

IBP-Bericht WB 189/2016

Auswirkung der veränderten Mindestanforderungen an den Primärenergiebedarf und die Wärmeschutzanforderungen von unterschiedlichen Gebäudetypen durch die novellierte Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) auf die Festlegungen im NEH-Beschluss der Landeshauptstadt Stuttgart

Durchgeführt im Auftrag
der Landeshauptstadt Stuttgart,
Amt für Umweltschutz, Abteilung Ener-
giewirtschaft

Hans Erhorn
Antje Bergmann

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Peter Sedlbauer

**Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.**

IBP-Bericht WB 189/2016

Auswirkung der veränderten Mindestanforderungen an den Primärenergiebedarf und die Wärmeschutzanforderungen von unterschiedlichen Gebäudetypen durch die novellierte Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) auf die Festlegungen im NEH-Beschluss der Landeshauptstadt Stuttgart

Durchgeführt im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Energiewirtschaft

Der Bericht umfasst

52 Seiten Text

18 Tabellen

15 Abbildungen

Hans Erhorn

Antje Bergmann

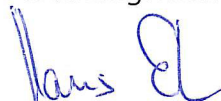
Stuttgart, 8. August 2016

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Philip Leistner

Abteilungsleiter



Dipl.-Ing. Hans Erhorn

Bearbeiterin



Dipl.-Ing. Antje Bergmann

Inhalt

1	Projekthintergrund	3
2	Projektumfang	8
3	Ausgewählte Gebäude	8
3.1	Wohngebäude	8
3.2	Nichtwohngebäude	9
4	Bewertungsmethoden	14
4.1	Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 / 2016	14
4.2	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) 2011	15
5	Durchgeführte Berechnungen	15
5.1	Vergleich der Bewertungsmethoden EnEV 2009 und EnEV 2014 / 2016	19
5.2	Ergebnisse der Unterschreitung der Anforderung der Energieeinsparverordnung EnEV 2014 (bis 31. Dezember 2015)	21
5.2.1	Wohngebäude	21
5.2.2	Nichtwohngebäude	27
5.3	Ergebnisse Unterschreitung der Anforderung der Energieeinsparverordnung EnEV 2016 (EnEV 2014 ab 1. Januar 2016)	32
5.3.1	Wohngebäude	32
5.3.2	Nichtwohngebäude	37
6	Wirtschaftlichkeit erhöhter städtischer Anforderungen	42
6.1	Kostenansätze	42
6.2	Betriebskosten, Investitionskosten und Amortisationsdauern	46
6.2.1	Einfamilienhaus	46
6.2.2	Mehrfamilienhaus	47
6.2.3	Schule	48
6.2.4	Kindergarten	50
7	Zusammenfassung	51
8	Empfehlung für zukünftige städtische Anforderungen	52
9	Literatur	52

1 Projekthintergrund

Aufgrund intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es gelungen, den Energieverbrauch neu errichteter Gebäude auf einen Bruchteil dessen zu senken, den der bisherige Gebäudebestand benötigt. In den letzten Jahren hat sich die Niedrigenergiebauweise als Mindeststandard bundesweit durchgesetzt und somit den Stand der Technik bestimmt. Dies führte dazu, dass die Bundesregierung die Anforderungen an den Höchstwert des zulässigen Heizenergiebedarfs bzw. mittlerweile des zulässigen Primärenergiebedarfs im Laufe der letzten 30 Jahre kontinuierlich verschärfen konnte. In Bild 1 ist am Beispiel eines Doppelhauses dargestellt, wie sich die Mindestanforderungen seit Ende der 70er Jahre bis heute verändert haben. Demgegenüber stehen die Erfolge der vorlaufenden Forschungsprojekte und die Entwicklung der innovativen Baupraxis, die es überhaupt erst erlaubten, diese Anforderungverschärfungen zu realisieren. Für das Jahr 2050 hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, den Gebäudebestand in Deutschland möglichst klimaneutral umgewandelt zu haben.

Entwicklung des energiesparenden Bauens

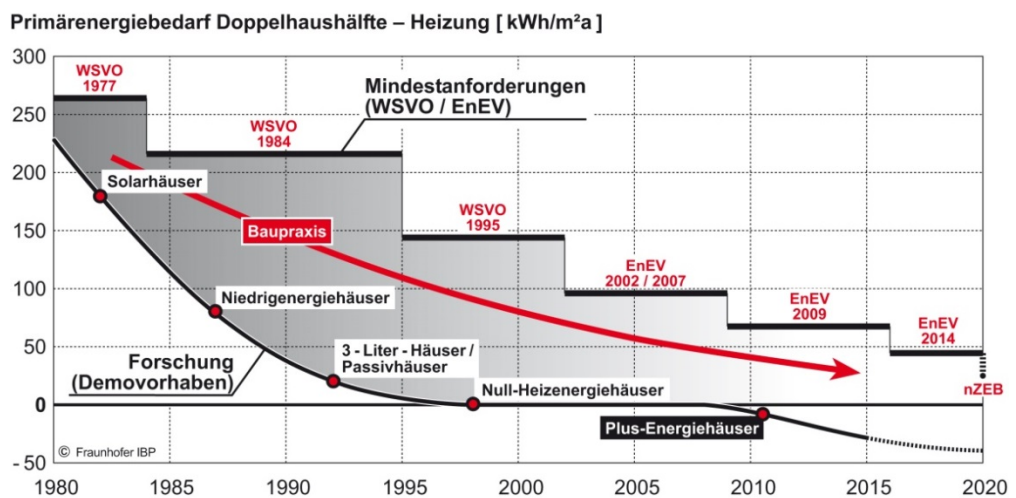


Bild 1: Entwicklung des energiesparenden Bauens in Deutschland am Beispiel des Primärenergiebedarfs von Doppelhäusern. Die obere Kurve stellt die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung (früher Wärmeschutzverordnung) dar, die untere die vorgelagerten Forschungsvorhaben des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, die eine entsprechende Entwicklung bei der Baupraxis auslösten.

Stand 2003

Die Stadt Stuttgart ist eine der innovativen Kommunen in Deutschland, die seit über einem Jahrzehnt bereits höhere Anforderungen an Gebäude stellt, die auf städtischen Grundstücken errichtet werden, als dies die Energieeinsparverordnung EnEV (bzw. vorher die Wärmeschutzverordnung (WSVO)) für Neubauten fordert. Im Rahmen des Städtebauprojekts Stuttgart 21 wurde Ende

der 90er Jahre im Beschluß des Gemeinderates festgehalten, dass alle Bauvorhaben im Gebiet eine Unterschreitung der Anforderungen der damaligen Wärmeschutzverordnung um 30 % sicherstellen müssen (NEH-Beschluss). Im Rahmen der Fortschreibung der Wärmeschutzverordnung (WSVO) zur Energieeinsparverordnung (EnEV) konnte in einer Studie des Fraunhofer IBP gezeigt werden, dass eine weitere Reduzierung des Heizenergiebedarfs ohne signifikante Mehrkosten erreicht werden kann. Daher erfolgte eine Anpassung des Gemeinderatsbeschlusses an die geänderten gesetzlichen Anforderungsparameter (Primärenergie anstatt Heizwärme) im Jahre 2003.

In den Folgejahren hatten sich die wirtschaftlichen Randbedingungen gegenüber 2003 weiter verändert. Die Energiekosten haben sich in Europa, wie Bild 2 zeigt, um etwa 100 % erhöht, ohne dass sich die Investitionskosten im gleichen Maße verändert haben. Dieser Anstieg ist aufgrund des starken Eurokurses noch moderat ausgefallen; so hat sich der Rohölpreis in Dollar im gleichen Zeitraum sogar verdreifacht.

Ölpreis – Entwicklung seit 1999

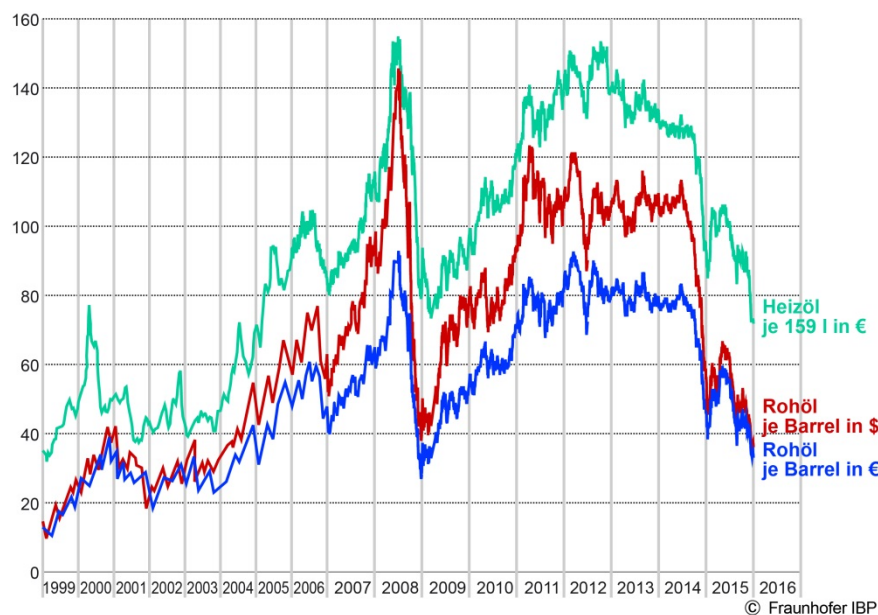


Bild 2:
Entwicklung des Rohöl- und Heizölpreises in den letzten 16 Jahren.

Stand 2008

Da die Anforderungen der 2007 novellierten Energieeinsparverordnung weiterhin auf den wirtschaftlichen Randbedingungen von 2003 basierten, wurde vom Gemeinderat im Jahre 2008, unterstützt durch eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik an ausgewählten Gebäuden, die Mindestanforderungen weiter angehoben. Für Wohngebäude galten seit 2008 die Anforderungen, die das Förderprogramm (KfW 60) der KfW-Bank als

städtische Mindestanforderungen definiert. Dies entsprach je nach Gebäudetyp einer Unterschreitung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2007 zwischen 30 % und 40%. Für Nichtwohngebäude sind nach Gemeinderatsbeschluss die Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2007 um 40 % zu unterschreiten.

Stand 2009

Im Oktober 2009 wurde die Energieeinsparverordnung erneut novelliert (EnEV 2009). Hierbei wurden die Anforderungen für Wohn- und Nichtwohngebäude im Mittel um 30 % angehoben. Gleichzeitig wurde das Nachweisverfahren für Wohngebäude vollständig umgestellt. Darüber hinaus waren seit Januar 2009, ergänzend zu den Anforderungen der Energieeinsparverordnung, die Anforderungen aus dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) einzuhalten.

Das EEWärmeG 2009 verpflichtet Gebäudeeigentümer, ihren Wärmeenergiebedarf anteilig aus erneuerbaren Energien zu decken. Die Pflicht beschränkt sich auf neue Gebäude und grundlegend renovierte öffentliche Gebäude. Genutzt werden können feste Biomasse, Geothermie, Solarthermie und Umweltwärme sowie Biogas und nachhaltig erzeugtes Pflanzenöl. Aufgrund des gesetzlichen Ziels, den Einsatz fossiler Energien in der Wärmeversorgung und den hierdurch verursachten Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren und dadurch den Klimaschutz zu fördern, lässt das Gesetz auch andere klimaschonende Maßnahmen zu: So können Gebäudeeigentümer anstelle von erneuerbaren Energien auch Abwärme oder Wärme aus hocheffizienten KWK-Anlagen nutzen oder verstärkte Maßnahmen zur Energieeinsparung durchführen.

In Vorbereitung der Kopenhagener Klimaschutzkonferenz 2009 (COP 15) vereinbarten die EU-Mitgliedsstaaten verbindlich, die EU-Richtlinie zur Energieeffizienz von Gebäuden in Europa zu verschärfen. Hiernach müssen in den EU-Mitgliedsländern bis 2020 (für öffentliche Gebäude bis 2018) die Anforderungen an Neubauten soweit verschärft werden, dass nur noch sogenannte Fast-Null-Energie-Gebäude (Nearly Zero Energy Buildings - NZEB) gebaut werden dürfen. Hierunter versteht die EU-Kommission „very high performance buildings“, das sind Gebäude mit einem sehr niedrigen Energiebedarf (nahezu Null), der wesentlich aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden soll, die am Gebäude oder in dessen Nähe verfügbar gemacht werden. Die EU-Mitgliedsländer sollten spätestens bis 2015 Zwischenwerte auf dem Weg zum Fast-Null-Energie-Gebäude als Anforderung für Neubauten formuliert haben. Die öffentlichen Gebäude sollen in Europa eine Vorbildfunktion in Sachen Energieeffizienz übernehmen. Die Landeshauptstadt Stuttgart ist hier aufgrund ihrer aktiven Rolle bei der Realisierung von Demonstrationsgebäuden (national: Niedrigenergieschule MOSES, Altenheim Sonnenberg, Plus-Energie-Sanierung Uhlandschule; europäisch: Pflegeheim Filderhof, Schule der Zukunft) bereits gut aufgestellt und ist daher auf dem Weg, eine europäische Leuchtturmposition einzunehmen.

In Bild 3 sind die im Jahr 2010 vorgesehenen Schritte der europäischen Richtlinie den vorgesehenen Schritten der Energieeinsparverordnung gegenüber gestellt. In der rechten Graphik sind auch die jeweiligen Gemeinderatsbeschlüsse eingetragen. Die Graphik zeigt, dass in Stuttgart in den letzten 15 Jahren, gegenüber den gesetzlichen Mindestanforderungen, immer um 30 % bis 40 % verschärfte Anforderungen festgelegt waren. So fand das Anforderungsniveau der nächsten anstehenden EnEV um Jahre früher Anwendung. Die vom Bund für 2012 avisierte weitere Verschärfung der EnEV-Anforderungen um 30 % konnte daher für die künftigen Gemeinderatsanforderungen eine Richtmarke darstellen.

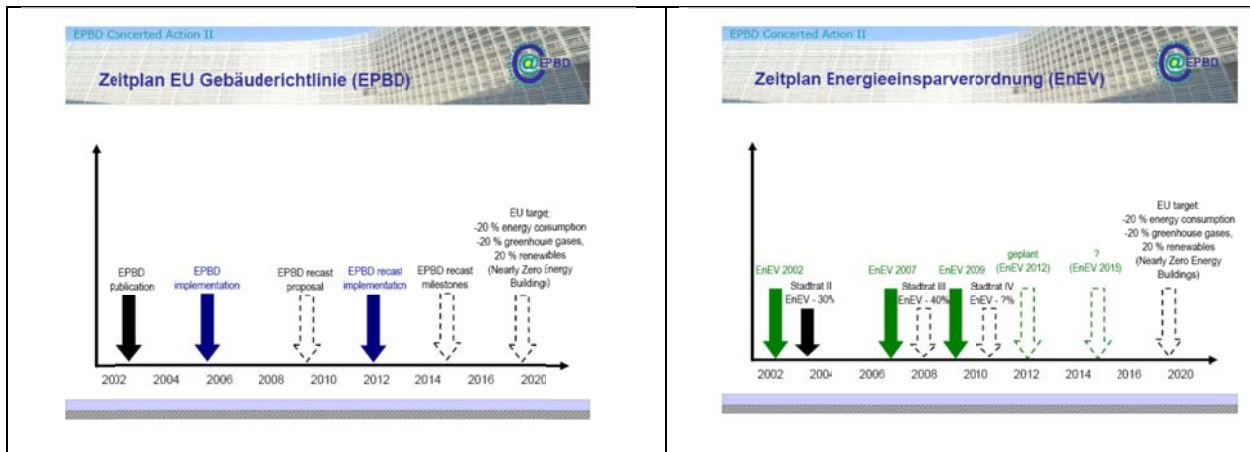


Bild 3: Anforderungsanpassungen bedingt durch die EU-Gebäuderichtlinie und die Energieeinsparverordnung 2002 - 2020 (Stand 2010).

Auf der Grundlage der zuvor aufgeführten verschärften gesetzlichen Anforderungen an den Energiedarf von Neubauten, die einhergehen mit der vorgeschriebenen Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung, wurden die städtischen Anforderungen auf Basis einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung [1] des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik neu formuliert. Der Stadt Stuttgart wurde als Anforderung für städtische Gebäude und Gebäude auf städtischen Grundstücken folgendes vorgeschlagen:

Wohngebäude: Mindestanforderung: KfW-Effizienzhaus 70.

Nichtwohngebäude / Nutzgebäude: 30 %-Verschärfung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2009 [2] mit der Einschränkung, die Nebenanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nur um 20 % gegenüber den Anforderungen der EnEV 2009 zu verschärfen.

Stand 2014 / 2016

Ab dem Jahr 2021 müssen nach europäischen Vorgaben alle Neubauten im Niedrigstenergiegebäudestandard errichtet werden. Für Neubauten von Behördengebäuden gilt dies bereits ab 2019. Die konkreten Vorgaben an die energie-

tische Mindestqualität von Niedrigstenergiegebäuden werden bis spätestens Ende 2016 für Behördengebäude bzw. Ende 2018 für alle Neubauten festgelegt. Die Bundesregierung strebt daher eine angemessene und wirtschaftlich vertretbare Anhebungen der energetischen Anforderungen an Neubauten ab dem 1. Januar 2016 um durchschnittlich 25 % des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs und um durchschnittlich 20 % bei der Wärmedämmung der Gebäudehülle - dem sogenannten zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten - mit der Einführung der EnEV 2014 [3] an. Die Anhebung der Neubauanforderungen ist ein wichtiger Zwischenschritt hin zum EU-Niedrigstenergiegebäude-Standard, der spätestens ab 2021 gilt. Bild 4 zeigt die zeitliche Entwicklung der europäischen Gebäuderichtlinie und der Energieeinsparverordnung bis 2021.

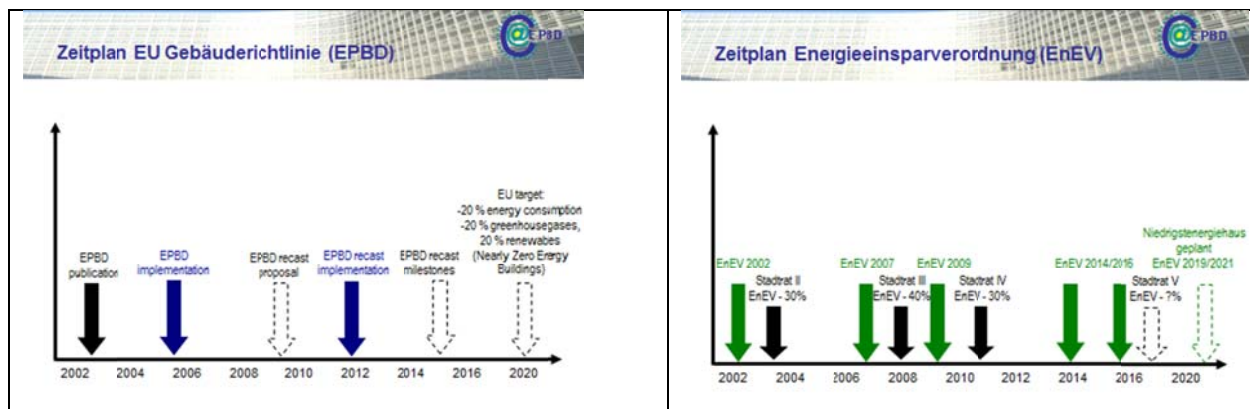


Bild 4: Anforderungsanpassungen bedingt durch die EU Gebäuderichtlinie und die Energieeinsparverordnung bis zum Jahr 2021 (Stand 2016).

Vorreiter bei der Festschreibung der Nutzung von erneuerbaren Energien war Baden-Württemberg mit dem bereits 2008 eingeführten landeseigenen Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG BW). Erst ab 2009 galt das bundesweite Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG 2009). Inzwischen gilt seit 2011 das novellierte EEWärmeG 2011 [4]. Dieses greift auch im Bestand, wenn ein öffentliches Gebäude grundlegend renoviert wird. Neubauten in Baden-Württemberg müssen seit 2009 auch das bundesweite EEWärmeG erfüllen.

Mit Einführung der EnEV 2014 und der Aktualisierung des EEWärmeG wird es erforderlich, die städtischen Anforderungen neu zu formulieren. Im Folgenden werden die Untersuchungen von 2010 fortgeschrieben. Dabei wird die Untersuchung in zwei Teilschritten geführt. Informativ werden die sich aus der Einführung der EnEV 2014 gültigen Veränderungen, die bis zum 31. Dezember 2015 Gültigkeit hatten, aufgezeigt. Daran angefügt wird eine Untersuchung mit der Verschärfung der EnEV-Anforderungen ab 1. Januar 2016 und den daraus resultierenden Empfehlungen für die Stadt Stuttgart.

2 Projektumfang

An ausgewählten exemplarischen Gebäuden, die in den letzten Jahren errichtet wurden, wird untersucht, wie stark die städtischen Vorgaben aus dem Jahr 2010 die kombinierten Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2014 und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes 2011 unterschreiten. Dabei werden in einem ersten Schritt die Anforderungen der EnEV 2014 mit Gültigkeit bis 31. Dezember 2015 und in einem zweiten Schritt die Anforderungen der EnEV 2014 mit Gültigkeit ab 1. Januar 2016 (genannt EnEV 2016) dargestellt und untersucht. Aus den Untersuchungen kann ferner abgeleitet werden, mit welchen Mehraufwendungen welche Einsparung künftig erreicht werden kann und wie sich diese auf die Annuität der Gesamtmaßnahme auswirkt.

Die Untersuchungen wurden an ausgeführten Objekten durchgeführt, über die ausreichende Informationen zu Flächen, Wärmeschutzmaßnahmen und Wärmeversorgungskonzepten vorliegen, um den Arbeitsaufwand möglichst gering zu halten. Daher sind die Untersuchungen zum Wohnungsbau an zwei Objekten fortgeschrieben worden, die bereits in der Studie von 2010 [1] verwendet wurden. Die Untersuchungen zum Nichtwohnungsbau wurden an den gleichen Gebäuden durchgeführt wie in der Studie von 2010. Diese sind ein repräsentatives Schulgebäude und eine Kindertagesstätte.

Die zugrunde gelegten Kosten für Wärmeschutzmaßnahmen sind sowohl der institutseigenen Datenbank als auch einer Untersuchung des Auftraggebers entnommen worden, der darin die Kosten eines städtischen Sanierungsvorhabens - eines Schulgebäudes - hat bestimmen lassen. Etwaige weitere Annahmen wie Energiepreise wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt.

3 Ausgewählte Gebäude

Die Berechnungen erfolgten für insgesamt vier unterschiedliche Gebäude. Dabei handelt es sich um zwei Wohn- und zwei Nichtwohngebäude.

3.1 Wohngebäude

Die Untersuchungen wurden an einem typischen Doppelhaus und an einem Mehrfamilienhaus durchgeführt, die auch bereits in der Vorgänger-Studie zur Fortschreibung des Stuttgarter NEH-Beschlusses herangezogen wurden. Photographien und Grundrisse der beiden Gebäude sind in den Bildern 5 und 6 dargestellt. Die geometrischen Kennwerte der beiden Wohngebäude sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Das Doppelhaus besitzt je Wohnung eine Nutzfläche von 169 m² und ein umbautes beheiztes Volumen von 528 m³. Der Kompaktheitsgrad (AV-Verhältnis) stellt mit 0,68 m⁻¹ einen relativ niedrigen Wert für diese Gebäudegruppe dar. Dies deutet auf eine energiesparende Bauweise hin.



Bild 5:
Grundriss (links) und photographische Ansicht (rechts) des untersuchten Doppelhauses.

Das Mehrfamilienhaus besitzt 36 Wohnungen mit einer gesamten Nutzfläche von 2.802 m² und ein umbautes beheiztes Volumen von 8.757 m³. Der Kompaktheitsgrad (AV-Verhältnis) weist mit 0,43 m⁻¹ einen durchschnittlichen Wert für diese Gebäudegruppe aus. Dieser könnte bei konsequenter Vermeidung von Vor- und Rücksprüngen und der Realisierung einer äußeren Erschließung um mindestens weitere 20 % verbessert werden.

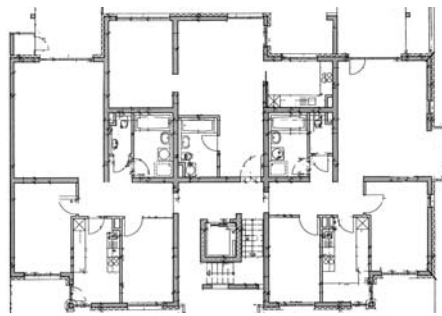


Bild 6:
Grundriss (links) und photographische Ansicht (rechts) des untersuchten Mehrfamilienhauses.

3.2 Nichtwohngebäude

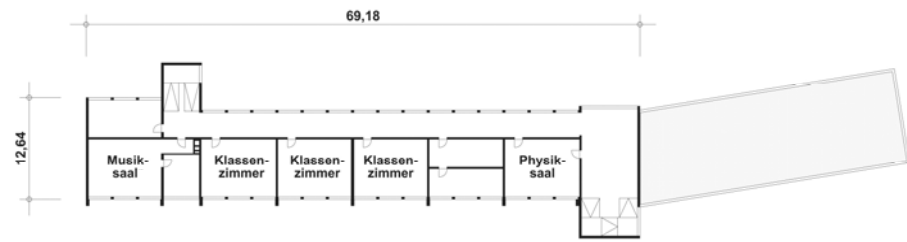
Bei den untersuchten Nichtwohngebäuden handelt es sich um zwei kommunale Gebäude, eine Schule und ein Kindergarten. Fotos, Grundrisse und Schnitte der Gebäude sind in den Bildern 7 bis 10 dargestellt. Die geometrischen Kennwerte der Gebäude sind in Tabelle 1 zusammengestellt.



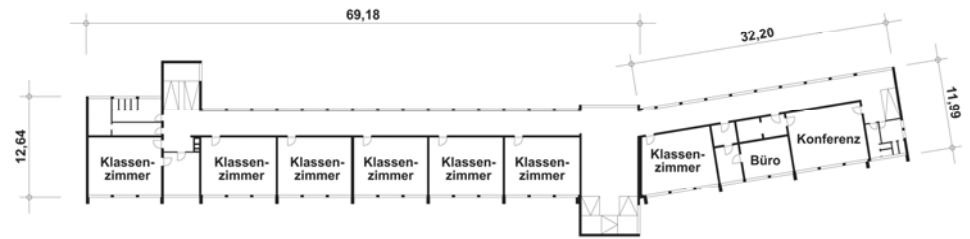
Bild 7:
Photographische Ansicht der untersuchten Schule.

Das ausgewählte Schulgebäude entspricht einer klassischen Grundschule, wie sie bereits umfangreich in Stuttgart realisiert wurde. Es besitzt eine Nettogrundfläche von 2.893 m^2 und ein umbautes beheiztes Volumen von 12.853 m^3 , in dem 8 Klassenräume, 8 Fachräume, das Rektorat mit Schulverwaltung sowie eine weitere Anzahl kleinerer Sonderräume untergebracht sind. Der Kompaktheitsgrad (AV-Verhältnis) weist mit $0,42 \text{ m}^{-1}$ einen niedrigen Wert für diese Gebäudegruppe auf. Dies deutet auf eine energiesparende Architektur hin.

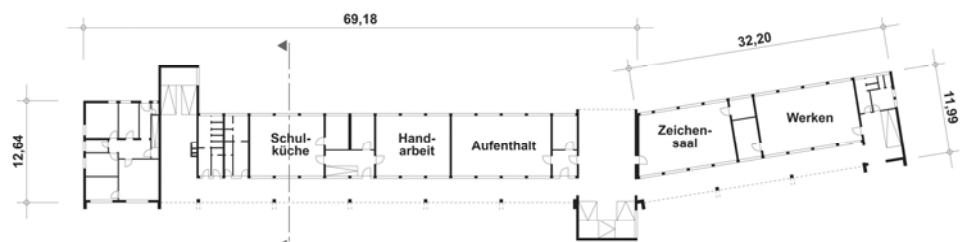
Für die energetischen Berechnungen wurde das Schulgebäude in vier unterschiedliche Nutzungsbereiche zониert. Hierzu wurden jeweils alle Unterrichtsräume (47 %), die Schulverwaltung (4 %), die Flure und Nebenflächen (34 %), sowie die Kellerräume (15 %) zusammengefasst.



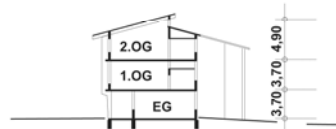
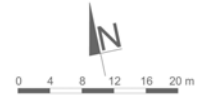
2. Obergeschoss



1. Obergeschoss



Erdgeschoss



Schnitt

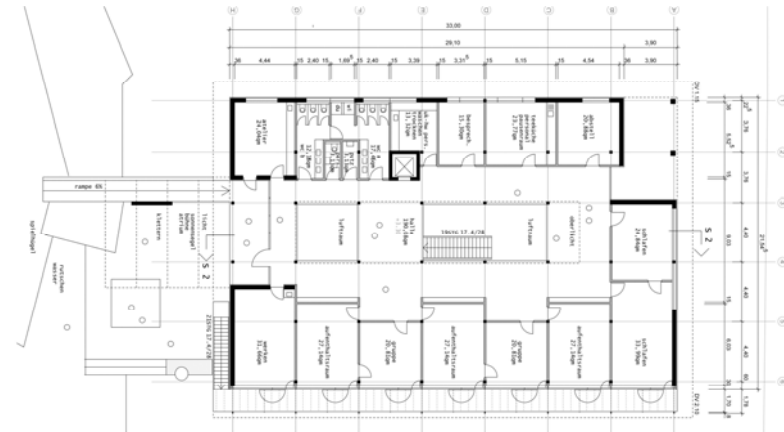
Bild 8:
Grundrisse und Schnitt des untersuchten Schulgebäudes.



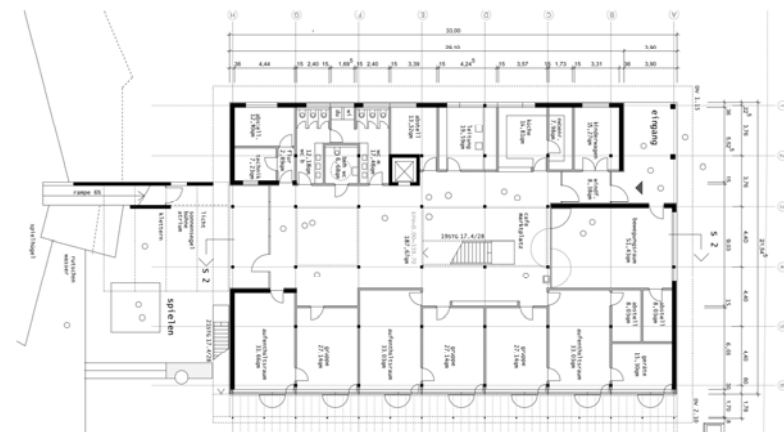
Bild 9:
Photographische Ansicht des untersuchten Kindergartens.

Der ausgewählte Kindergarten entspricht einer klassischen Tageseinrichtung für Kinder, wie sie bereits umfangreich in Stuttgart realisiert wurde. Er besitzt eine Nettogrundfläche von 1.127 m^2 und ein umbautes beheiztes Volumen von 4.626 m^3 , in dem 6 Gruppen- und 6 Aufenthaltsräume sowie weitere Sonderräume und ein großräumiges gemeinsam nutzbares Foyer mit diversen Nebenräumen und der Verwaltung untergebracht sind. Der Kompaktheitsgrad (A/V-Verhältnis) weist mit $0,47 \text{ m}^{-1}$ einen normalen Wert für diese Gebäudegruppe auf.

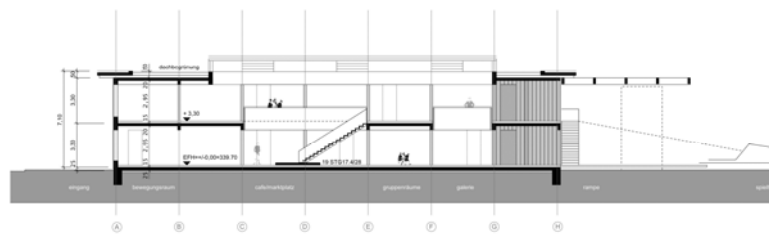
Für die energetischen Berechnungen wurde der Kindergarten in zwei unterschiedliche Nutzungsbereiche zониert. Hierzu wurden alle Gruppen- und Aufenthaltsräume (48 %) zu einem Nutzungsbereich zusammengefasst. Der Rest der Gebäudenutzfläche wird durch ein Foyer mit Nebenräumen (52 %) abgedeckt.



Obergeschoss



Erdgeschoss



Schnitt

Bild 10:
Grundrisse und Schnitt des untersuchten Kindergartens.

Die geometrischen Kennwerte aller untersuchten Gebäude sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1:
Zusammenstellung der geometrischen Kennwerte aller untersuchten Gebäude.

Geometrische Kenngröße		Einheit	Gebäudetyp			
			Doppelhaushälfte	Mehrfamilienhaus	Schulgebäude	Kinder-garten
Nutzfläche A_N bzw. Nettogrundfläche A_{NGF}		m ²	169	2.802	3.404	1.127
Volumen V		m ³	528	8.757	12.853	4.626
Wärmetauschende Hüllfläche	Kellerdecke / Bodenplatte	m ²	97	812	976	660
	Außenwand	m ²	123	1.448	2.126	563
	Fenster	m ²	34	690	732	310
	Dach / oberste Geschossdecke	m ²	104	812	1.517	660
	Summe	m ²	358	3.762	5.351	2.193
A/V-Verhältnis		m ⁻¹	0,68	0,43	0,42	0,47

4 Bewertungsmethoden

Das Anforderungsniveau des derzeitigen Gemeinderatsbeschlusses basiert auf den Anforderungen und der Bewertungsmethode nach der Energieeinsparverordnung aus dem Jahre 2009 und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) aus 2009 mit einer 30 %igen Unterschreitung des Anforderungsniveaus. Im Jahr 2014 wurde von der Bundesregierung im Hinblick auf die energiepolitischen Ziele 2050 die Energieeinsparverordnung aktualisiert und trat zum 1. Mai 2014 in ihrer neuen Fassung EnEV 2014 in Kraft. Darin wurde zeitgleich eine weitere Verschärfung der Anforderungen zum 1. Januar 2016 festgeschrieben.

4.1 Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 / 2016

Mit Einführung der EnEV 2014 änderten sich die Anforderungen an die Energieeffizienz vorerst nur geringfügig. Das in der EnEV beschriebene Referenzgebäude, aus dem der maximal zulässige Primärenergiebedarf resultiert, wurde im Wesentlichen unverändert aus der EnEV 2009 übernommen. Durch die Einbeziehung der aktualisierten DIN V 18599-2011 [5] änderten sich der Referenzstandort (jetzt Potsdam), diverse Berechnungsansätze und der Primärenergiefaktor für Strom. In der EnEV 2009 galt ein Primärenergiefaktor für Strommix von 2,6, dieser wurde ab 1. Mai 2014 mit 2,4 angesetzt und wird ab 1. Januar 2016 mit 1,8 berücksichtigt. Die Formulierung und die Höhe der Anforderung an den baulichen Wärmeschutz (Nebenanforderung) blieb bis 31. Dezember 2015 unverändert.

Ab dem 1. Januar 2016 gibt es eine Verschärfung des Anforderungsniveaus durch Senkung des Primärenergiebedarfs um 25 % beim Neubau. Die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz wird in Anlehnung an die Methodik der Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) im Wohnungsbau mit einem Maximalwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts aus der baulichen Qualität des Referenzgebäudes festgelegt. Es muss sowohl der Höchstwert nach EnEV 2014, Anlage 1, Tabelle 2 als auch der entsprechende Wert des Referenzgebäudes eingehalten werden und es gilt:

$$H'_{T,Wohng Gebäude} \leq 1,0 * H'_{T,Referenzgebäude} \leq H'_{T,max}$$

Für Nichtwohngebäude gelten weiterhin zulässige mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) für opake und transparente Bauteile.

Es ergeben sich ferner Änderungen in den Vorgaben für die Dokumentation, die zum Beispiel die Einführung der Pflicht zur Angabe energetischer Kennwerte in Immobilienanzeigen bei Verkauf und Vermietung vorsieht. Zusätzlich wurden die Energieeffizienzklassen A+ bis H eingeführt.

4.2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) 2011

Flankierend zur Energieeinsparverordnung gelten die Anforderungen des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG), das zum 1. Januar 2009 in Kraft trat und zum 20. Oktober 2015 um Gebäude für die Unterbringung von Asylbegehrenden und Flüchtlingen ergänzt wurde. Hier werden zeitlich befristete Erleichterungen im Bauplanungsrecht geschaffen und in eng begrenztem und klar umrissenem Umfang weitere punktuelle Erleichterungen hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien im Gebäude vorgesehen.

Weiter gilt für Eigentümer von Gebäuden, die neu gebaut werden, dass der Wärmebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien gedeckt wird. Diese Nutzungspflicht trifft alle Eigentümer, egal ob Private, Staat oder Wirtschaft. Das gilt auch, wenn die Immobilie vermietet wird. Genutzt werden können alle Formen von erneuerbaren Energien. Wer keine erneuerbaren Energien einsetzen will, kann Ersatzmaßnahmen ergreifen: Eigentümer können ihr Haus stärker dämmen, Wärme aus Fernwärmenetzen beziehen oder Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) nutzen.

5 Durchgeführte Berechnungen

Für die einzelnen Typgebäude wurden unterschiedliche energetische Niveaus (Unterschreitung Anforderungen der Energieeinsparverordnung) berechnet und dabei die bauliche Ausführung, also die Dämmqualität der Hüllflächen, und die eingesetzte Anlagentechnik variiert. Zuerst wurde untersucht, inwieweit die bisherigen erhöhten Anforderungen der Stadt Stuttgart für städtische Gebäude und Gebäude auf städtischen Grundstücken (auf Basis der Bewertungsmethode der Energieeinsparverordnung 2009) mit den Anforderungen aus der neuen

Energieeinsparverordnung 2014 korrespondieren. Im zweiten Schritt wurde untersucht, wie wirtschaftlich sich eine Fortschreibung der erhöhten Anforderungen der Stadt Stuttgart in Bezug auf die neue Energieeinsparverordnung und die veränderten wirtschaftlichen Randbedingungen darstellt.

Die Berechnungen wurden für unterschiedliche anlagentechnische Ausstattungen in den Gebäuden durchgeführt. Für die Wohn- und Nichtwohngebäude wurden je vier verschiedene Anlagenkonfigurationen untersucht.

Für die Wohngebäude wurden die folgenden im Beiblatt der DIN V 4701-10 [6] definierten Heizanlagenvarianten zugrunde gelegt: Brennwertkessel mit Blockheizkraftwerk mit konventioneller Warmwasserbereitung, Fernwärmeanschluss mit konventioneller Warmwasserbereitung bzw. Holzpelletkessel mit (Einfamilienhaus) und ohne (Mehrfamilienhaus) solarer Warmwasserbereitung sowie Erdreich-Wärmepumpe mit (Einfamilienhaus) bzw. ohne (Mehrfamilienhaus) solarer Warmwasserbereitung. Hierbei wurde angenommen, dass im Einfamilienhaus der Wärmeerzeuger innerhalb des beheizten Volumens aufgestellt ist und im Mehrfamilienhaus außerhalb der thermischen Hülle. Für die Mehrfamilienhäuser wird die Trinkwarmwasserbereitung ergänzend mit Frischwasserstationen sichergestellt. Eine Übersicht der eingesetzten Technologien zeigen die Tabellen 2 und 3.

Einfamilienhaus (Doppelhaushälfte)

Tabelle 2:
Zusammenstellung der anlagentechnischen Kennwerte der untersuchten Varianten für das Einfamilienhaus.

Variante		Beschreibung	Beiblattanlage
A	Gasbrennwertkessel + BHKW mit konventioneller Warmwasserbereitung	Gasbrennwertkessel + BHKW (Nutzungsgrad 0,8; Stromkennzahl (P_{el} / P_{therm}) 0,75; Energieträger Gas $f_p = 1,1$), innerhalb der Gebäudehülle, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 55 / 45 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral ohne Zirkulation, Verteilung innerhalb der Gebäudehülle, indirekt beheizter Speicher innerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	20 zzgl. BHKW
B	Fernwärmeanschluss mit konventioneller Warmwasserbereitung	Fernwärme aus KWK (fossiler Brennstoff) $f_{p, Stuttgart} = 0,5484$ innerhalb der Gebäudehülle, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 55 / 45 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral ohne Zirkulation, Verteilung innerhalb der Gebäudehülle, indirekt beheizter Speicher innerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	68
C	Holzpelletkessel mit solarer Warmwasserbereitung *	Holzpelletkessel innerhalb der Gebäudehülle, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 70 / 55 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW solar, zentral ohne Zirkulation, Verteilung innerhalb der Gebäudehülle, Solarspeicher innerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	77 ohne Zirkulation
D	Erdreich-Wärmepumpe mit solarer Warmwasserbereitung *	Erdreich-Wärmepumpe mit Pufferspeicher innerhalb der Gebäudehülle, Fußbodenheizung, Einzelraumregelung mit Zweipunktregler 0,5 K; 35 / 28 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW solar, zentral ohne Zirkulation, Verteilung innerhalb der Gebäudehülle, Solarspeicher innerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	52.1 zzgl. Solar-WW, ohne Zirkulation

* Die Größe der Solaranlage wird nach EEWärmeG bestimmt

Mehrfamilienhaus

Tabelle 3:

Zusammenstellung der anlagentechnischen Kennwerte der untersuchten Varianten für das Mehrfamilienhaus.

Variante		Beschreibung	Beiblattanlage
A	Gasbrennwertkessel + BHKW TWW mit Frischwasserstation	Gasbrennwertkessel (Kombikessel) + BHKW (Nutzungsgrad 0,8; Stromkennzahl (P_{el} / P_{therm}) 0,75; Energieträger Gas $f_p = 1,1$) außerhalb der Gebäudehülle mit Pufferspeicher, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 55 / 45 °C, Verteilung horizontal außen und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral, ohne Zirkulation, Frischwasserstation, Verteilung außerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	17 zzgl. BHKW ohne Zirkulation
B	Fernwärmeanschluss TWW mit Frischwasserstation	Fernwärme aus KWK (fossiler Brennstoff) $f_{p, Stuttgart} = 0,5484$ außerhalb der Gebäudehülle mit Pufferspeicher, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 55 / 45 °C, Verteilung horizontal außen und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral ohne Zirkulation, Frischwasserstation, Verteilung außerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	65 ohne Zirkulation
C	Holzpelletkessel TWW mit Frischwasserstation	Holzpelletkessel außerhalb der Gebäudehülle mit Pufferspeicher, Heizkörper an Außenwand, Thermostatventile 1 K, 70 / 55 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral ohne Zirkulation, Frischwasserstation, Verteilung innerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	72 ohne Zirkulation
D	Erdreich-Wärmepumpe TWW mit Frischwasserstation	Erdreich-Wärmepumpe mit Pufferspeicher außerhalb der Gebäudehülle, Fußbodenheizung, Einzelraumregelung mit Zweipunktregler 0,5 K; 35 / 28 °C, Verteilung horizontal und vertikal innen, geregelte Pumpe, WW zentral ohne Zirkulation, Frischwasserstation, indirekt beheizter Speicher außerhalb der Gebäudehülle, keine mechanische Lüftung	52 ohne Zirkulation

Für die Nichtwohngebäude wurden die Anlagenkonfigurationen wie für die Mehrfamilienhäuser gewählt. Für die Warmwasserbereitung und die Beleuchtung wurden die folgenden Festlegungen getroffen:

- Warmwasserbereitung: Schule keine Trinkwarmwasserbereitung, Kindergarten Trinkwarmwasserbereitung mit Frischwasserstation.
- Beleuchtung: verlustarme Vorschaltgeräte, direkte Beleuchtung.

5.1 Vergleich der Bewertungsmethoden EnEV 2009 und EnEV 2014 / 2016

Die Untersuchungen umfassen Berechnungen für definierte bauliche und anlagentechnische Konfigurationen, die eine Unterschreitung des maximal zulässigen Primärenergiebedarfs und, als Nebenanforderung, des spezifischen Transmissionswärmeverlusts H'_T (Wohngebäude) bzw. des mittleren U-Wertes (Nichtwohngebäude) sicherstellen. Nach dem derzeit gültigen Gemeinderatsbeschluss wurde nach der Energieeinsparverordnung 2009 eine 30 %ige Unterschreitung (Fall Alt) erreicht. Für Nichtwohngebäude wurde die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz mit 20 % unterschritten.

Wie unter 4.1. beschrieben, ergeben sich Änderungen zwischen den Berechnungsalgorithmen und Randbedingungen der EnEV 2009 und der EnEV 2014, die eine direkte Vergleichbarkeit nicht mehr zulassen. Es wird daher als Ausgangsfall für weitere Betrachtungen die EnEV 2014 mit ihrem Referenzgebäude als Basis (Fall 0) gewählt. Das Referenzgebäude erfüllt dabei im Wohnbereich den KfW-Effizienzhaus 70-Standard. Als weitere Varianten wurden Unterschreitungen der Anforderungen der EnEV um 45 % und um 60 % untersucht. Die einzuhaltenen Grenzwerte sind in Tabelle 4 gezeigt.

Tabelle 4:
Anforderung an den einzuhaltenen Primärenergiebedarf und die Qualität der thermischen Hülle für die verschiedenen Varianten auf Basis der EnEV 2009 bzw EnEV 2014 (bis 31. Dezember 2015).

Fall	Wohnen		Nichtwohnen	
Alt	Gemeinderat: EnEV 2009 -30 % (Nebenanforderung -15 %) KfW-Effizienzhaus 70	$Q_p = 0,70 * Q_p$ $H'_T = 0,85 * H'_{T Ref}$	Gemeinderat: EnEV 2009 -30 % (Nebenanforderung -20 %)	$Q_p = 0,70 * Q_p$ $\bar{U} = 0,80 * \bar{U}_{max}$
0	EnEV 2014 -30 % (Nebenanforderung -15 %) KfW-Effizienzhaus 70	$Q_p = 0,70 * Q_p$ $H'_T = 0,85 * H'_{T Ref}$	EnEV 2014 -30 %	$Q_p = 0,70 * Q_p$ $\bar{U} = 0,70 * \bar{U}_{max}$
1	EnEV 2014 -45 % (Nebenanforderung -30 %) KfW-Effizienzhaus 55	$Q_p = 0,55 * Q_p$ $H'_T = 0,70 * H'_{T Ref}$	EnEV 2014 -45 %	$Q_p = 0,55 * Q_p$ $\bar{U} = 0,55 * \bar{U}_{max}$
2	EnEV 2014 -60 % (Nebenanforderung -45 %) KfW-Effizienzhaus 40	$Q_p = 0,40 * Q_p$ $H'_T = 0,55 * H'_{T Ref}$	EnEV 2014 -60 %	$Q_p = 0,40 * Q_p$ $\bar{U} = 0,40 * \bar{U}_{max}$

Im Zuge der laufenden Bearbeitung haben sich weitere Aktualisierungen der EnEV 2014 ergeben. Ab dem 1. Januar 2016 trat die Verschärfung des Anforderungsniveaus der EnEV 2014 mit der Senkung des Primärenergiebedarf sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude um 25 % in Kraft. Zur Übersichtlichkeit wird im Folgenden die Bezeichnung EnEV 2016 geführt, die auf der EnEV 2014 mit Änderungen zum 1. Januar 2016 basiert.

Für alle Gebäude aus Ziffer 3 wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Anforderungsniveaus auf den baulichen Wärmeschutz bei Variation der Anlagentechnik ermittelt. Die Basis für den anstehenden Vergleich der Unterschreitungen bildet die EnEV 2016 mit ihrem Referenzgebäude. Es wird dabei untersucht, wie sich unter Beibehaltung der vier unterschiedlichen Anlagensysteme der Wärmeschutz der Gebäude jeweils verändern muss, um die Anforderungen der EnEV 2016 um 20 % bzw. 35 % zu unterschreiten. Da mit der Einführung der EnEV 2016 bereits eine 25 %ige Unterschreitung der primärenergetischen Anforderung erforderlich ist, ergeben sich gegenüber der EnEV 2014 (gültig bis 31. Dezember 2015) Unterschreitungen von 45 % und 55 %.

Ab 1. April 2016 entfällt die Förderung für das KfW-Effizienzhaus 70. Zur Weiterführung der Bezeichnungen KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40 mit entsprechenden Unterschreitungen der Anforderung für den Primärenergiebedarf und den spezifischen Transmissionswärmeverlust wird die Abminderung nach EnEV Anlage 1, Tabelle 1, Zeile 1.0 nicht angewendet. Daher wird im Folgenden das entsprechende KfW-Effizienzhausniveau in Klammern geführt.

Aus den neuen Randbedingungen ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten einzuhaltenden Grenzwerte.

Tabelle 5:
Anforderung an den einzuhaltenen Primärenergiebedarf und die Qualität der thermischen Hülle für die verschiedenen Varianten auf Basis der EnEV 2009 bzw EnEV 2016 (entspricht EnEV 2014 ab 1. Januar 2016).

Fall	Wohnen		Nichtwohnen	
Alt	Gemeinderat: EnEV 2009 -30 % (Nebenanforderung -15 %) KfW-Effizienzhaus 70	$Q_p = 0,70 * Q_{p,ref}$ $H'_T = 0,85 * H'_{T Ref}$	Gemeinderat: EnEV 2009 -30 % (Nebenanforderung -20 %)	$Q_p = 0,70 * Q_p$ $\bar{U} = 0,80 * \bar{U}_{max}$
0	EnEV2016	$Q_p = Q_{p,ref}$ $H'_T = H'_{T Ref}$	EnEV 2016	$Q_p = Q_{p,ref}$ $\bar{U} = \bar{U}_{max}$
1	EnEV 2016 -20 % (Nebenanforderung -30 %) (KfW-Effizienzhaus 55)	$Q_p = 0,80 * Q_{p,ref}$ $H'_T = 0,70 * H'_{T Ref}$	EnEV 2016 -20 %	$Q_p = 0,80 * Q_p$ $\bar{U} = 0,70 * \bar{U}_{max}$
2	EnEV 2016 -35 % (Nebenanforderung -45 %) (KfW-Effizienzhaus 40)	$Q_p = 0,65 * Q_{p,ref}$ $H'_T = 0,55 * H'_{T Ref}$	EnEV 2016 -35 %	$Q_p = 0,65 * Q_p$ $\bar{U} = 0,55 * \bar{U}_{max}$

5.2 Ergebnisse der Unterschreitung der Anforderung der Energieeinsparverordnung EnEV 2014 (bis 31. Dezember 2015)

Die Ergebnisse der EnEV 2014 mit Gültigkeit bis 31. Dezember 2015 werden informativ dargestellt.

5.2.1 Wohngebäude

Für die beiden Wohngebäude wurden für die vier untersuchten Anlagenkonfigurationen die Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle zur Erfüllung der städtischen Vorgaben wie folgt ermittelt:

- Fall Alt: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2009 KfW-Effizienzhaus 70 (70 % Q_p ; 85 % H'_T)
- Fall 0: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2014 KfW-Effizienzhaus 70 (70 % Q_p ; 85 % H'_T)
- Fall 1: EnEV 2014 -55 % KfW-Effizienzhaus 55 (55 % Q_p ; 70 % H'_T)
- Fall 2: EnEV 2014 -60 % KfW-Effizienzhaus 40 (40 % Q_p ; 55 % H'_T)

Einfamilienhaus

In Tabelle 6 ist der einzuhaltende Wärmeschutz der Außenbauteile (in W/m^2K) und die sich daraus ergebenden in Verbindung mit den anlagentechnischen Varianten erzielten End- und Primärenergiebedarfswerte dargestellt. Die schraffiert hinterlegten Felder kennzeichnen dabei die maßgebende Größe zur Einhaltung des jeweiligen Standards. Dabei muss sowohl die Hauptanforderung an den zulässigen Primärenergiebedarf als auch die Nebenanforderung an den baulichen Mindestwärmeschutz erfüllt sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei fast allen Varianten die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz die maßgebende Größe zum Erreichen des jeweiligen Effizienzhaus-Standards ist.

Tabelle 6:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2014-Gebäudetyp „Einfamilienhaus“ (Doppelhaushälfte).

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel + BHKW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	68,0	64,1	58,98	2,17	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	61,3	49,2	84,29	2,03	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV2014 -45 %) * 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	48,2	45,0	66,46	1,91	0,27	0,27	0,12	0,12	1,1	0,25
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV2014 -60 %) ** 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,0	33,3	46,84	1,83	0,21	0,15	0,08	0,08	0,8	0,14

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!; ** Abluftanlage und $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	68,0	50,5	86,67	1,14	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	61,3	46,4	80,08	1,05	0,33	0,33	0,2	0,18	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	48,2	40,8	70,24	0,96	0,27	0,27	0,12	0,12	1,1	0,25
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) * 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,0	33,8	57,97	0,82	0,21	0,19	0,10	0,12	0,8	0,25

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlage Typ C: Holzpellets + solares TWW ***

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	68,0	36,0	143,94	3,61	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	61,3	27,9	108,33	3,29	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	48,2	25,3	96,07	3,11	0,27	0,27	0,12	0,12	1,1	0,25
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,0	22,6	84,28	2,92	0,21	0,21	0,10	0,10	0,8	0,14

Heizanlage Typ D: Erdreich-Wärmepumpe + solares TWW ***

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	68,0	51,1	-	19,64	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	61,3	43,4	-	18,08	0,33	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	48,2	37,6	-	15,67	0,27	0,27	0,12	0,12	1,1	0,25
2	KfW Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,0	31,8	-	13,24	0,21	0,21	0,10	0,10	0,8	0,14

*** Die Größe der Solaranlage wird nach EEWärmeG angesetzt

Mehrfamilienhaus

Tabelle 7 zeigt den einzuhaltenden Wärmeschutz der Außenbauteile (in W/m^2K) und die sich daraus ergebenden in Verbindung mit den anlagentechnischen Varianten erzielten End- und Primärenergiebedarfswerte für die Mehrfamilienhäuser. Die farbig hinterlegten Felder kennzeichnen dabei die maßgebende Größe zur Einhaltung des jeweiligen Standards.

Die Ergebnisse zeigen, wie die des Einfamilienhauses, einen analogen Trend. Auch hier ist die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz die maßgebende Größe zum Erreichen der entsprechenden EnEV-Unterschreitung.

Tabelle 7:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2014-Gebäudetyp „Mehrfamilienhaus“ (MFH).

Heizanlage Typ A: Gasbrennwertkessel (verb.) + BHKW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Thermische Qualität der Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	57,4	52,5	50,86	0,68	0,41	0,41	0,18	0,20	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	52,0	50,8	80,39	0,75	0,41	0,41	0,18	0,2	1,1	0,30
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) * 55 % $Q_{P, \text{ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	40,6	39,1	60,70	0,69	0,34	0,29	0,10	0,10	1,1	0,20
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) ** 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	29,5	26,2	39,13	0,60	0,27	0,22	0,08	0,08	0,8	0,16

* Abluftanlage und $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!; ** Zu- und Abluftanlage mit WRG 75 % und $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlage Typ B: Fernwärme KWK

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Thermische Qualität der Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	57,4	41,0	71,50	0,69	0,41	0,41	0,18	0,20	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	52,0	43,5	76,03	0,74	0,41	0,41	0,18	0,2	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) * 55 % $Q_{P, \text{ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	40,6	34,2	59,36	0,67	0,34	0,34	0,10	0,10	1,1	0,20
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) ** 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	29,5	28,8	49,89	0,62	0,27	0,22	0,08	0,08	0,80	0,16

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!; ** Abluftanlage und $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlage Typ C: Holzpelletkessel

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Thermische Qualität der Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	57,4	24,3	118,05	0,95	0,41	0,41	0,18	0,20	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	52,0	21,1	100,95	1,01	0,41	0,41	0,18	0,2	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) $55 \% Q_{P, \text{ref}}; 70 \% H'_{T, \text{Ref}}$	40,6	19,3	91,88	0,95	0,34	0,34	0,10	0,10	1,1	0,20
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) $40 \% Q_{P, \text{Ref}}; 55 \% H'_{T, \text{Ref}}$	29,5	17,4	82,41	0,89	0,27	0,27	0,08	0,08	0,8	0,16

Heizanlage Typ D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Thermische Qualität der Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$	$H'_{T, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	57,4	25,2	-	9,67	0,41	0,41	0,18	0,20	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau KfW 70)	52,0	33,0	-	13,76	0,41	0,41	0,18	0,2	1,1	0,35
1	KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014 -45 %) $55 \% Q_{P, \text{ref}}; 70 \% H'_{T, \text{Ref}}$	40,6	29,5	-	12,30	0,34	0,34	0,10	0,10	1,1	0,20
2	KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014 -60 %) $40 \% Q_{P, \text{Ref}}; 55 \% H'_{T, \text{Ref}}$	29,5	26,3	-	10,96	0,27	0,27	0,08	0,08	0,8	0,16

5.2.2 Nichtwohngebäude

Für die beiden Nichtwohngebäude Schule und Kindergarten wurden für die untersuchten Anlagenkonfigurationen die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz der Gebäudehüllteile zur Erfüllung der städtischen Vorgaben wie folgt ermittelt:

- Fall Alt: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2009
EnEV 2009 -30 %
- Fall 0: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2014
EnEV 2014 -30 %
- Fall 1: EnEV 2014 -45 %; (55 % Q_p ; 55 % U_{mittel})
- Fall 2: EnEV 2014 -60 %; (40 % Q_p ; 40 % U_{mittel})

Im Vergleich zu den Wohngebäuden zeigen die Ergebnisse, wie in Tabelle 8 zu sehen, ein etwas geringeres Niveau hinsichtlich der erforderlichen Wärmeschutzmaßnahmen. Diese ergeben sich aufgrund der abweichenden Anforderung an die Nebenbedingung, die hier nicht auf den spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T , sondern auf den mittleren U-Wert der opaken bzw. transparenten Bauteile bezogen wird.

Bis auf Variante A ist die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz die maßgebende Größe zur Einhaltung der Anforderung auch an die Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs. Für die Variante A, die anlagentechnisch durch einen Gasbrennwertkessel mit BHKW betrieben wird, ist für den Fall 1 neben einer Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes zur Einhaltung des Primärenergiebedarfs eine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken erforderlich. Eine weitere Verschärfung der Variante A ist für den Kindergarten aufgrund der hohen wärmedämmtechnischen Anforderungen nicht mehr darstellbar. Die Ergebnisse für die Schule sind in Tabelle 8 und die für den Kindergarten in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 8:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2014-Gebäudetyp „Schule“.

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel (verb.) + BHKW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	88,5	76,76	4,77	0,24	0,21	0,22	0,24	1,1	0,25
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau EnEV -30 %)	83,7	71,0	107,50	4,82	0,24	0,21	0,22	0,24	1,1	0,25
1	EnEV 2014 -45 % * 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	65,8	64,1	95,66	4,75	0,19	0,16	0,16	0,18	1,0	0,2
2	EnEV 2014 -60 % * 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	48,0	48,1	67,00	4,57	0,14	0,08	0,08	0,08	0,8	0,16

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	76,6	115,92	5,01	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,30
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau EnEV -30 %)	83,7	72,1	109,27	5,06	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,30
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	65,8	65,6	98,04	4,95	0,19	0,17	0,18	0,18	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % * 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	48,0	48,0	66,98	4,69	0,14	0,09	0,10	0,10	0,8	0,12

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp C: Holzpelletkessel

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	38,4	139,61	4,83	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau EnEV-30 %)	83,7	36,3	132,68	4,90	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,35
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	65,8	34,4	123,08	4,84	0,19	0,19	0,2	0,22	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	48,0	30,1	101,51	4,72	0,14	0,14	0,14	0,14	0,8	0,25

Heizanlagentyp D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	86,7	-	33,33	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau EnEV -30 %)	83,7	69,1	-	28,8	0,24	0,24	0,26	0,26	1,1	0,35
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	65,8	65,5	-	27,30	0,19	0,19	0,18	0,20	1,1	0,20
2	EnEV 2014 -60 % * 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	48,0	47,4	-	19,76	0,14	0,10	0,10	0,12	0,08	0,16

 * $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Tabelle 9:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2014-Gebäudetyp „Kindergarten“.

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel (verb.) + BHKW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	95,1	82,13	5,26	0,24	0,21	0,22	0,24	1,1	0,25
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2014; Niveau EnEV -30 %)	112,4	95,9	131,39	54,2	0,24	0,21	0,22	0,24	1,1	0,25
1	EnEV 2014 -45 % * 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	88,3	87,5	116,31	5,39	0,19	0,14	0,14	0,14	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	64,2	nicht darstellbar		0,14		nicht darstellbar				

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	86,1	132,35	5,2	0,24	0,22	0,26	0,26	1,3	0,30
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	112,4	87,9	136,73	5,38	0,24	0,22	0,26	0,26	1,3	0,30
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	88,3	81,4	125,01	5,35	0,19	0,19	0,20	0,24	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % * 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	64,2	62,8	91,55	5,25	0,14	0,08	0,08	0,08	0,8	0,14

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlage Typ C: Holzpelletkessel

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	59,0	238,29	5,71	0,24	0,23	0,26	0,26	1,3	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	112,4	46,3	173,84	5,90	0,24	0,23	0,26	0,26	1,3	0,35
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	88,3	43,20	157,64	5,85	0,19	0,19	0,20	0,24	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	64,2	39,50	138,37	5,79	0,14	0,14	0,14	0,14	0,8	0,25

Heizanlage Typ D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	67,5	-	25,96	0,24	0,23	0,26	0,26	1,3	0,35
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	112,4	70,5	-	29,36	0,24	0,23	0,26	0,26	1,3	0,35
1	EnEV 2014 -45 % 55 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % U_m	88,3	65,4	-	27,27	0,19	0,19	0,20	0,24	1,1	0,25
2	EnEV 2014 -60 % 40 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 40 % U_m	64,2	59,7	-	24,87	0,14	0,14	0,14	0,14	0,8	0,25

5.3 Ergebnisse Unterschreitung der Anforderung der Energieeinsparverordnung EnEV 2016 (EnEV 2014 ab 1. Januar 2016)

Die Ergebnisse der EnEV 2014 mit Gültigkeit ab 1. Januar 2016 werden im Folgenden EnEV 2016 benannt.

5.3.1 Wohngebäude

Für das Einfamilienhaus (Doppelhaushälfte) und das Mehrfamilienhaus ergeben sich für die untersuchten Anforderungsniveaus die folgenden baulichen Ausführungsanforderungen in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungssystem:

- Fall Alt: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2009 KfW-Effizienzhaus 70 (70 % Q_P ; 85 % H'_{T})
- Fall 0: EnEV 2016
- Fall 1: EnEV 2016 -20 % (80 % Q_P ; 70 % H'_{T}), (KfW-Effizienzhaus 55)
- Fall 2: EnEV 2016 -35 % (65 % Q_P ; 55 % H'_{T}), (KfW-Effizienzhaus 40)

Die Ergebnisse in den Tabellen 10 und 11 zeigen, dass mit der Anlagenkonfiguration A die Unterschreitung der EnEV-Anforderungen von 20 % an den Primärenergiebedarf nur mit einer Abluftanlage und eine Unterschreitung von 35 % nur mit einer Zu- und Abluftanlage und einer detaillierten Betrachtung der Wärmebrücken erreicht werden kann.

Für die Anlagenkombinationen B bis D ist die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz die maßgebende Größe zur Einhaltung der EnEV-Unterschreitung.

Tabelle 10:

Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2016-Gebäudetyp „Einfamilienhaus“ (Doppelhaushälfte).

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel + BHKW ($f_{p, \text{gas}} = 1,1$ für beide Anlagen), keine Luftaufbereitung

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}}$ $+ Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \text{max}}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	97,2	57,8	58,98	2,17	0,38	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	EnEV 2016	64,1	62,6	88,08	2,06	0,38	0,35	0,20	0,20	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) * 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	51,3	44,5	62,80	1,91	0,27	0,24	0,12	0,12	0,8	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) ** 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	41,7	33,4	44,07	1,81	0,21	0,19	0,12	0,12	0,8	0,25

* Abluftanlage erforderlich; ** Zu- + Abluftanlage, $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK ($f_{p, \text{Fernwärme Stuttgart}} = 0,5484$)

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}}$ $+ Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \text{max}}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	97,2	50,5	86,67	1,14	0,38	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	EnEV 2016	64,1	51,1	89,4	1,14	0,38	0,38	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	51,3	39,6	69,13	0,95	0,27	0,26	0,14	0,16	0,8	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	41,7	34,1	59,45	0,84	0,21	0,20	0,08	0,08	0,8	0,16

Heizanlage Typ C: Holzpellets + solares TWW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	97,2	36,0	143,94	3,61	0,38	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	EnEV 2016	64,1	28,1	118,19	3,43	0,38	0,38	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	51,3	22,8	93,32	3,06	0,27	0,26	0,14	0,16	0,8	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	41,7	20,9	84,37	2,92	0,21	0,21	0,08	0,08	0,8	0,20

Heizanlage Typ D: Erdreich-Wärmepumpe + solares TWW

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	97,2	51,1	-	19,64	0,38	0,33	0,20	0,18	1,1	0,35
0	EnEV 2016	64,1	40,1	-	22,30	0,38	0,38	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	51,3	31,0	-	17,21	0,26	0,26	0,14	0,16	0,8	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	41,7	27,1	-	15,03	0,21	0,21	0,08	0,08	0,8	0,20

Tabelle 11:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2016-Gebäudetyp „Mehrfamilienhaus“.

Heizanlage Typ A: Gasbrennwertkessel + BHKW ($f_{p, \text{gas}} = 1,1$ für beide Anlagen), keine Luftaufbereitung

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h, f} + Q_{w, f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l, f}$	$H'_{T, \text{max}}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	82,0	57,4	61,50	0,64	0,49	0,42	0,14	0,16	1,1	0,25
0	EnEV 2016	54,6	53,5	78,92	0,74	0,49	0,40	0,18	0,20	1,1	0,25
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) * 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	43,7	43,3	63,64	0,70	0,34	0,32	0,14	0,14	1,1	0,20
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) ** 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,5	28,5	41,26	0,61	0,26	0,26	0,10	0,12	0,9	0,20

* Abluftanlage, $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!; ** Zu- und Abluftanlage mit WRG erforderlich!

Heizanlage Typ B: Fernwärme KWK ($f_{p, \text{Fernwärme Stuttgart}} = 0,5484$)

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h, f} + Q_{w, f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l, f}$	$H'_{T, \text{max}}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	82,0	46,5	82,10	0,57	0,49	0,45	0,2	0,28	1,1	0,35
0	EnEV 2016	54,6	45,2	80,00	0,76	0,49	0,45	0,2	0,28	1,1	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	43,7	37,9	66,86	0,69	0,34	0,34	0,14	0,16	0,8	0,35
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) * 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,5	28,6	50,14	0,62	0,26	0,22	0,08	0,08	0,8	0,18

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp C: Holzpellets

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	82,0	26,1	129,07	0,86	0,49	0,45	0,20	0,28	1,1	0,35
0	EnEV 2016	54,6	21,4	105,53	1,05	0,49	0,45	0,20	0,28	1,1	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	43,7	18,7	91,95	0,95	0,34	0,34	0,12	0,12	1,0	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) * 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,5	16,2	79,03	0,86	0,26	0,23	0,10	0,10	0,8	0,20

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

Heizanlagentyp D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}} + Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$H'_{T, \max}$ $H'_{T, \text{Ref}}$	$H'_{T, \text{ist}}$ $U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
0	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau KfW 70)	82,0	24,0	-	9,23	0,49	0,45	0,20	0,28	1,1	0,35
0	EnEV 2016	54,6	26,0	-	14,43	0,49	0,45	0,20	0,28	1,1	0,35
1	EnEV 2016 -20 % (KfW 55) 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $H'_{T, \text{Ref}}$	43,7	22,2	-	12,32	0,34	0,34	0,12	0,12	1,0	0,25
2	EnEV 2016 -35 % (KfW 40) * 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $H'_{T, \text{Ref}}$	35,5	18,8	-	10,44	0,26	0,23	0,10	0,10	0,8	0,20

* $\Delta U_{WB} = 0$ erforderlich!

5.3.2 Nichtwohngebäude

Für die beiden Nichtwohngebäude Schule und Kindergarten wurden für die untersuchten Anlagenkonfigurationen die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz der Gebäudehüllteile zur Erfüllung der städtischen Vorgaben wie folgt ermittelt:

- Fall Alt: Niveau Gemeinderatsbeschluss 2010 auf Basis EnEV 2009 EnEV 2009 -30 %
- Fall 0: EnEV 2016
- Fall 1: EnEV 2016 -20 % (80 % $Q_{p,i}$; 70 % U_{mittel})
- Fall 2: EnEV 2016 -35 % ; 65 % $Q_{p,i}$; 55 % U_{mittel})

Die Ergebnisse der Berechnung sind in den Tabellen 12 und 13 zusammengefasst.

Im Vergleich zu den Wohngebäuden zeigen die Ergebnisse ein etwas geringeres Niveau hinsichtlich der erforderlichen Wärmeschutzmaßnahmen. Dieses ergibt sich aufgrund der abweichenden Anforderung an die Nebenbedingung, die hier nicht auf den spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_{T} , sondern auf den mittleren U-Wert der opaken Bauteile und den mittleren U-Wert der transparenten Bauteile bezogen wird.

Bis auf Variante A ist vornehmlich die Nebenanforderung an den baulichen Wärmeschutz die maßgebende Größe zu Einhaltung der Anforderung auch an die Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs. Für die Variante A, die anlagentechnisch durch einen Gasbrennwertkessel mit BHKW betrieben wird, ist zur Einhaltung des zulässigen Primärenergiebedarfs eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes erforderlich.

Tabelle 12:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2016-Gebäudetyp „Schule“.

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel + BHKW ($f_{p, \text{gas}} = 1,1$ für beide Anlagen), keine Luftaufbereitung

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m, \text{opak, max}}$	$U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	98,9	84,12	4,83	0,35	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	87,1	79,2	118,74	4,90	0,28	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	69,7	68,3	100,69	4,78	0,20	0,17	0,16	0,18	1,1	0,30
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	56,6	55,7	79,69	4,65	0,15	0,1	0,10	0,10	0,8	0,20

Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK ($f_{p, \text{Fernwärme Stuttgart}} = 0,5484$)

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m, \text{opak, max}}$	$U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	79,9	121,79	5,05	0,35	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	87,1	72,3	115,12	5,11	0,28	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	69,7	65,5	103,05	4,99	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$, 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	56,6	54,2	83,0	4,83	0,15	0,12	0,12	0,12	0,9	0,20

Heizanlagentyp C: Holzpellets

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak}, \max}$	$U_{m,\text{opak}, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	88,9	39,6	145,39	4,86	0,35	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	87,1	64,5	138,54	4,93	0,28	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	69,7	31,6	123,60	4,84	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	56,6	28,6	108,20	4,76	0,15	0,15	0,12	0,16	0,9	0,35

Heizanlagentyp D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak}, \max}$	$U_{m,\text{opak}, \text{ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -20 %)	88,9	88,7	-	31,12	0,35	0,22	0,20	0,26	1,3	0,35
0	EnEV 2016	87,1	56,0	-	31,13	0,28	0,23	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	69,7	50,7	-	28,19	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	56,6	45,3	-	25,15	0,15	0,15	0,12	0,16	0,9	0,35

Tabelle 13:
Zusammenstellung der Ergebnisse für den EnEV 2016-Gebäudetyp „Kindergarten“.

Heizanlagentyp A: Gasbrennwertkessel + BHKW ($f_{p, \text{gas}} = 1,1$ für beide Anlagen), keine Luftaufbereitung

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m, \text{opak, max}}$	$U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	104,0	91,13	5,28	0,35	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	117,5	95,1	144,18	5,44	0,28	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	94,0	89,5	134,76	5,42	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	76,4	75,7	111,57	5,37	0,15	0,11	0,10	0,10	0,8	0,25

Heizanlagentyp B: Fernwärme KWK ($f_{p, \text{Fernwärme Stuttgart}} = 0,5484$)

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \text{max}}$	$Q_{p, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h, \text{aux}} + Q_{w, \text{aux}} + Q_{v, \text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m, \text{opak, max}}$	$U_{m, \text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m ² a]				[W/m ² K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV-30 %)	103,8	85,9	131,91	5,20	0,35	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	117,5	84,4	136,25	5,38	0,28	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	94,0	79,4	127,18	5,35	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}}$ / transparent	76,4	71,8	113,53	5,32	0,15	0,15	0,14	0,18	0,9	0,25

Heizanlage Typ C: Holzpellets

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_F	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	58,1	233,86	5,70	0,35	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	117,5	45,8	170,83	5,89	0,28	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}} / \text{transparent}$	94,0	43,7	160,21	5,86	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}} / \text{transparent}$	76,4	37,2	144,39	5,80	0,15	0,15	0,14	0,18	0,9	0,25

Heizanlage Typ D: Erdreich-Wärmepumpe

Fall		Primär-energiebedarf		Endenergiebedarf		Mindestwärmeschutz		Bauteile			
		$Q_{P, \max}$	$Q_{P, \text{ist}}$	Wärme $Q_{h,f} + Q_{w,f}$	Strom $Q_{h,\text{aux}} + Q_{w,\text{aux}}$ $+ Q_{v,\text{aux}} + Q_{l,f}$	$U_{m,\text{opak, max}}$	$U_{m,\text{opak, ist}}$	Dach U_D	Wand U_{AW}	Fenster U_W	Boden U_G
		[kWh/m²a]				[W/m²K]					
alt	Gemeinderatsbeschluss 2010 (Basis EnEV 2009; Niveau EnEV -30 %)	103,8	84,5	-	32,50	0,35	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
0	EnEV 2016	117,5	59,0	-	32,76	0,28	0,22	0,20	0,28	1,3	0,35
1	EnEV 2016 -20 % 80 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 70 % $U_{m, \text{opak}} / \text{transparent}$	94,0	55,8	-	31,02	0,20	0,19	0,20	0,20	1,1	0,35
2	EnEV 2016 -35 % 65 % $Q_{P, \text{Ref}}$; 55 % $U_{m, \text{opak}} / \text{transparent}$	76,4	51,1	-	28,38	0,15	0,15	0,14	0,18	0,9	0,25

6 Wirtschaftlichkeit erhöhter städtischer Anforderungen

Nachdem im vorherigen Abschnitt gezeigt werden konnte, dass Einsparpotentiale bei einer Erhöhung der städtischen Anforderungen erschlossen werden könnten, gilt es in diesem Abschnitt die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten zu analysieren. Hierzu wurden die ermittelten baulichen und wärmedämmtechnischen Verbesserungsmaßnahmen monetär hinsichtlich Mehrinvestitionen und damit realisierbarer Betriebskosteneinsparungen bewertet. Aus den Ergebnissen wurden dann Amortisationszeiten ermittelt.

6.1 Kostenansätze

Die erforderlichen Investitionskosten wurden aus der Datenbank des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik mit über 200 betreuten Demonstrationsbauvorhaben abgeschätzt. In Bild 11 sind die Kostenspektren der baulichen Kosten in Abhängigkeit vom Wärmeschutz der Bauteile dargestellt.

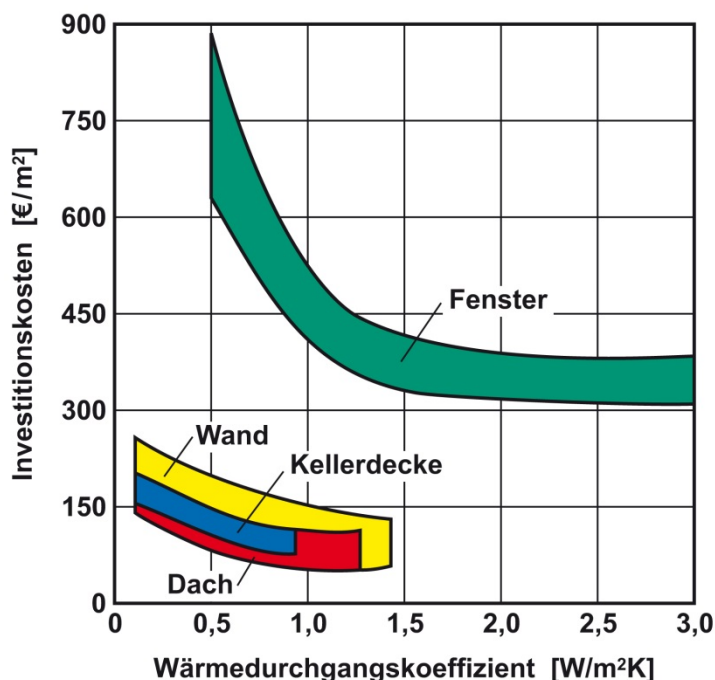


Bild 11:
Spektren von Investitionskosten für wärmedämmende Außenbauteile, ermittelt aus den Abrechnungen der vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik betreuten Demonstrationsbauvorhaben.

Seitens des Hochbauamts der Stadt Stuttgart wurden die Kosten des IBP für den Standort Stuttgart als zu gering eingestuft. In einer Stellungnahme des Hochbauamtes wurden Kosten für 2-Scheiben-verglaste Fenster mit im Mittel 467,50 €/m² und für 3-Scheiben-verglaste Fenster mit im Mittel 675 €/m² angegeben. Die U-Werte der Fenster waren nicht dargestellt und werden für das 2-Scheiben-verglaste Fenster mit $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für das 3-Scheiben-verglaste Fenster mit $U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen. Daraus ergibt sich eine Kostensteigerung von 44 % bei $\Delta U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Diese liegt nach den Kostenansätzen des IBP bei 34 %. Beide Kostenfunktionen sind in Bild 12 gezeigt. Für

die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden im Weiteren nach Absprache mit dem Hochbauamt Stuttgart und dem Auftraggeber die Kosten des IBP angesetzt.

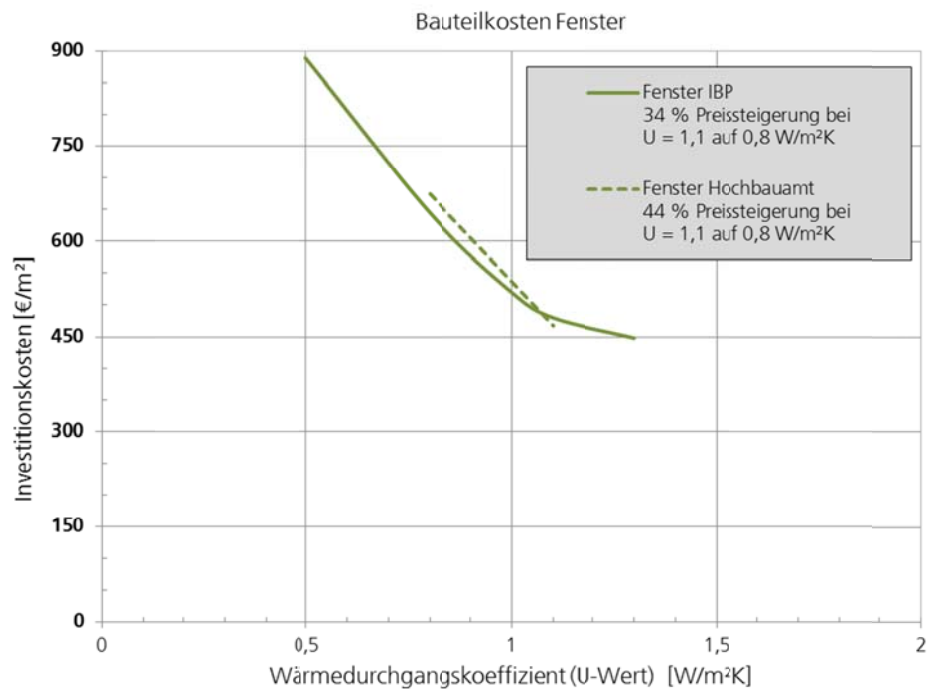


Bild 12:
Kostenfunktion für Fenster.

Für die Außenwand wurden seitens des Hochbauamtes Dämmschichtdicken von 160 mm und 200 mm mit einer zugehörigen Kostenerhöhung von 14 % bis 34 % angegeben. U-Werte waren nicht hinterlegt. Für diese Dämmschichtdicken werden die folgenden U-Werte angesetzt: $U_{AW,160mm} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $U_{AW,200mm} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$; diese können in Abhängigkeit des gesamten Wandaufbaus variieren. Ein zum U-Wert der Wand zugehöriger monetärer Wert ist ebenso nicht dargestellt und es werden als Basisgröße für den U-Wert der Wand mit $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ die Investitionskosten des IBP (234 €/m^2) gewählt. Der Verlauf der Kostenfunktion in Abhängigkeit des U-Werts ist für das Bauteil Außenwand in Bild 13 gezeigt. Für die Kostenansätze des IBP liegt die Preissteigerung bei Verbesserung des U-Wertes um $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei ca. 3 %, beim Ansatz des Hochbauamts bei 14 %. Diese erscheint zu hoch, daher wurde ergänzend eine Kostensteigerung von 7 % eingezeichnet (grüne Gerade). Daneben wurde zudem eine Studie zur Ermittlung von Bauteilkosten unterschiedlicher Dämmstandards und variierender Wand- und Dachaufbauten an das Ingenieurbüro Fisch (IBF) in Auftrag gegeben. Dabei wurden an einem Sanierungsobjekt die Kosten für unterschiedliche Dämmstärken bei analogen Aufbauten für jeweils vier Fassadentypen bestimmt. Die sich aus den verschiedenen Wandkonstruktionen je verbessertem Dämmstandard ergebenden mittleren Kosten sind ergänzend in Bild 13 eingetragen und liefern eine Preissteigerung in Abhängigkeit des U-Wertes von 5 % (bis $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$) bis 9 % (ab $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$).

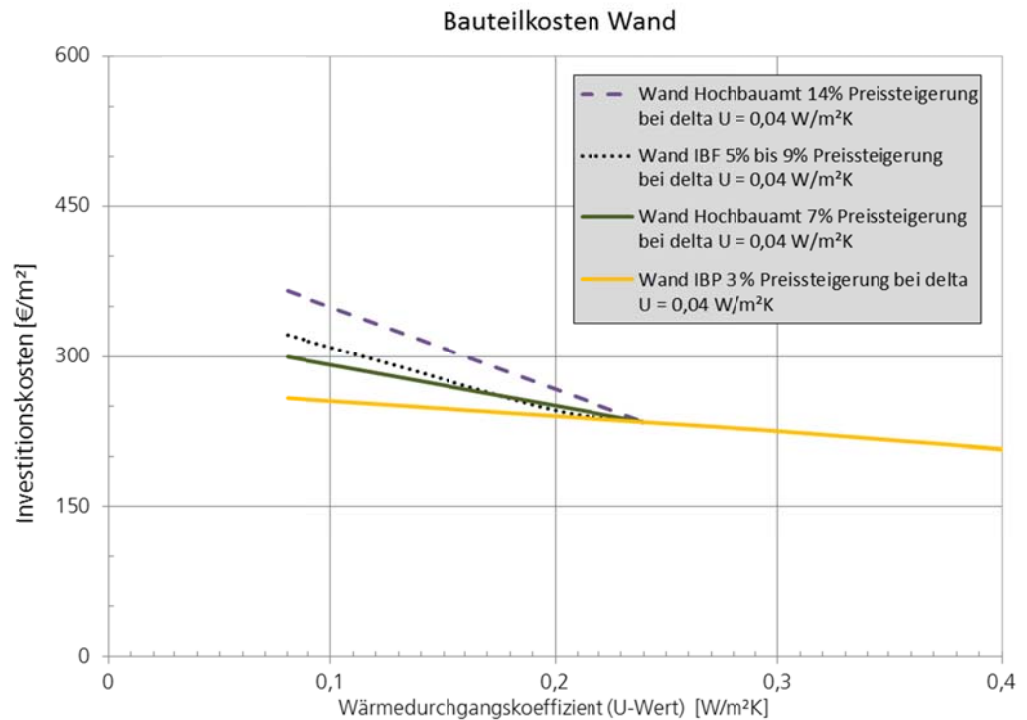


Bild 13: Investitionskosten in Abhängigkeit des U-Wertes für das Bauteil Außenwand.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem Hochbauamt wurden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung die Kosten für das Bauteil Außenwand nach den Berechnungen von IBF angenommen.

Für das Dach wurden seitens des Hochbauamtes Dämmschichtdicken von 190 mm und 260 mm mit einer zugehörigen Kostenerhöhung von 10 % - 15 % angegeben. Für diese Dämmschichtdicken werden die folgenden U-Werte angesetzt: $U_{D,190mm} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $U_{D,260mm} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Diese können in Abhängigkeit des gesamten Dachaufbaus variieren. Ein zum U-Wert des Daches zugehöriger monetärer Wert ist nicht dargestellt, daher werden als Basisgröße für den U-Wert des Daches von $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ die Investitionskosten des IBP (178 €/m^2) gewählt. Die Kostenerhöhung nach den Kostenansätzen des IBP liegt für die Verbesserung des U-Wertes des Daches um $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei ca. 4 %. In Bild 14 sind die Investitionskosten für das Dach nach den Angaben des Hochbauamtes mit einer Kostensteigerung von 10 % (blaue Gerade) und die des IBP zusammengefasst. Ergänzend sind die Investitionskosten für das Dach mit einer Preissteigerung von 5 % nach der Studie des IBF aufgeführt.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und dem Hochbauamt wurden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung die Kosten für das Bauteil Dach nach den Berechnungen von IBF angenommen.

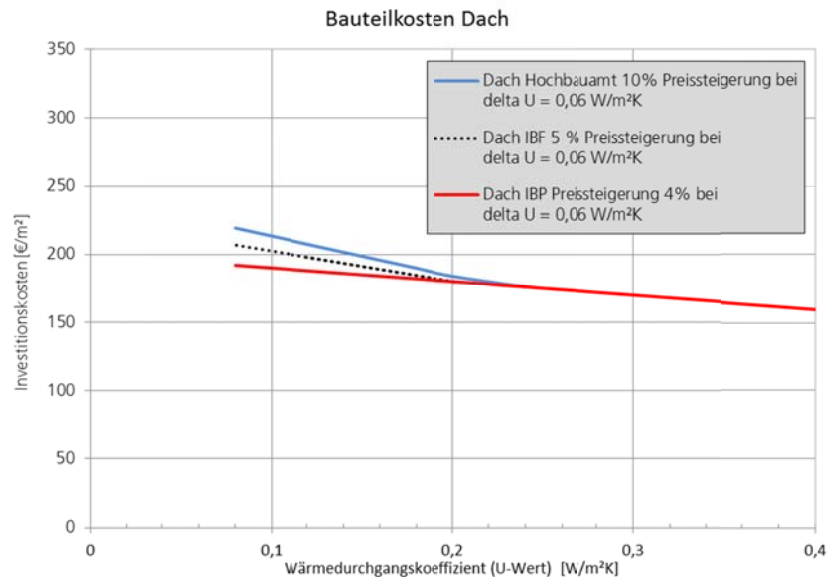


Bild 14:
Investitionskosten in Abhängigkeit des U-Wertes für das Bauteil Dach.

Für das Bauteil Kellerdecke bzw. Bodenplatte wurde für die Kostenermittlung der Mittelwert der Kostenfunktion Kellerdecke aus Bild 11 verwendet.

Die Energiekosten wurden aus Angaben des Amtes für Umweltschutz übernommen und stellen die Energiekosten für private und öffentliche Liegenschaften in Abhängigkeit des Energieverbrauchs, wie in Tabelle 14 gezeigt, dar.

Tabelle 14:
Zusammenstellung der Energiepreise für städtische Liegenschaften in Abhängigkeit des Verbrauchs (Quelle: Amt für Umweltschutz).

Typ	Endenergieverbrauch				Verbrauchspreis brutto			
	Erdgas	Fernwärme	Pellets	Strom	Erdgas	Fernwärme	Pellets	Strom
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[ct/kWh]	[ct/kWh]	[ct/kWh]	[ct/kWh]
EFH (privat)	7.500	12.000	16.000	2.500	6,20	10,07	5,30	26,75
MFH (privat)	170.000	173.000	257.000	37.000	6,07	9,38	5,30	26,75
Kiga (öffentlich)	131.000	141.000	178.000	31.000	7,20	10,70	4,90	23,00
Schule (öffentlich)	325.000	334.000	419.000	92.000	6,90	10,60	4,90	21,40

Für die neu errichteten privaten Liegenschaften wurden Tilgungszuschüsse der KfW je Wohneinheit (WE) von 5.000 €/WE für das KfW-Effizienzhaus 55 und 10.000 €/WE für das KfW-Effizienzhaus 40 berücksichtigt, sowie eine Zinsminderung von 1% der Gesamtinvestition.

6.2 Betriebskosten, Investitionskosten und Amortisationsdauern

Im Folgenden werden für die einzelnen untersuchten Varianten aller Gebäude die Betriebskosten, Investitionskosten und Amortisationsdauern im Vergleich zur EnEV 2016 ermittelt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden statisch durchgeführt. Die Amortisationszeiten werden aus dem Verhältnis der Investitionsmehrkosten zu den Betriebsminderkosten bestimmt. Exemplarisch ist in Bild 15 der Verlauf der Amortisationszeit bei einer konstanten Investition von 20 €/m² bei variierenden Betriebsminderkosten dargestellt. Aufgrund des exponentiellen Verlaufs zeigt sich bei geringen Betriebsminderkosten von unter 1 €/m² ein schneller Anstieg der Amortisationszeit.

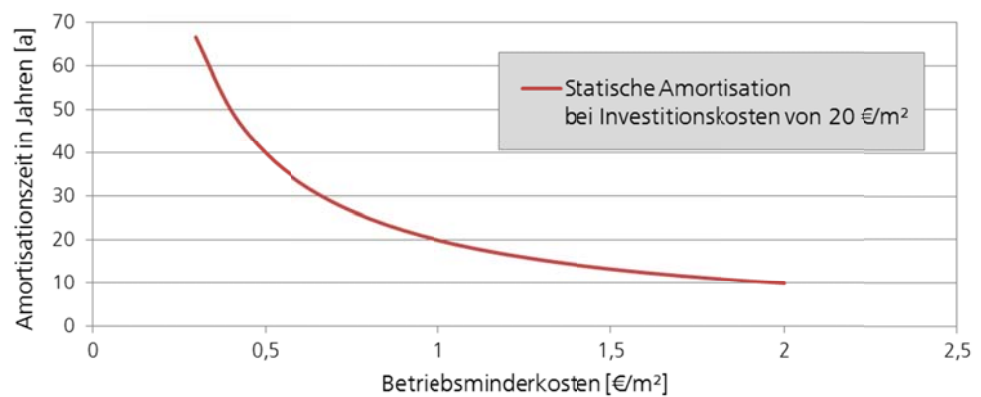


Bild 15:
Amortisationszeit in Abhängigkeit der Betriebsminderkosten bei konstanten Investitionskosten von 20 €/m².

6.2.1 Einfamilienhaus

Für die vier untersuchten Versorgungsvarianten ergeben sich die in Tabelle 15 gezeigten Wirtschaftlichkeitskennwerte.

Tabelle 15:
Endenergieaufwände, Investitionskosten und Amortisation der Varianten A bis D bei Unterschreitung der EnEV 2016 um 20 % und 35 % für das Einfamilienhaus.

EFH		Variante A: Gasbrennwertkessel + BHKW				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	62,80	1,91	5,68	1,61	63	58
35 %	44,07	1,81	4,49	2,80	121	61
EFH		Variante B: Fernwärme				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	69,13	0,95	7,71	2,09	59	28
35 %	59,45	0,84	6,70	3,10	79	26
EFH		Variante C: Holzpelletkessel				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	93,32	3,06	6,25	1,42	59	41
35 %	84,37	2,92	5,74	1,93	77	40
EFH		Variante D: Erdreich-Wärmepumpe				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	-	17,21	5,09	1,36	59	43
35 %	-	15,03	4,51	1,94	77	39

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt, dass die erforderlichen Mehrinvestitionen in einem Zeitraum zwischen 26 und 61 Jahren wiedererwirtschaftet werden können. Dies ist für langfristige Investitionen an der Gebäudehülle, deren Lebensdauer mit 30 (Fenster) bis 50 Jahren (Wände) angesetzt wird, mit Ausnahme der 61 Jahre eine noch akzeptable Zeitspanne. Die geringere Amortisationszeit der Varianten B bis D bei einem höheren Dämmstandard ist auf den im Vergleich zur Investition höheren Tilgungszuschuss der KfW zurückzuführen.

6.2.2 Mehrfamilienhaus

In Tabelle 16 sind die Wirtschaftlichkeitskennwerte für die vier untersuchten Versorgungsvarianten für das Mehrfamilienhaus mit 36 Wohneinheiten gezeigt.

Tabelle 16:
Endenergieaufwände, Investitionskosten und Amortisation der Varianten A bis D bei Unterschreitung der EnEV 2016 um 20 % und 35 % für das Mehrfamilienhaus.

MFH		Variante A: Gasbrennwertkessel + BHKW				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	63,64	0,70	4,14	0,94	-8	-8
35 %	41,26	0,61	2,76	2,32	12	5
MFH		Variante B: Fernwärme				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	66,86	0,70	6,49	1,25	-9	-7
35 %	50,14	0,62	4,90	2,84	-21	-8
MFH		Variante C: Holzpelletkessel				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	91,95	0,95	5,16	0,74	-9	-12
35 %	79,03	0,86	4,45	1,45	-29	-20
MFH		Variante D: Erdreich-Wärmepumpe				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	-	12,32	3,33	0,56	-9	-15
35 %	-	10,44	2,82	1,07	-29	-28

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt, dass die erforderlichen Mehrinvestitionen aufgrund der Tilgungszuschüsse (bis zu 10.000 €/WE) teilweise negativ ausfallen und damit auch zu negativen Amortisationszeiten führen können. Vor allem der höhere Dämmstandard mit einer Unterschreitung der EnEV von 35 % ist für Mehrfamilienhäuser wirtschaftlich erreichbar. Die Amortisationszeit beträgt zwischen 5 und -28 Jahren.

6.2.3 Schule

Tabelle 17 zeigt die Wirtschaftlichkeitskennwerte der untersuchten Versorgungsvarianten für das Schulgebäude.

Tabelle 17:
Endenergieaufwände, Investitionskosten und Amortisation der Varianten A bis D bei Unterschreitung der EnEV 2016 um 20 % und 35 % für die Schule.

Schule		Variante A: Gasbrennwertkessel + BHKW				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	100,69	4,78	7,97	1,27	35	27
35 %	79,69	4,65	6,49	2,75	111	40
Schule		Variante B: Fernwärme				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	103,05	4,99	11,99	1,31	21	17
35 %	83	4,83	9,83	3,46	93	27
Schule		Variante C: Holzpelletkessel				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	123,6	4,84	7,09	0,75	21	29
35 %	108,20	4,76	6,32	1,52	72	48
Schule		Variante D: Erdreich-Wärmepumpe				
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	-	28,19	6,03	0,63	21	34
35 %	-	25,15	5,38	1,28	72	57

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt, dass Mehrinvestitionen zwischen 21 und 111 €/m² erforderlich werden, die in einem Zeitraum zwischen 17 und 57 Jahren wiedererwirtschaftet werden können. Wird nur die Unterschreitung der EnEV um 20 % betrachtet, so beträgt die Amortisationszeit 17 bis 34 Jahre. Dies ist für baukonstruktive Maßnahmen eine akzeptable Zeitspanne. Die Amortisationszeiträume reduzieren sich, sofern die Energiekosten stärker ansteigen als bei den Berechnungen zugrunde gelegt. Eine Unterschreitung der EnEV von 35 % ist für ausgewählte Technologien wie Variante B bis D noch wirtschaftlich vertretbar.

6.2.4 Kindergarten

Für die untersuchten Versorgungsvarianten ergeben sich für den Kindergarten die in Tabelle 18 dargestellten Wirtschaftlichkeitskennwerte.

Tabelle 18:
Endenergieaufwände, Investitionskosten und Amortisation der Varianten A bis D bei Unterschreitung der EnEV 2016 um 20 % und 35 % für den Kindergarten.

Kindergarten	Variante A: Gasbrennwertkessel + BHKW					
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	134,76	5,42	10,95	0,68	20	30
35 %	111,57	5,37	9,26	2,36	117	49
Kindergarten	Variante B: Fernwärme					
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	127,18	5,35	14,84	0,98	20	21
35 %	113,53	5,32	13,37	2,44	69	28
Kindergarten	Variante C: Holzpelletkessel					
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	160,21	5,86	9,20	0,53	20	39
35 %	144,39	5,80	8,41	1,32	69	52
Kindergarten	Variante D: Erdreich-Wärmepumpe					
EnEV 2016 Unterschreitung	Endenergieaufwände			Vergleich mit EnEV 2016		
	Wärmeenergie	Strom	Betriebskosten	Betriebsminderkosten	Investitionsmehrkosten	Amortisation
	kWh/m ² a	kWh/m ² a	€/m ² a	€/m ² a	€/m ²	a
20 %	-	31,02	7,13	0,40	20	51
35 %	-	28,38	6,53	1,01	69	68

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigt, dass Mehrinvestitionen zwischen 20 und 117 €/m² erforderlich werden, die in einem Zeitraum zwischen 21 und 68 Jahren wiedererwirtschaftet werden können. Wird nur die Unterschreitung der EnEV um 20 % betrachtet, so beträgt die Amortisationszeit zwischen 21 und 51 Jahren. Für baukonstruktive Maßnahmen ist diese Amortisationszeit eine noch akzeptable Zeitspanne. Die Amortisationszeiträume reduzieren sich, sofern die Energiekosten stärker ansteigen als bei den Berechnungen zugrunde gelegt.

7 Zusammenfassung

Die Untersuchungen in dieser Studie haben folgendes gezeigt:

- Mit Einführung der EnEV 2016 haben sich die energetischen Anforderungen an zu errichtende Gebäude spürbar gegenüber den Anforderungen der EnEV 2009 erhöht.
- Bei Nichtwohngebäuden können die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz mit einem geringeren Aufwand erfüllt werden als bei Wohngebäuden.
- Ein niedriger Primärenergiebedarf führt nicht automatisch zu kleinen Energieverbräuchen. Besonders Holzpeletttfeuerungen erfordern hohe Energiemengen.
- Anlagensysteme, die ausschließlich mit fossiler Energie betrieben werden, erlauben nur eine begrenzte Reduzierung des Primärenergiebedarfs. Anlagensysteme, die einen wesentlichen Anteil erneuerbarer Energien erschliessen, erlauben wirtschaftliche Reduzierungen der Anforderungen um mehr als 35 %.
- Beim überwiegenden Anteil der Berechnungen stellt die Nebenanforderung, also die Qualität des baulichen Wärmeschutzes, die maßgebende Größe zur Einhaltung der Energieeffizienz des Gebäudes dar.
- Eine Erhöhung der städtischen Anforderungen auf ein Niveau „20 % unter EnEV 2016“ lässt sich mit einer hochwertigen Baukonstruktion mit allen untersuchten Anlagentechniken wirtschaftlich realisieren. Hierbei sind die Bedingungen bei den Nichtwohngebäuden günstiger als bei den Wohngebäuden. Die Mehraufwände können jedoch bei den Wohngebäuden gerade im Mehrfamilienhausbereich häufig durch Tilgungszuschüsse kompensiert werden.
- Die Mehrkosten für energieeffizientere Gebäude bewegen sich im Bereich zwischen 20 und 121 €/m²_{NGF} und erwirtschaften sich ohne Berücksichtigung von Fördermitteln bei den Nichtwohngebäuden im Zeitraum zwischen 17 und 68 Jahren und bei Wohngebäuden mit Berücksichtigung von Fördermitteln im Zeitraum zwischen 26 und 61 Jahren. Bei Mehrfamilienhäusern liegen sogar negative Amortisationszeiten vor. Durch vergleichsweise höhere Fördersummen für energieeffizientere Gebäude amortisiert sich die höhere Unterschreitung der EnEV 2016 (-35 %) dort schneller.

8 Empfehlung für zukünftige städtische Anforderungen

Aufgrund der analysierten Gebäude und Energieniveaus wird der Stadt Stuttgart als neue Anforderung für städtische Gebäude und Gebäude auf städtischen Grundstücken folgendes empfohlen:

Wohngebäude: EnEV 2016 -35 % (Nebenanforderung -45 %)

Dieses, mit dem KfW-Effizienzhaus 40 vergleichbare Niveau stellt sicher, dass die Bauherren attraktive Fördermittel der KfW-Bank in die Finanzierung einbinden können.

Nichtwohngebäude: Mindestanforderung: EnEV 2016 -20 % (Nebenanforderung -30 %)

Beim Einsatz einzelner Technologien (Fernwärme, Holzpelletfeuerung, Wärmepumpe) ist auch eine Unterschreitung von EnEV -35 % (Nebenanforderung -45 %) wirtschaftlich erreichbar.

9 Literatur

- [1] Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig, H.; Staudt, A.: Auswirkung der novellierten Energieeinsparverordnung (EnEV) und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) 2009 auf die Festlegungen im NEH-Beschluss der Landeshauptstadt Stuttgart. Bericht WB 148/2010 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (2010).
- [2] Bundesregierung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Bundesgesetzblatt, Teil 1, Nr. 23 (2009), S. 954 ff.
- [3] Bundesregierung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Stand 24. Oktober 2015, Bundesgesetzblatt, Teil 1, S. 1789 ff.
- [4] Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz–EEWärmeG) Stand 20. Oktober 2015, Bundesgesetzblatt, Teil 1, S. 1722 ff.
- [5] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1–11. Beuth-Verlag, Berlin (2011).
- [6] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Beuth-Verlag, Berlin (2007).