	39,5	38,7	38,7	36,7
Abweichung	130,1	77,8	60,0	74,8	72,8	150,8	9,5	60,8	12,4	-5,6	45,2	41,8	105,2	87,7	90,3	71,7	40,7	19,3	65,2	172,0	82,1	124,2	136,6	157,5	132,9	163,6	163,7	151,1	177,7	163,0	-22,8	-6,1	-17,0	-25,1
TGA	413,3	159,3	209,4	173,1	276,8	152,2	131,3	128,5	150,8	75,4	86,3	227,7	431,5	327,5	327,2	239,4	225,8	257,2	195,2	398,4	268,4	357,6	414,6	354,2	356,1	395,6	400,7	267,2	317,4	305,5	41,7	40,7	40,5	38,3
Abweichung	112,5	59,8	49,3	63,0	60,9	133,5	2,8	47,9	6,3	3,2	39,4	32,5	95,0	82,0	81,9	59,3	28,8	12,8	52,9	157,8	72,3	105,7	123,2	139,2	116,4	145,7	146,6	139,8	161,4	149,2	-18,6	-1,4	-13,1	-21,7
Überlagerung	260,8	96,6	138,1	116,3	174,7	106,7	77,4	82,0	101,7	121,1	47,6	144,2	264,9	205,3	204,6	145,0	138,2	157,7	121,7	246,2	164,6	213,0	246,9	211,3	214,7	236,3	239,1	157,5	190,1	181,0	53,6	52,9	53,0	50,5
Abweichung	34,1	-3,1	-1,5	9,5	1,5	33,8	-39,4	-5,6	-28,4	65,9	-23,2	-16,1	19,7	14,1	13,7	-3,5	-21,2	-30,9	-4,7	59,3	5,7	22,5	32,9	42,7	30,4	46,8	47,1	41,4	56,6	47,7	4,7	28,3	13,7	3,1
						Temp 19°C				Temp 20°C																					Temp. 21°C			
						124	100,1	111,8	131	91,7	60,0																				46,9	46,1	46,2	43,9
						55,1	-21,6	28,63	-7,65	25,6	-3,2																				-8,4	11,8	-0,9	-10,4

7 Zusammenfassung

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche wurden drei Einflussgruppen für Diskrepanzen zwischen berechnetem Energiebedarf und tatsächlichem Energieverbrauch identifiziert: Nutzereinfluss, Gebäudehülle und technische Gebäudeausrüstung (TGA). Jede Einflussgruppe besitzt eine Anzahl an Einflussfaktoren, deren Auswirkung im Projektverlauf untersucht wurde.

Für die Auswahl der zu untersuchenden Gebäude wurde der Gebäudebestand in Deutschland ausgewertet und die zwei Gebäudeklassen Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser ausgewählt, da diese beiden Klassen den größten Gebäude- bzw. Wohnungsanteil in Deutschland darstellen. Weiterhin wurde eine Einteilung in drei Gebäudegruppen, nach Baujahr bzw. nach energetischem Sanierungsstand, vorgenommen. Hierbei fallen unter die Gebäudegruppe 1 alle Gebäude, welche vor 1995 errichtet und nicht energetisch saniert wurden. Der Gebäudegruppe 2 werden Bestands- und entsprechend energetisch sanierte Gebäude von 1995 bis 2008 zugeordnet. In der Gebäudegruppe 3 befinden sich alle Neubauten und Sanierungen von 2009 und neuer. Die Datengrundlage zur Untersuchung bilden für die Einfamilienhäuser fünf Gebäude der Gebäudegruppe 1, vier Gebäude der Gebäudegruppe 2 und zwei Gebäude der Gebäudegruppe 3. Für die Mehrfamilienhäuser wurden in der Gebäudegruppe 1 zehn, in der Gebäudegruppe 2 neun und in der Gebäudegruppe 3 vier Gebäude untersucht.

Die Untersuchung der Gebäude erfolgte zum einen mit dem Berechnungstool ZUB Helena Ultra, mit dessen Hilfe EnEV-konforme Energieausweise erstellt werden können, und zum anderen mit dem thermischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS. Mit dem vielfach validierten Programm TRNSYS können die realen Gegebenheiten des Gebäudes und der Randbedingungen wesentlich detaillierter erfasst und untersucht werden.

Für die Erfassung der Diskrepanzen wurden unter Zuhilfenahme von ZUB Helena Bedarfsausweise aller Gebäude erstellt. Die tatsächlichen Verbräuche der Gebäude wurden mit Hilfe von Verbrauchsabrechnungen aus mindestens drei Jahren ermittelt und für den Vergleich mit den Bedarfsausweisen standort- und witterungsbereinigt. Nach diesem Abgleich wurde, nach den vorliegenden Daten, ersichtlich, dass Gebäude mit einem hohen (niedrigen) Primärenergiebedarf tendenziell einer wesentlich niedrigeren (höheren) Verbrauch im Vergleich zum nach EnEV errechneten Bedarf aufweisen.

Die untersuchten Gründe der Diskrepanzen wurde in die 3 oben genannten Einflussgruppen, Nutzereinfluss, Gebäudehülle und technische Gebäudeausrüstung (TGA), aufgeteilt. In jeder der Einflussgruppen wurden die als wesentlich erachteten Einflussfaktoren in eine, aus energetischer Sicht, positive sowie negative Richtung variiert. Weiterhin wurde auch eine Überlagerung der drei Einflussgruppen untersucht. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Übersicht über die Größe des Einflusses der jeweiligen Einflussgruppe sowie Überlagerung von Einflussgruppen bezogen auf den berechneten Bedarf. Diese Untersuchung ergab, dass der tatsächliche Primärenergieverbrauch für 12 der Gebäude durch die Überlagerung der drei Einflussgruppen nachvollzogen werden konnte. Für 4 der Gebäude konnten, bedingt durch eine bereits sehr geringe Diskrepanz, der Verbrauch durch jede Einflussgruppe für sich bereits nachvollzogen werden. Für die restlichen 18 Gebäude konnte der tatsächlich auftretende Verbrauch nicht in Gänze nachvollzogen werden. Die Diskrepanz wurde durch die getroffenen Annahmen jedoch auch bei diesen 18 Gebäuden deutlich minimiert. Über Gebäudegruppen und –Klassen hinweg konnte durch die Überlagerung der drei Einflussgruppen Nutzer, Hülle und TGA die mittlere Abweichung über alle Gebäude deutlich reduziert werden.

Insbesondere zur Untersuchung der Gebäude, bei welchen der Verbrauch durch jede Einflussgruppe nachvollzogen werden konnte, als auch für die Gebäude, für welche der Verbrauch nicht nachvollzogen

werden konnte, wurde eine Untersuchung der einzelnen Einflussfaktoren in den jeweiligen Einflussgruppen durchgeführt. Diese ergab, für die hier vorliegenden Daten, dass die Einflussgruppe Nutzer bzw. die darin enthaltene mittlere Raumlufttemperatur den mit Abstand größten Einfluss auf die Berechnung besitzt. Neben der dominanten Einflussgruppe Nutzer hat weiterhin die Überlagerung der Einflussgruppen Hülle und TGA einen etwa gleichbedeutenden Einfluss. Für eine bessere Einschätzung wurden alle Einflussfaktoren der Einflussgruppen einzeln variiert. Besonders die Einflussgröße der mittleren Raumlufttemperatur wurde nochmals überprüft in Hinblick auf die gewählten Nutzertypen (sparsam, normgerecht, verschwenderisch). Ein Großteil der Gebäude, bei welchen der Verbrauch selbst durch die Überlagerung aller drei Einflussgruppen nicht gänzlich nachvollzogen werden kann, sind Mehrfamilienhäuser. Hier ist eine weitere Verringerung der mittleren Raumlufttemperatur unter 17 °C für alle Nutzer des Gebäudes als unrealistisch einzuschätzen. Somit müsste für diese Gebäude eine noch deutlich unterschätzte energetische Qualität der Hülle vorliegen bzw. die TGA noch energetisch positiver bewertet werden. Weiterhin ergab die Betrachtung der Raumtemperaturen der Gebäudegruppe 3 dass ein verschwenderisches Nutzerverhalten und die damit einhergehende Temperatur von 23 °C, als zu hoch einzuschätzen ist. Besonders, da bei dieser Gebäudegruppe 3 die Datengrundlage hinsichtlich Hüllkomponenten sowie TGA-Komponenten in sehr detailliertem Umfang zur Verfügung stand.

Für eine vorläufige Empfehlung basierend auf den vorliegenden Daten wird für ältere Bestandsgebäude der Gebäudegruppe 1 und 2 eine verbesserte energetische Beurteilung von pauschalen bzw. Standardwerten der Hüll- und TGA-Komponenten empfohlen. Des Weiteren sollte besonders für ältere Gebäude der Gebäudegruppe 1 und 2 ein sparsameres Nutzerverhalten Berücksichtigung finden. Für Gebäude der Gebäudegruppe 2 scheint eine positivere Betrachtung der Einflussgruppen Hülle und TGA sehr Zielführend bei den Einfamilienhäusern dieser Gebäudegruppe sollte jedoch eine nur leicht Reduzierte mittlere Raumlufttemperatur von 19 °C angesetzt werden. Für die Einfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 ist eine pauschale Aussage durch die geringe Datengrundlage von 2 Gebäuden nicht zu treffen. Für die Mehrfamilienhäuser der Gebäudegruppe 3 würde das Ansetzen eines etwas verschwenderischen Nutzers (21 °C mittlere Raumtemperatur) sowie eine leicht schlechtere Beurteilung der Hüll- und TGA-Komponenten sinnvoll sein.

Sämtliche Empfehlungen beschreiben hierbei einen exemplarischen Ansatz, wie eine Korrektur der EnEV vollzogen werden könnte, um die Abweichungen zum reellen Verbrauch zu minimieren. Um endgültige wissenschaftlich belastbare Verfahren quantitativ angeben zu können, ist eine wesentlich höhere Datenbasis erforderlich.

8 Literatur

[1] Bundesregierung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung – EnEV, 2016.

[2] Hoffmann, C.; Geissler, A.: Dem Prebound Effekt auf der Spur - Differenzen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und dem rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf bei Bestandsgebäuden (Wohnen). In: Bauphysik, S. 159–174, 2017.

[3] Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.: Auswertung von Raumklimamessungen und Bestimmung typischer Taupunkttemperaturen in natürlich belüfteten Wohnzimmern. In: Bauphysik, S. 151–158, 2017.

[4] Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.: Innenraumklimamessungen und Bewertung ihrer Verwendung in Gebäudesimulationen. In: Bauphysik in Forschung und Praxis - Bauphysiktage Kaiserslautern 2017.

[5] Loga, T.; Großklos, M.; Knissel, J.: Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzer-verhaltens auf die Heizkosten. Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung, 2013.

[6] Sunikka-Blank, M.; Galvin, R.: Der Prebound-Effekt: die Schere zwischen errechnetem und tatsächlichem Energieverbrauch. The gap between performance and actual energy consumption. In: Building Research & Information, S. 260–273, 2012.

[7] Erhorn, H.: Bedarf – Verbrauch. Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung? In: Gesundheits-Ingenieur, S. 233–240, 2007.

[8] DIN V 18599:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Beiblatt 1: Bedarfs-/VerbrauchsabgleichHeizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

[9] DIN 4108:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.

[10] DIN V 4701:2001-02: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen.

[11] Bundesministerium für Wirtschaft und nergie und das Bundesministerium für Umwelt, Na-turschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, 2015.

[12] Knissel, J.; Alles, R.; Born, R. e. a.: Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln. Abschlussbericht zu dem Forschungsprojekt 'Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung gebäudespezifischer Primärenergiekennwerte, geeignet als Bewertungsmerkmal im Mietspiegel'. Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 2006.

[13] Stolte, C.; Marcinek, H.; Bigalke, U. et al.: Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser. Berlin, 2013.

[14] Merzkirch, A.; Hoos, T.; Maas, S. et al.: Wie genau sind unsere Energiepässe? Vergleich zwischen berechneter und gemessener Endenergie in 230 Wohngebäuden in Luxemburg. In: Bauphysik, S. 40–43, 2017.

[15] Großklos, M.: Warum sind sie denn so verschieden? Energiebedarf und tatsächlicher Verbrauch – Abgleich zwischen Theorie und Praxis. In: Holzbau, S. 33–35, 2016.

[16] Diefenbach, N.; Loga, T.; Born, R. et al.: Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2002.

[17] Bischof, W.; Blank, H.; Borsch-Laaks, R.: ohnungslüftung und Raumklima. Grundlagen, Ausführungshinweise, Rechtsfragen. Stuttgart, 2009.

[18] Weeber, R.; Sahner, G.; Bosch-Lewandowski, S. et al.: Evaluierung ausgestellter Energieausweise für Wohngebäude nach EnEV 2007. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2011.

[19] DIN V 18599 Beiblatt 1:2010-01: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für.

[20] Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland. Erste Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011. 30427 Hannover, 2014.

[21] Statistisches Bundesamt: Zensus 2011. Gebäude und Wohnungen. 65189 Wiesbaden, 2013.

[22] ZUB Systems GmbH: ZUB Helena Ultra. ZUB Systems GmbH, 2019.

[23] Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison: TRNSYS 18 a TRaNsient SYstem Simulation program. Volume 1 Getting Started, 2018.

[24] SketchUp. Trimble Inc., 2019.

[25] DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele.