



BMVBS-Online-Publikation, Nr. 26/2013

## Begleituntersuchung zur europäischen Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen

### Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin  
Dr. Alexander Renner

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Horst-P. Schettler-Köhler

Bearbeitung

Ecofys Germany GmbH, Köln  
Markus Offermann, Bernhard von Manteuffel,  
Dr. Andreas Hermelink

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

BMVBS (Hrsg.): Begleituntersuchung zur europäischen  
Berichterstattung „Cost-Optimal-Level“ – Modellrechnungen.  
BMVBS-Online-Publikation 26/2013.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt  
mit der des Herausgebers identisch.

ISSN 1869-9324

© BMVBS Dezember 2013

Ein Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für  
Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt-  
und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>10</b>
3.1	Hintergrund	10
3.2	Aufgabenstellung	10
<b>4</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>11</b>
4.1	Allgemeine Grundlagen	11
4.1.1	Berechnungsmethodik	11
4.1.2	Primärenergiefaktoren	13
4.1.3	CO <sub>2</sub> -Kosten	13
4.1.4	Energiekosten	14
4.1.5	Energiepreisentwicklungen	15
4.1.6	Kalkulationszinssätze	15
4.1.7	Lebensdauern und Instandhaltungskosten von Gebäudekomponenten	16
4.2	Modellgebäude	18
4.2.1	Wohngebäude	19
4.2.2	Nichtwohngebäude	29
<b>5</b>	<b>Variantenbeschreibung</b>	<b>44</b>
5.1	Allgemeines	44
5.1.1	Maßnahmen und Maßnahmenpakete	44
5.1.2	Neubau	45
5.1.3	Bestand	46
5.2	Wohngebäude	48
5.2.1	Neubau	48
5.2.2	Bestand	50
5.3	Nichtwohngebäude	52
5.3.1	Neubau	52
5.3.2	Bestand	54
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>55</b>
6.1	Voruntersuchung: Vergleichsberechnungen zur Festlegung des geeigneten Energiekennwert-Berechnungsverfahrens	55
6.2	Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnungen für Neubauten	56
6.2.1	Einordnung der Ergebnisse der Neubau-Wohngebäude	63
6.2.2	Einordnung der Ergebnisse der Neubau-Nichtwohngebäude	70
6.3	Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnungen für den Bestand	71

---

6.4	Zusammenfassung und Diskussion	74
6.4.1	Neubau	75
6.4.2	Bestand	75
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>76</b>
7.1	Ergebnisse Neubau	76
7.2	Ergebnisse Bestand	77
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>105</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Modellgebäude für die Berechnungen im Wohnungsneubau	20
Abbildung 2	Anteile der Gebäude verschiedener Baualtersklassen im deutschen Gebäudebestand nach [Loga et al. 2011]	22
Abbildung 3	Modellgebäude für die Berechnungen zur Sanierung von Wohngebäuden	23
Abbildung 4	Modellgebäude für die Berechnungen zum Neubau von Nichtwohngebäuden	30
Abbildung 5	Flächenverteilung im Gebäudebestand bei den Groß- und Einzelhandels Gebäuden	35
Abbildung 6	Modellgebäude für die Berechnungen zu Nichtwohngebäuden (Sanierung)	36
Abbildung 7	Primärenergiebedarf-Vergleich DHH, DIN V 18599 und DIN 4701/DIN 4108	55
Abbildung 8	Kostenoptimales Spektrum gemäß Leitlinien [EU, 2012], Abbildung 5, Seite 25	74

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Primärenergiefaktoren	13
Tabelle 2 CO <sub>2</sub> -Kosten für die Zeiträume gemäß [EU, 2012]	13
Tabelle 3 Energiepreise, mikroökonomisch	14
Tabelle 4 Energiepreise, makroökonomisch	14
Tabelle 5 Preissteigerungsraten, Szenario 1	15
Tabelle 6 Preissteigerungsraten, Szenario 2	15
Tabelle 7 Kalkulationszinssätze (Realzinssätze)	16
Tabelle 8 Berücksichtigte Lebensdauern und Instandhaltungskosten, Gebäudehülle und Anlagentechnik*	16
Tabelle 9 Berücksichtigte mittlere U-Werte der nicht von der energetischen Sanierung betroffenen Außenbauteile der untersuchten Wohngebäude	24
Tabelle 10 Spezifische Mehrkosten Gebäudehülle (Neubau), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude	25
Tabelle 11 Kosten Anlagentechnik/Wärmebrücken/Luftdichtheit (Grundvariante Neubau), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude	26
Tabelle 12 Spezifische Kosten Gebäudehülle (Sanierung), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude	27
Tabelle 13 Kosten Anlagentechnik und Gerüste (Grundvariante Sanierung), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude	28
Tabelle 14 Zonierung der ausgewählten Referenzgebäude, Nichtwohngebäude	31
Tabelle 15 Zusammenfassende Darstellung der Gebäudetechnik der Nichtwohngebäude in Anlehnung an [Ornth, W. 2009] (Neubau)	32
Tabelle 16 Darstellung verfügbarer Büro-Modellgebäude, [Klauß et al. 2010]	34
Tabelle 17 Darstellung verfügbarer Hotel-Modellgebäude, [Klauß et al. 2010]	35
Tabelle 18 Mittlere U-Werte der Außenbauteile der untersuchten Nichtwohngebäude vor der Sanierung	37
Tabelle 19 Zusammenfassende Darstellung der Gebäudetechnik der Nichtwohngebäude in Anlehnung an [Ornth, W. 2009] (Sanierung)	38
Tabelle 20 Spezifische Mehrkosten Gebäudehülle (Neubau), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude	41
Tabelle 21 Spezifische Kosten Gebäudehülle (Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude	41
Tabelle 22 Kosten Wärmeerzeuger (Neubau und Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude	42
Tabelle 23 Kosten Anlagentechnik (Neubau und Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude	42
Tabelle 24 Erläuterung der Simulationsszenarien	44
Tabelle 25 Maßnahmen der Wohngebäude (Neubau, Ausgangslage gem. EnEV <sub>2009</sub> )	48
Tabelle 26 Maßnahmen der Wohngebäude (teilsaniert*)	50
Tabelle 27 Nichtwohngebäude (Neubau, Ausgangslage gem. EnEV <sub>2009</sub> )	52
Tabelle 28 Nichtwohngebäude (Sanierung)	54
Tabelle 29 Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante bei den Wohngebäuden bei Szenario 2	63
Tabelle 30 Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante bei den Nichtwohngebäuden bei Szenario 2	70

---

Tabelle 31 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, mikroökonomisch	72
Tabelle 32 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, makroökonomisch	72
Tabelle 33 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, mikroökonomisch	73
Tabelle 34 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, makroökonomisch	73
Tabelle 35 Ergebnisse, Neubau, Szenario 1 und 2, mikro- und makroökonomisch	76
Tabelle 36 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, mikroökonomisch	77
Tabelle 37 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, makroökonomisch	78
Tabelle 38 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, mikroökonomisch	79
Tabelle 39 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, makroökonomisch	80

# 1 Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Anforderungen der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV<sub>2009</sub>) anhand der sogenannten kostenoptimalen Methode gemäß Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden überprüft. Die Methodik wird durch die Delegierte Verordnung Nr. 244/2012 der Europäischen Kommission<sup>1</sup> sowie die Leitlinien<sup>2</sup> zur Flankierung des Rahmens für eine Vergleichsmethode konkretisiert.

Bei der anzuwendenden sogenannten Kapitalwert- oder Global Cost-Methode werden neben den Investitionskosten (getrennt nach Anlagentechnik und Gebäudehülle) auch die Energie-, Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt. Entsprechend ihrer Lebensdauer werden die Kosten für Ersatzinvestitionen sowie ein sich ergebender Restwert berücksichtigt. Für Wohngebäude ist dabei ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zu wählen, für Nichtwohngebäude von 20 Jahren. Bei dem „Kostenoptimum“ handelt es sich mathematisch zunächst um einen Punkt, also um die Variante, die über den Betrachtungszeitraum den minimalen Kapitalwert aufweist.

Die Berechnung der Kapitalwerte wurde gemäß Richtlinie aus einer „makroökonomischen“ und einer „mikroökonomischen“ Perspektive (entspricht betriebs- und privatwirtschaftlicher Perspektive) dargestellt. Bei der makroökonomischen Perspektive (entspricht volkswirtschaftlicher Perspektive) sind Steuern und Abgaben außen vor zu lassen, wohingegen die Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate mit einbezogen werden.

Ausgehend vom Anforderungsniveau der Energieeinsparverordnung (EnEV<sub>2009</sub>) wurden für repräsentative Referenzgebäude verschiedene energetische Verbesserungsmaßnahmen und sinnvolle Maßnahmenpakete verglichen. Dabei wurden sowohl Neubauten als auch energetische Einzelmaßnahmen für die Sanierung von Bestandsgebäuden untersucht. Aus dem Vergleich zwischen den resultierenden Kapitalwerten und den entsprechenden Primärenergiekennwerten der untersuchten Lösungen konnte für jedes Referenzgebäude das jeweilige Kostenoptimum berechnet werden.

Je nach Randbedingungen ergeben sich sowohl beim Neubau als auch für die Sanierung einzelner Komponenten unterschiedliche kostenoptimale Lösungen. Es wird darauf hingewiesen, dass den Ergebnissen dieser Untersuchung die beschriebenen aktuellen Randbedingungen (insbesondere bzgl. der Investitions- und Energiekosten) zu Grunde liegen. Da das Kostenoptimum sich in der Regel innerhalb eines sehr flachen „Kurvenbereiches“ befindet, kann schon eine (künftige) geringe Veränderung der Randbedingungen der Berechnung zu signifikanten Veränderungen des Primärenergiekennwertes, bei dem das Kostenoptimum (Kapitalwertminimum) auftritt, führen.

---

<sup>1</sup> Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus) der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD)

<sup>2</sup> Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus) der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD)

### Sensitivitätsanalyse

Der Einfluss der Unsicherheiten bei den Eingangsparametern wurde durch die Entwicklung jeweils zweier Szenarien für die mikro- und die makroökonomische Perspektive abgebildet.

Die dabei zugrunde gelegten Annahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Parameter	Szenario 1	Szenario 2
Reale Energiepreiserhöhung	Erdgas/FW 0,0 % bis 1,0 % Öl/Pellets 1,0 % bis 2,0 % Strom -0,2 % bis 0,6 % <sup>3</sup>	Erdgas/FW 2,8 % Öl/Pellets 2,8 % Strom 0,1 % bis 2,2 % <sup>4</sup>
Reale Kalkulationszinssätze	Mikroökonomisch: 3,5 % Makroökonomisch: 3,0 %	Mikroökonomisch: 1,3 % Makroökonomisch: 0,0 %
Investitionskosten für Sanierungsmaßnahmen	Eher hohes Niveau Neubau <sup>5</sup> Sanierung <sup>6</sup>	Eher niedriges Niveau für Neubau und Sanierung <sup>7</sup>

Erwartungsgemäß ist das Kostenoptimum bei dieser Szenario-Betrachtung nicht in jedem Fall konform mit den geltenden nationalen Anforderungen.

Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Anforderungen der EU-Gebäuderichtlinie<sup>8</sup> unter Berücksichtigung der geplanten Novelle der EnEV 2014 für Neubauten und bei der Sanierung von Bestandsgebäuden bei der maßgeblichen mikroökonomischen Perspektive bei beiden untersuchten Szenarien eingehalten werden können.

<sup>3</sup> Abgeleitet aus BMWi Energiedaten, Stand 2.11.2012

<sup>4</sup> Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus) der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD)

<sup>5</sup> Maas, Erhorn et al. 2012. Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit.

<sup>6</sup> in Anlehnung an Hinz 2012. Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden.

<sup>7</sup> Diverse Quellen und Experteneinschätzungen, siehe Hauptbericht

<sup>8</sup> Vgl. auch Erwägungsgrund 14 der Gebäuderichtlinie, der einen Toleranzbereich von 15 % zulässt

## 2 Abstract

Within the scope of the study, the actual requirements of the German Energy Saving Ordinance (EnEV<sub>2009</sub>) have been evaluated considering the cost optimal methodology according to the EU Directive 2010/31/EU about the energy performance of buildings. The methodology was firmed up in the delegated regulation No 244/2012<sup>9</sup> of the European Commission and in the guidelines to this delegated regulation<sup>10</sup>.

In the so-called net present value or global cost methodology that is to be applied, investment costs (split into systems engineering and building envelope), energy and maintenance costs as well as repair costs are to be considered. According to the component lifetimes replacement costs as well as residual values are taken into account. A period of observation of 30 years for residential buildings and 20 years for non-residential buildings is to be considered.

The cost optimum mathematically is a point, e.g. the measure, which represents the minimal net present value over the period of observation.

The calculation of the net present values has been performed, as demanded by the directive, for a so-called 'macro-economic' as well as 'micro-economic' perspective (social and private perspective). The macro-economic perspective (=> social perspective) therefore excludes any taxes and charges whereas costs for CO<sub>2</sub>-certificates have been taken into account.

For representative reference buildings – based on the requirements of the German Energy Saving Ordinance (EnEV<sub>2009</sub>) – different energetic optimisation measures and packages have been compared. Thereby new as well as existing buildings have been evaluated. The comparison of the resulting net present values and the corresponding primary energy values of the solutions investigated has led to a cost optimum for each reference building.

Depending on the boundary conditions, differing cost optimal solutions do arise for new and existing buildings. It must be highlighted that the outcomes of this study are a result of the actual boundary conditions (especially in terms of investment and energy costs). As the cost optimum is usually located in a shallow part of the curve, even a slight change in the boundary conditions (in the future) could lead to significant changes in the cost optimal point.

---

<sup>9</sup> Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, ABl. L 81 of 31.3.2012, p. 18.

<sup>10</sup> Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, ABl. C 115 of 19.4.2012, p. 1.

### Sensitivity analysis

The impact of the uncertainties concerning the input parameters has been indicated through the development of two scenarios.

The assumptions of the two considered scenarios are summarized in the following table:

Parameter	Scenario 1	Scenario 2
rate of real energy price increase	gas/DH 0,0 % bis 1,0 % oil/pellets 1,0 % bis 2,0 % electricity -0,2 % bis 0,6 % <sup>11</sup>	gas/DH 2,8 % oil/pellets 2,8 % electricity 0,1 % bis 2,2 % <sup>12</sup>
Real interest rate	micro-economic: 3,5 % macro-economic: 3,0 %	micro-economic: 1,3 % macro-economic: 0,0 %
Investment cost of renovation measures	rather high level new building <sup>13</sup> building renovation <sup>14</sup>	rather low level for new building and renovation <sup>15</sup>

As expected for the scenario analysis, the cost optimum is not in each case equal to the actual national requirements.

The results show that in the relevant microeconomic perspective the requirements of the EU Buildings Directive<sup>16</sup> can be met in both scenarios, when taking into account the planned amendment to the EnEV 2014.

<sup>11</sup> Abgeleitet aus BMWi Energiedaten, Stand 2.11.2012

<sup>12</sup> Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus) der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD)

<sup>13</sup> Maas, Erhorn et al. 2012. Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit.

<sup>14</sup> in Anlehnung an Hinz 2012. Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden.

<sup>15</sup> Diverse Quellen und Experteneinschätzungen, siehe Hauptbericht

<sup>16</sup> See (14) of the directive, which allows a tolerance of 15 %

## 3 Einleitung

### 3.1 Hintergrund

Der Gebäudesektor ist als der Schlüsselsektor zur Erreichung des 20/20/20<sup>17</sup> Klimaschutzzieles der EU identifiziert worden. Neben diesem Ziel hat sich die EU zur Aufgabe gemacht, eine drastische Reduktion der Treibhausgas-Emissionen im Gebäudesektor bis 2050 zu erreichen. Dabei sollen die THG-Emissionen dieses Sektors gemäß *KOM(2011)112*<sup>18</sup> der europäischen Kommission von 88-91% im Vergleich zu 1990 verringert werden. Mit Einführung der Neufassung der europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD recast) wurden die nötigen Grundlagen gelegt, um diesen Kurs beizubehalten und weiter auszubauen.

Neben anderen Bestimmungen verlangt Artikel 5 der Richtlinie von den EU Mitgliedstaaten die Berechnung des kostenoptimalen Niveaus für energetische Standards von Gebäuden und Gebäudeteilen.

### 3.2 Aufgabenstellung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Studie zur Untersuchung der Anforderungen der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV<sub>2009</sub>) anhand der sogenannten kostenoptimalen Methode gemäß Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden<sup>19</sup>. Diese Methode wird durch die Delegierte Verordnung Nr. 244/2012 der Europäischen Kommission vom 21. März 2012<sup>20</sup> sowie die Leitlinien<sup>21</sup> zur Flankierung des Rahmens für eine Vergleichsmethode vom 19. April 2012 konkretisiert.

Nach Artikel 5 Absatz 2 der Richtlinie sollen die Mitgliedstaaten kostenoptimale Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden unter Verwendung des gemäß Artikel 5 Absatz 1 festgelegten Rahmens für eine Vergleichsmethode berechnen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sollen im Anschluss mit den nach nationalem Recht geltenden Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden verglichen werden.

---

<sup>17</sup> 20% Treibhausgase im Vergleich zu 1990, 20% Energieeinsparung bis 2020 (im Vergleich zu business-as-usual-Szenario) und ein Anteil von 20% an Erneuerbaren Energien in 2020.

<sup>18</sup> MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN, „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050“

<sup>19</sup> Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), ABl. L 153 vom 18.6.2010, S. 13, ABl. L 155 vom 22.6.2010, S. 61.

<sup>20</sup> Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABl. L 81 vom 31.3.2012, S. 18.

<sup>21</sup> Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABl. C 115 vom 19.2.2012, S. 1.

## 4 Grundlagen

### 4.1 Allgemeine Grundlagen

Den Berechnungen für diesen Bericht liegt der in Art. 3 in Verbindung mit Anhang I der Richtlinie festgelegte und durch die Delegierte Verordnung konkretisierte gemeinsame allgemeine Rahmen zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zugrunde. Die für die Berechnungen zu diesem Bericht verwendeten Grundlagen werden im Folgenden beschrieben.

#### 4.1.1 Berechnungsmethodik

Im Rahmen dieses Projektes wird entsprechend der Vorgabe der Kostenoptimalitätsmethode die Kapitalwertmethode gewählt, auch Anfangswert oder „Net-Present-Value“ oder auch „Global Costs“ genannt. Mit ihrer Hilfe werden Zahlungsströme nicht nur nach ihrer Größe, sondern auch nach dem Zahlungszeitpunkt bewertet. Mit Hilfe eines definierten Kapitalzinses werden alle zukünftigen Zahlungsströme über einen Betrachtungszeitraum zum Zeitpunkt  $t=0$  (Anfangszeitpunkt) abgezinst. Somit sind verschiedene Zahlungsströme unabhängig von Zeitpunkt und Höhe von positiven oder negativen Zahlungsströmen miteinander vergleichbar.

Während für Wohngebäude ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zu wählen ist, beträgt dieser für Nichtwohngebäude 20 Jahre.

In den Kapitalwert werden neben den Investitionskosten (getrennt nach Anlagentechnik und Gebäudehülle) auch die Energie-, Wartungs- und Instandhaltungskosten, sowie die Kosten für Ersatzmaßnahmen sowie ggf. Entsorgungskosten mit einberechnet. Die Kosten der Anlagentechnik, die bei einer Wärmeerzeugererneuerung anfallen, setzen sich aus einem Teil dauerhafter Investitionen (z.B. Gasanschluss, Abgassystem, Sonden von Solewärmepumpen, Brunnen von Wasserwärmepumpen) und einem Teil mit kürzeren Lebensdauern zusammen (z.B. Kessel oder Wärmepumpe inkl. Installation). Entsprechend ihrer Lebensdauer (siehe Kapitel 4.1.7, Tabelle 8) werden nach Ablauf der selbigen bei den Berechnungen die betreffenden Kosten der Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Falls die jeweilige Lebensdauer den Betrachtungszeitraum übersteigt, so wird ein Restwert berücksichtigt. Für die Kosten und Qualitäten der Ersatzmaßnahmen werden, soweit nicht ausdrücklich anders beschrieben, die aktuellen Preise sowie die aktuellen Qualitäten angenommen. Preisentwicklungen und Lernkurven oder Skaleneffekte werden, da sehr spekulativ, wurden nicht berücksichtigt.

Die Berechnung findet zu realen Kosten und Preisen eines Anfangsjahres (2013) statt, Inflationseinflüsse werden nicht direkt berücksichtigt.

Die gesamte Berechnung der Kapitalwerte wird aus einer sogenannten makro- und einer mikroökonomischen Perspektive (volks- und privatwirtschaftliche Perspektive) dargestellt. Mögliche Förderungen werden nicht berücksichtigt. Bei der makroökonomischen Perspektive bleiben Steuern und Abgaben unberücksichtigt, wohingegen die Preise für CO<sub>2</sub>-Zertifikate miteinbezogen werden. Bei den Berechnungen der Wohngebäude wird bei der mikroökonomischen Betrachtungsweise, entsprechend den Verhältnissen bei privatselbstgenutzten Immobilien, die Mehrwertsteuer von derzeit 19 % sowohl bei den Investitions- als auch bei den Energiekosten berücksichtigt. Bei den

gewerblich genutzten Nichtwohngebäuden findet entsprechend keine Berücksichtigung der Mehrwertsteuer statt.

Bei Kostenberechnungen werden zwei Szenarien berücksichtigt. Das erste Szenario, das die nationalen Rahmenbedingungen abbildet, im folgenden **Szenario 1** genannt, berücksichtigt Energiepreissteigerungen, Kalkulationszinssätze und Investitionskosten, die konform zu den bisherigen Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der EnEV [Maas, Erhorn et al. 2012] sind. Um eine mögliche künftige Entwicklung der Kalkulationszinssätze über die nächsten 20 bzw. 30 Jahre berücksichtigen zu können, wurden der Berechnung mittlere Real-Zinssätze zugrunde gelegt.

Im zweiten Szenario, das die EU-Vorgaben spiegelt, im folgenden **Szenario 2** genannt, werden die Energiepreissteigerungen gemäß der Vorschläge der Leitlinien zur delegierten Verordnung [EU, 2012] gewählt. Die Kalkulationszinssätze werden entsprechend der aktuellen Niedrigzinssituation angenommen und es wird angenommen, dass sich dieses Niedrig-Zinsniveau über die nächsten 20 bzw. 30 Jahre fortsetzen wird. Für die Investitionskosten werden Annahmen getroffen, die sich auf Quellen berufen, die insbesondere für die Dämmmaßnahmen der Gebäudehülle deutlich niedrigere Kosten als die in [Maas, Erhorn et al. 2012] genannten ausweisen. Beiden Szenarien liegen somit nachvollziehbare und realistische Rahmenbedingungen zu Grunde. Die Rahmenbedingungen von Szenario 2 wirken sich, in Bezug zu denen von Szenario 1, günstig auf die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen aus. Durch die Berücksichtigung der beiden Szenarien wird ein Ergebnisraum aufgespannt, der ansatzweise sowohl die in der Realität vorhandenen Preispannen als auch die Unsicherheiten bei der künftigen Entwicklung der Energiepreise und Zinsen berücksichtigen soll.

Die Berechnungen des Beurteilungsparameters „spezifischer jährlicher Primärenergiebedarf“ (bezogen auf die Energiebezugsfläche, bei Wohngebäuden:  $A_n$ , bei Nichtwohngebäuden: NGF) erfolgten sowohl für Wohngebäude als auch für Nichtwohngebäude auf der Grundlage der DIN V 18599. Da für Wohngebäude auch die alternative Berechnung nach DIN 4701/DIN 4108 möglich ist, wurde im Rahmen einer Voruntersuchung (siehe Kapitel 6.1) die Abweichungen der zwei möglichen Rechenverfahren überprüft. Für die Energiebedarfsberechnungen wurde der Rechenkern der Software „Energieberater 18599“ (Version 7.4.1) der Firma Hottgenroth Software GmbH & Co. KG verwendet (zertifiziert nach ISO 9001:2008).

Bei der Bestimmung des Kostenoptimums wird darauf geachtet, dass hinsichtlich des Wärme-erzeugertyps eine größtmögliche Technologieoffenheit besteht. Dadurch soll verhindert werden, dass der Primärenergiekennwert der kostenoptimalen Lösung nicht nur von einer bestimmten Technologie erreicht werden kann. Der Primärenergiekennwert des technologieoffenen Kostenoptimums in dem zuvor beschriebenen Sinne ist demnach nur gleich dem des technologieunabhängigen Kostenoptimums, wenn dieser mindestens durch zwei andere Technologien erreicht werden kann. Andernfalls wird als technologieoffenes Kostenoptimum der niedrigste Primärenergiekennwert gewählt, der durch drei unterschiedliche Technologien erreicht werden kann. Als unterschiedliche Technologien werden Biomassekessel, el. Wärmepumpen und mit fossilen Energieträgern befeuerte Kessel berücksichtigt. Im Sinne dieser Methodik ist es daher möglich, dass der als technologieoffenes Kostenoptimum ausgewiesene Primärenergiekennwert nicht die geringsten Kosten aufweist.

### 4.1.2 Primärenergiefaktoren

Die in der Bundesrepublik bei energiesparrechtlichen Berechnungen anzuwendenden Primärenergiefaktoren ergeben sich aus der jeweils gültigen EnEV. Daraus ergeben sich für die Bundesrepublik die in der folgenden Tabelle aufgeführten Primärenergiefaktoren.

**Tabelle 1 Primärenergiefaktoren**

Energieträger		Primärenergiefaktor
Fossile Brennstoffe	Heizöl / Erdgas	1,1
Biogene Brennstoffe	Holz	0,2
	Biogas, Bioöle	0,5
Umweltenergie	Solarenergie, Umweltwärme etc.	0,0
Nah- und Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (Anteil $\geq 70\%$ )	Fossile Brennstoffe	0,7
	Biogene Brennstoffe	0,0
Nah- und Fernwärme aus Heizwerken	Fossile Brennstoffe	1,3
	Biogene Brennstoffe	0,1
Strom	Strom-Mix (aktuell)	2,6
	Strom-Mix ab 2014*	2,0
	Strom-Mix ab 2016*	1,8

\*) Hinsichtlich des Primärenergiefaktors für Strom wurden bei den Berechnungen die Festlegungen für die Zukunft (2014, 2016), die sich aus dem Regierungsentwurf zur Novellierung der EnEV ergeben, berücksichtigt. Eine mögliche weitere künftige Reduktion wurde nicht berücksichtigt. Für die Berechnungen wurde bei den Wohn- und Nichtwohngebäude jeweils der jahresgemittelte Mittelwert über den Betrachtungszeitraum von 30 bzw. 20 Jahren verwendet.

### 4.1.3 CO<sub>2</sub>-Kosten

Gemäß [EU, 2012] wurden bei der makroökonomischen Betrachtung die folgenden CO<sub>2</sub>-Kosten berücksichtigt:

**Tabelle 2 CO<sub>2</sub>-Kosten für die Zeiträume gemäß [EU, 2012]**

Zeitraum	CO <sub>2</sub> -Kosten	Einheit
bis 2025	20	EUR/t
bis 2030	35	EUR/t
ab 2030	50	EUR/t

#### 4.1.4 Energiekosten

Die in den Berechnungen zugrunde gelegten Energiepreise basieren auf statistisch abgesicherten Preisen. Diese sind für die mikroökonomische Betrachtungsweise in Tabelle 3, für die makroökonomische Betrachtungsweise in Tabelle 4 aufgeführt. Die Unterschiede zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden ergeben sich aus den verschiedenen Märkten, denen diese Gebäudearten hinsichtlich des Energiebezugs zuzuordnen sind, sowie bei Tabelle 3 aus der Annahme, dass der Energiebezug für Wohnungen in der Regel mit der Umsatzsteuer belegt ist.

Obwohl in einigen Regionen von den Energieversorgern spezielle kostengünstigere Tarife für den Strom für Wärmepumpen angeboten werden, bleiben diese unberücksichtigt, da sie nicht überall in Deutschland verfügbar sind.

**Tabelle 3 Energiepreise, mikroökonomisch**

Energieträger	Preise, mikroökonomisch [€/kWh]	
	Wohngebäude <sup>22</sup>	Nichtwohngebäude <sup>23</sup>
Erdgas	0,064 <sup>24</sup>	0,051 <sup>25</sup>
Fernwärme	0,083	0,070
Heizöl leicht	0,087	0,073
Strom	0,260	0,149
Holzpellets	0,049	0,041

Quellen: [EUROSTAT] (Erdgas/Heizöl/Strom), [DEPV] (Holzpellets), [BMWi Fernwärme] (Preis 2011)

**Tabelle 4 Energiepreise, makroökonomisch**

Energieträger	Preise, makroökonomisch <sup>26</sup> [€/kWh]	
	Wohngebäude <sup>12</sup>	Nichtwohngebäude <sup>13</sup>
Erdgas	0,047	
Fernwärme	0,061	
Heizöl leicht	0,066	
Strom	0,142	0,109 <sup>27</sup>
Holzpellets	0,041	

Quellen: [EUROSTAT] (Erdgas/Heizöl/Strom), [DEPV] (Holzpellets), [BMWi Fernwärme] (Preis 2011)

<sup>22</sup> Die Angabe erfolgt einschließlich Steuern und Abgaben.

<sup>23</sup> Die Angabe erfolgt ohne Mehrwertsteuer, da in der Regel ein Vorsteuerabzug stattfindet, so dass die MwSt. nicht relevant wird.

<sup>24</sup> Für Wohngebäude gemäß [EUROSTAT], Erdgas: incl. tax, Band D2 : 20 GJ < Verbrauch < 200 GJ; Strom: incl. tax, Band DC : 2 500 kWh < Verbrauch < 5 000 kWh.

<sup>25</sup> Für Nichtwohngebäude gemäß [EUROSTAT], Erdgas: excl. VAT, Band I1 : Verbrauch < 1 000 GJ; Strom: excl. VAT, Band IB : 20 MWh < Verbrauch < 500 MWh.

<sup>26</sup> Die Angabe erfolgt ohne Steuern und Abgaben (bei Strom neben MwSt. auch EEG-Umlage, Stromsteuer, Konzessionsabgabe, § 19 StromNEV-Umlage und KWK-Aufschlag gem. [BDEW], Okt 2012: 45,3 %, bei Erdgas neben MwSt., Mineralölsteuer und die Konzessionsabgabe (2 %) gem. [Bundesnetzagentur] Jun 2012: 26,7 %, bei Heizöl neben MwSt., Mineralölsteuer 7,6 Ct/l gem. [MWV] Okt 2012).

<sup>27</sup> Für Nichtwohngebäude gemäß [EUROSTAT], Strom excl. all tax, Band IB : 20 MWh < Verbrauch < 500 MWh.

### 4.1.5 Energiepreisentwicklungen

Der Berechnung liegen die Preissteigerungen zugrunde, die auch in den Berechnungen für die nationalen Mindestanforderungen nach EnEV<sub>2009</sub> sowie der aktuellen Novellierung der EnEV verwendet wurden. Gleichzeitig werden auch die Preissteigerungsannahmen in Anlehnung an die Vorgaben der delegierten Verordnung [EU, 2012] berücksichtigt.

Die Annahmen bewegen sich innerhalb des Spektrums anerkannter Studien zu diesem Thema.

Es wurden zwei Szenarien unterschieden:

- Das erste Szenario („Szenario 1“, s. Tabelle 5) beschreibt eine Preissteigerungsannahme als Ableitung aus der Studie [BMWi, 2012],
- das zweite Szenario („Szenario 2“, s. Tabelle 6) eine Preissteigerungsannahme aus [EU, 2012].

Die Preisentwicklungsprognose für Fernwärme wurde dabei, aufgrund fehlender Datenlage, an die Entwicklung der Erdgaspreise gekoppelt, die Preisentwicklung für Holzpellets an die Entwicklung der Heizölpreise.

**Tabelle 5 Preissteigerungsraten, Szenario 1**

Energieträger	2012-2019	2020-2029	2030-2042
Erdgas/Fernwärme	0,0 %	1,0 %	1,0 %
Heizöl leicht/Holzpellets	1,0 %	2,0 %	1,8 %
Strom	0,6 %	0,2 %	-0,2 %

Quelle: Abgeleitet aus [BMWi, 2012]

**Tabelle 6 Preissteigerungsraten, Szenario 2**

Energieträger	2012-2019	2020-2029	2030-2042
Erdgas/Fernwärme	2,8 %	2,8 %	2,8 %
Heizöl leicht/Holzpellets	2,8 %	2,8 %	2,8 %
Strom	2,2 %	0,6 %	0,1 %

Quelle: Gem. [EU, 2012]

### 4.1.6 Kalkulationszinssätze

Um eine mögliche künftige Entwicklung der Kalkulationszinssätze über die nächsten 20 bzw. 30 Jahre berücksichtigen zu können, werden der Berechnung Kalkulationszinssätze als mittlere Real-Zinssätze zugrunde gelegt.

Um den Einfluss der möglichen Variabilität der Kalkulationszinssätze zu berücksichtigen, werden, wie bei den Energiepreisentwicklungen, sowohl für die mikroökonomische als auch für die makroökonomische Betrachtung, jeweils zwei Szenarien berücksichtigt.

Das Szenario 2 beschreibt dabei die aktuelle Niedrigzinssituation. Die nominalen Zinssätze für Baudarlehen mit 15 jähriger Zinsbindungsfrist liegen derzeit (Stand Ende 2012) bei knapp über 3 %. Der EZB Leitzinssatz beträgt derzeit 0,75 %.

Mit Szenario 1 wird hingegen eine mögliche künftige Entwicklung berücksichtigt und gleichzeitig die Konformität zu den bisherigen Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der EnEV hergestellt [Maas, Erhorn et al. 2012].

**Tabelle 7 Kalkulationszinssätze (Realzinssätze)**

	Zinssatz	
	Szenario 1	Szenario 2
Mikroökonomisch	3,5 %	1,3 %
Makroökonomisch	3,0 %	0,0 %

#### 4.1.7 Lebensdauern und Instandhaltungskosten von Gebäudekomponenten

Für die Berechnungen wurden für Gebäudekomponenten hinsichtlich der Lebensdauer und der jährlichen Instandhaltungskosten die in der folgenden Tabelle angegebenen Daten verwendet. Soweit die entsprechenden Parameter in der Europäischen Norm DIN EN 15459 enthalten sind, wurden diese zugrunde gelegt. Die übrigen Angaben sind technisch-wissenschaftlich begründete Annahmen von Ecofys in Anlehnung an [Agethen et al. 2008].

**Tabelle 8 Berücksichtigte Lebensdauern und Instandhaltungskosten, Gebäudehülle und Anlagentechnik\***

Bauteil	Lebensdauer [Jahre]	Jährliche Instandhaltungskosten, einschließlich Betriebs-, Reparatur- und Wartungskosten [% der Anfangsinvestition]
Dämmung Außenwand	30	--
Dämmung Dach	30	--
Dämmung oberste Geschossdecke	30	--
Dämmung Keller	30	--
Fenster	20	--
Wärmepumpe (Luft, Sole, Wasser)	17,5	3,0 %
Wärmepumpen-Peripherie (Sonden, Brunnen)	50	1,5 %

<b>Bauteil</b>	<b>Lebensdauer [Jahre]</b>	<b>Jährliche Instandhaltungskosten, einschließlich Betriebs-, Reparatur- und Wartungskosten [% der Anfangsinvestition]</b>
Holzpelletkessel	20	1,5 %
Holzpelletlager	30	0,5 %
Gas-Brennwertkessel	20	1,5 %
Gasanschluss	80	--
Gaszähler	30	--
Heizöl-Brennwertkessel	20	1,5 %
Heizöltank	30	0,5 %
Abgassystem	17,5	--
Fernwärmeanschluss	80	--
Solarthermieanlage	20	0,5 %
Ventilatoren	15	4,0 %
Lüftungskanäle	30	4,0 %

\*) In Anlehnung an [DIN EN 15459] und [Agethen et al. 2008]

## 4.2 Modellgebäude

### **Neubau**

Die der Untersuchung zu Grunde gelegten Gebäudegeometrien der Neubauten wurden aus der nationalen Modellgebäude-Datenbank [Klauß et al. 2010] gewählt.

Die ausgewählten Gebäude repräsentieren den wesentlichen Teil des innerhalb des Betrachtungszeitraums absehbaren Bauvolumens im Wohnungs- und Nichtwohnungsneubau. Nach Einschätzung von Ecofys ist davon auszugehen, dass die sich aufgrund der real auftretenden Abweichungen bei den Gebäudegrößen und -typen ergebenden wirtschaftlichen Unterschiede überwiegend gering sind.

Die energetische Qualität der Basisvarianten wird durch die Referenzausführungen der EnEV<sub>2009</sub> vorgegeben. Diese findet sich für Wohngebäude in Anlage 1 Tabelle 1 der Verordnung, für Nichtwohngebäude in Anlage 2 Tabelle 1 der Verordnung. Da eine Abschwächung des Anforderungsniveaus unter das Niveau der EnEV<sub>2009</sub> nicht in Betracht kommt, wurden ausgehend von den Basisvarianten nur solche Ausführungen betrachtet, die zu einem geringeren Primärenergiebedarf führen als diese Basisvarianten.

### **Sanierung**

Der deutsche Gebäudebestand ist sehr heterogen und setzt sich aus einer Vielzahl unterschiedlicher Gebäudetypen und Baualtersklassen mit sehr unterschiedlichen architektonischen und energetischen Charakteristika zusammen. Um eine größtmögliche Repräsentativität der Ergebnisse zu erreichen, werden für die Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten solche Referenzgebäude herangezogen, deren Anteile am Gesamtbestand im deutschen Gebäudebestand am größten sind.

Bei der Auswahl der Referenzgebäude wurde auf eine Vielzahl vorhandener Studien (u.a. [Loga et al. 2011], [Schloman, Gruber et al. 2011], [Kohler, Hassler et al. 1999], [Kleemann, Hansen 2005], [ifo 1999], [Dirlich, Gruhler et al. 2011.], [Klauß et al. 2010]) zurückgegriffen, welche die Bestandsaufnahme der bestehenden Gebäude in Deutschland sowie die energetischen Profile untersucht haben.

#### 4.2.1 Wohngebäude

##### **Modellgebäude Neubau**

Als Modellgebäude im individuellen Wohnungsneubau wurden ein Einfamilienhaus, das die bauphysikalischen Eigenschaften und wirtschaftlichen Randbedingungen bei kleinen freistehenden Gebäuden gut repräsentiert, sowie - als Repräsentant der verbreiteten verdichteten Bauweisen - eine Doppelhaushälfte (bzw. ein Reihenendhaus) ausgewählt. Für den Neubaufall der Mehrfamilienhäuser wurde bzgl. der Geometrie ein beidseitig angebautes Mehrfamilienhaus mit sechs Wohneinheiten („MFH\_klein“) aus [Klauß et al. 2010] ausgewählt (Abbildung 1).

Abbildung 1 Modellgebäude für die Berechnungen im Wohnungsneubau

Modellgebäude	Außenbauteil	Fläche <sup>28</sup> [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	A/V <sup>29</sup> [m <sup>-1</sup> ]	Bezugsfläche A <sub>N</sub> [m <sup>2</sup> ]	Fensterflächenanteil <sup>30</sup> [%]	Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
<b>Einfamilienhaus</b>  Ansicht Nordwest	Fassade Nord	40	0,28	0,79	149	7	93
	Fassade West	36					
	Fassade Süd	40					
	Fassade Ost	36					
	Dach / OG-Decke	118	0,20				
	Unt. Abschluss	99	0,35				
	Fenster	27	1,3				
<b>Doppelhaushälfte</b>  Ansicht Südost	Fassade Nord	0	0,28	0,61	165	8	74
	Fassade West	30					
	Fassade Süd	71					
	Fassade Ost	30					
	Dach / OG-Decke	100	0,20				
	Unt. Abschluss	86	0,35				
	Fenster	22	1,3				
<b>Mehrfamilienhaus</b>  Ansicht Südost	Fassade Nord	14	0,28	0,42	474	15	69
	Fassade West	120					
	Fassade Süd	14					
	Fassade Ost	120					
	Dach	189	0,20				
	Unt. Abschluss	189	0,35				
	Fenster	96	1,3				

<sup>28</sup> Die bezifferte Fläche umfasst Fassadenflächen einschließlich Fenster.

<sup>29</sup> Darstellung des Verhältnisses von Oberfläche (A) zu Volumen (V) als Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes.

<sup>30</sup> Flächenanteil bezogen auf die Außenbauteilfläche.

## Modellgebäude Sanierung

Bei der Auswahl geeigneter Modellgebäude zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungen von nicht denkmalgeschützten Wohngebäuden sind besonders die Studien von [Loga et al. 2011] und [Dirlich, Gruhler et al. 2011] relevant. Im Vergleich zu [Dirlich, Gruhler et al. 2011] hat [Loga et al. 2011] den großen Vorteil, dass nicht nur ein repräsentatives Referenzgebäude pro Unterkategorie entwickelt wurde, sondern auch nach unterschiedlichen Baualtersklassen differenziert und die jeweilige Anzahl der Gebäude (bzw. Wohnfläche) im Bestand angegeben wird. Daher wurde entschieden, die Referenzgebäude bei den Wohngebäuden aus [Loga et al. 2011] für die Untersuchung heranzuziehen (siehe Abbildung 2).

Dabei wurden die repräsentativsten Referenzgebäude der Kategorien „Einfamilienhaus“, „Doppelhaushälfte / Reihenendhaus“ und „Mehrfamilienhaus“ hinsichtlich Geometrie sowie Eigenschaften der energierelevanten Gebäudeelemente ausgewählt.

Laut der Deutschen Gebäudetypologie nach [Loga et al. 2011] dominiert bei allen drei Wohngebäudekategorien im Bestand die Baualtersklasse 1958-1968. Die ausgewählten Bestands-Referenzgebäude je Gebäudekategorie sind in Abbildung 2, die auch eine Übersicht über die Häufigkeiten vermittelt, rot markiert. Aufgrund ihres Alters ist, insbesondere vor dem Hintergrund des Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren, davon auszugehen, dass alle Gebäude der ausgewählten Baualtersklasse bereits energetisch teilsaniert sind. Die angenommene durchschnittliche energetische Qualität über den Betrachtungszeitraum der nicht von der jeweiligen energetischen Sanierung betroffenen Bauteile, wurde auf Grundlage der Untersuchung von [Diefenbach, Cischinsky et al. 2010] ermittelt (siehe Tabelle 9).

Bei der Gebäudekategorie der Mehrfamilienhäuser unterscheidet die Deutsche Gebäudetypologie zwischen Mehrfamilienhäusern (MFH) und großen Mehrfamilienhäusern (GMH). Hier ist es sinnvoll, als repräsentatives Referenzgebäude für die Gesamtheit von Mehrfamilienhäusern (MFH und GMFH), das dominierende Mehrfamilienhaus (MFH) der Baualtersklasse 1958-1968 zu wählen, welches an einer Seite an ein Nachbargebäude angrenzt. Insbesondere in städtischen Regionen in Innenstadtnähe sind überwiegend Mehrfamilienhäuser im Reihenhausstil vorhanden (Blockrandbebauung), wohingegen in den Außenbezirken überwiegend freistehende Mehrfamilienhäuser dominieren. Dadurch stellt das ausgewählte Mehrfamilienhaus ein repräsentatives Durchschnittsgebäude dar und bietet sich somit für die Durchführung der Berechnungen an.

Abbildung 2 Anteile der Gebäude verschiedener Baualtersklassen im deutschen Gebäudebestand nach [Loga et al. 2011]

	Baualtersklassen										Summe	Anteil	
	bis 1860	1861 - 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	1995 - 2001	2002 - 2009			
	A**	B**	C	D	E	F	G	H	I	J			
Gebäudetypen*	<b>EFH</b>												
	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>	51	155	173	127	221	213	111	148	152	114	1.465	43%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	510	1.370	1.720	1.240	2.150	1.930	940	1.230	1.250	880	13.220	34%
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	370	1.040	1.280	920	1.580	1.470	750	1.040	1.080	790	10.320	57%
	<b>RH</b>												
	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>		43	91	57	76	78	47	66	62	37	557	16%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.		470	960	570	770	760	400	590	540	310	5.370	14%
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.		350	800	480	670	650	380	540	500	300	4.670	26%
	<b>MFH</b>												
	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>	13	112	134	131	197	109	69	76	119	41	1.001	29%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.	170	1.490	1.920	2.000	2.800	1.500	990	1.060	1.600	510	14.040	36%
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.	50	380	460	390	550	320	160	210	200	70	2.790	15%
	<b>GMH ***</b>												
	Wohnfläche in Mio. m <sup>2</sup>		10	17	31	84	127	39	84			392	11%
	Anzahl Wohnungen in Tsd.		180	260	570	1.450	2.480	570	1.290			6.800	17%
	Anzahl Wohngebäude in Tsd.		10	10	30	60	80	30	40			260	1%
<b>Wohnfläche in Mio. m<sup>2</sup></b>	<b>64</b>	<b>320</b>	<b>415</b>	<b>346</b>	<b>578</b>	<b>527</b>	<b>266</b>	<b>374</b>	<b>333</b>	<b>192</b>	<b>3.415</b>		
<i>Anteil</i>	<i>2%</i>	<i>9%</i>	<i>12%</i>	<i>10%</i>	<i>17%</i>	<i>15%</i>	<i>8%</i>	<i>11%</i>	<i>10%</i>	<i>6%</i>			
<b>Anzahl Wohnungen in Tsd.</b>	<b>680</b>	<b>3.510</b>	<b>4.860</b>	<b>4.380</b>	<b>7.170</b>	<b>6.670</b>	<b>2.900</b>	<b>4.170</b>	<b>3.390</b>	<b>1.700</b>	<b>39.430</b>		
<i>Anteil</i>	<i>2%</i>	<i>9%</i>	<i>12%</i>	<i>11%</i>	<i>18%</i>	<i>17%</i>	<i>7%</i>	<i>11%</i>	<i>9%</i>	<i>4%</i>			
<b>Anzahl Wohngebäude in Tsd.</b>	<b>420</b>	<b>1.780</b>	<b>2.550</b>	<b>1.820</b>	<b>2.860</b>	<b>2.520</b>	<b>1.320</b>	<b>1.830</b>	<b>1.780</b>	<b>1.160</b>	<b>18.040</b>		
<i>Anteil</i>	<i>2%</i>	<i>10%</i>	<i>14%</i>	<i>10%</i>	<i>16%</i>	<i>14%</i>	<i>7%</i>	<i>10%</i>	<i>10%</i>	<i>6%</i>			

\*) EFH = Einfamilienhaus, RH = Reihenhause, MFH = Mehrfamilienhaus, GMH = großes Mehrfamilienhaus  
 \*\*) Baualtersklasse A + B: Vorkommen nur als Summenwert bekannt, Zuordnung vereinfacht nach Konstruktionsprinzip (Fachwerk → A / massiv → B)  
 \*\*\*) GMH ab Baualtersklasse I: Häufigkeiten in MFH enthalten, da Differenzierung zu ungenau

Daraus resultieren die in Abbildung 3 dargestellten drei Modellgebäude.

Die betrachteten Modellgebäude sind mit folgender Anlagentechnik ausgeführt:

- Heizung<sup>31</sup>: Öl-Brennwertkessel (EFH, DHH), Gas-Brennwertkessel (MFH)
- Kühlung: keine
- Warmwasserbereitung: zentral durch Heizkessel
- Lüftung: natürliche Lüftung

<sup>31</sup> Vor dem Hintergrund des Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren ist davon auszugehen, dass für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Maßnahmen an der Gebäudehülle im Mittel von einem Kessel ausgegangen werden kann, der eine vergleichbare Effizienz wie die typischer aktueller Brennwertkessel aufweist.

Abbildung 3 Modellgebäude für die Berechnungen zur Sanierung von Wohngebäuden

Modellgebäude		Außenbauteil	Fläche <sup>28</sup> [m <sup>2</sup> ]	A/V <sup>29</sup> [m <sup>-1</sup> ]	Bezugs- fläche A <sub>N</sub> [m <sup>2</sup> ]	Fenster- flächen- anteil <sup>30</sup> [%]	Primärenergie- bedarf [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
<b>Einfamilienhaus</b>	 Ansicht Nordost	Fassaden	224	0,65	299	7	139
		Dach / OG-Decke	181				
		Unt. Abschluss	196				
		Fenster	45				
<b>Doppelhaushälfte</b>	 Ansicht Südost	Fassaden	56	0,40	120	9	110
		Dach / OG-Decke	46				
		Unt. Abschluss	46				
		Fenster	14				
<b>Mehrfamilienhaus <sup>32</sup></b>	 Ansicht Südost	Fassaden	2.548	0,43	474	11	103
		Dach	971				
		Unt. Abschluss	971				
		Fenster	507				

Den Berechnungen des Primärenergiebedarfs liegen folgende zusätzliche Annahmen zugrunde:

- Hinsichtlich der Luftdichtheit wurde bei den Berechnungen von einem sechsfachen Luftwechsel pro Stunde (d.h. ein n<sub>50</sub>-Wert von 6 h<sup>-1</sup>) ausgegangen.
- Die Wärmespeicherfähigkeit (-kapazität) wurde zu 324 kJ/(m<sup>2</sup>·K) angenommen. Die thermische Qualität der Außenbauteile vor Modernisierung enthält Tabelle 9.

<sup>32</sup>Das Modellgebäude Mehrfamilienhaus umfasst 32 Wohneinheiten.

**Tabelle 9 Berücksichtigte mittlere U-Werte der nicht von der energetischen Sanierung betroffenen Außenbauteile der untersuchten Wohngebäude**

Bauteil	Mittlerer U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Wand	0,34
Dach / Oberste Geschossdecke	0,25
Unterer Abschluss	0,52
Fenster	1,30

### Investitionskosten Wohngebäude

Aufgrund der sich aus den unterschiedlichen Quellen ergebenden hohen Differenzen wurden auch für die Investitionskosten (insbesondere der Gebäudehülle), sowohl für Neubau als auch für die Sanierung, je zwei Szenarien berücksichtigt.

Zur Ermittlung möglichst realitätsnaher Investitionskosten wurden verschiedene Quellen herangezogen. Die Kostenansätze betreffen jeweils die gesamte Leistung einschließlich der Lohnkosten. Um ein möglichst realistisches Bild zu erhalten, wurden die Ergebnisse aktueller Studien, wie beispielsweise [Hinz, 2012] und [Maas, Erhorn et al. 2012], ausgewertet und miteinander verglichen. Darüber hinaus wurden auch Herstellerpreise, Kostenangaben aus der Baupreisdatenbank [sirAdos], sowie Projekterfahrungen der Fa. Ecofys berücksichtigt.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere bei den im Rahmen dieser Studie wesentlichen Maßnahmen der Hüllflächenverbesserung teilweise erhebliche Preisspannen auftreten. Um dem Rechnung zu tragen, wurden zwei Szenarien berücksichtigt. Das Szenario 1 beschreibt dabei ein Szenario, welches beim Neubau konform mit [Maas, Erhorn et al. 2012] ist und sich bei der Sanierung an den Obergrenzen der Angaben von [Hinz 2012] orientiert. Das zweite Szenario geht von geringeren Kosten aus und wurde aus einer Vielzahl weiterer Studien (siehe Tabelle 10) abgeleitet, wobei unrealistisch niedrig erscheinende Werte verworfen wurden.

Eine Besonderheit bildet bei der Sanierung die Dachdämmung. Hier ist bei einer näheren Betrachtung der Ergebnisse von [Hinz 2012] ein deutlicher Preissprung von einer sehr günstigen Zwischensparrendämmung bei niedrigen äquivalenten Dämmstärken bis 16 cm zu der deutlich teureren zusätzlichen Aufsparrendämmung zu erkennen. Diesen haben wir in den Berechnungen berücksichtigt.

Die Wärmeerzeugerkosten für die Neubauten wurden im Wesentlichen aus Herstellerangaben abgeleitet. Beim Neubau wurde als Maßnahme auch eine Verbesserung der Luftdichtigkeit und Eliminierung der Wärmebrücken, wie z.B. für ein Passivhaus erforderlich, berücksichtigt. Aufgrund fehlender Datenlage konnten die Kosten hierfür nur abgeschätzt werden. Als sehr konservativer Ansatz wurde für die Verbesserung der Luftdichtigkeit und Eliminierung der Wärmebrücken ein Wert von 30 €/m<sup>2</sup> Hüllfläche berücksichtigt.

Bei der Sanierung wurde aufgrund der hohen individuellen Varianzen auf eine solche Variante verzichtet. Bei den Kosten der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurde auf die Werte aus

[Hinz, 2012] zurückgegriffen. Auch bei den übrigen Anlagentechnikkosten wurden die Angaben von [Hinz, 2012] berücksichtigt.

Bei allen im Folgenden genannten Kosten handelt es sich um Gesamtkosten im Sinne der Delegierten Verordnung. Bei der mikroökonomischen Betrachtung von Wohngebäuden ist die Mehrwertsteuer einbezogen. Bei der makroökonomischen Berechnung wurden die Kosten ohne Mehrwertsteuer berücksichtigt. Entscheidend zur Bestimmung des kostenoptimalen Niveaus sind die sich ergebenden Kostendifferenzen der einzelnen Maßnahmen, nicht die absolute Höhe der Kosten. Beim Neubau wurde von folgenden spezifischen Kosten für die EnEV Grundvariante (inklusive Wärmeerzeugungssystem) ausgegangen:

EFH: 1.650 EUR/m<sup>2</sup> WFL\*  
 DHH: 1.400 EUR/m<sup>2</sup> WFL  
 MFH: 1.350 EUR/m<sup>2</sup> WFL

Quelle: Gerundete Werte nach [BKI 2012]; massive Bauweise mittlerer Standard

\*) Die an dieser Stelle auf die WFL bezogenen Kosten wurden bei den Global Costs Berechnungen auf die hierfür maßgebliche A<sub>n</sub> umgerechnet.

In den folgenden Tabellen werden die berücksichtigten Investitionskosten der Bauteile von Gebäudehülle und Anlagentechnik für Neubau und Sanierung dargestellt. Da einige der Anlagentechnikkosten leistungsabhängig sind, ergeben sich für diese Komponenten bei den Varianten teilweise entsprechend geringere Kosten als in Tabelle 11 angegeben.

**Tabelle 10 Spezifische Mehrkosten Gebäudehülle (Neubau), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude**

	<b>Szenario 1</b> **	<b>Szenario 2</b> ****
Zusätzliche Dämmung Außenwand [EUR/cm.m <sup>2</sup> *	2,3	1,4
Zusätzliche Dämmung Schrägdach [EUR/cm.m <sup>2</sup> *	3,4	1,2
Zusätzliche Dämmung Flachdach [EUR/cm.m <sup>2</sup> *	2,5	1,1
Zusätzliche Dämmung Oberste Geschossdecke [EUR/cm.m <sup>2</sup> *	2,5	1,3
Zusätzliche Dämmung des unteren Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/cm.m <sup>2</sup> ***	2,7	1,1
Qualitätsverbesserung der Fenster von U <sub>w</sub> = 1,3 zu U <sub>w</sub> = 1,0 W/m <sup>2</sup> .K bzw. von U <sub>w</sub> = 1,0 zu U <sub>w</sub> = 0,75 W/m <sup>2</sup> .K [EUR/m <sup>2</sup> ]	50	30

\*) Äquivalente Dämmstärke WLK 035

\*\*\*) Abgeleitet im Neubau aus [Maas, Erhorn et al. 2012]

\*\*\*\*) Beim Neubau sind darin auch Anteile von Mehrkosten für eine notwendige Deckenerhöhung zur Wahrung der lichten Kellerdeckenhöhe enthalten

\*\*\*\*\*) Experteneinschätzung auf der Grundlage von Studien, Dämmmaterialpreisen und Praxiserfahrungen: [Maas, Erhorn et al. 2012]; [Thiel, Ehrlich 2012]; [Ensling, Diefenbach et al. 2011]; [Kah, Feist et al. 2008]; [Stolte, Marcinek et al. 2012]; [Boermans, Offermann et al. 2012]; [Atanasiu, Boermans et al. 2011]

**Tabelle 11 Kosten Anlagentechnik/Wärmebrücken/Luftdichtheit (Grundvariante Neubau), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude**

	<b>EFH</b>	<b>DHH</b>	<b>MFH</b>
<b>Wohnfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>111</b>	<b>120</b>	<b>335</b>
<b>Gebäudenutzfläche, An [m<sup>2</sup>]</b>	<b>149</b>	<b>165</b>	<b>474</b>
<b>Installierte Leistung [Grundvariante in kW]</b>	<b>6,2</b>	<b>5,4</b>	<b>15,0</b>
Erdgas-Brennwertkessel	8.710	8.710	10.510
Heizöl-Brennwertkessel*	8.805	8.805	12.745
Holzpelletkessel*	18.160	18.160	20.470
Luft Wärmepumpe**	12.660	12.800	21.025
Sole Wärmepumpe**	19.352	18.520	33.175
Wasser Wärmepumpe**	17.960	18.100	26.225
Fernwärme	--	--	5.300
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung	4.584	4.803	8.658
Mehrkosten Lüftungsanlage mit WRG ( $\geq 80\%$ )***	4.166	4.632	14.682
Mehrkosten Lüftungsanlage mit WRG ( $< 80\%$ )***	3.274	3.640	12.314
Minderkosten Wegfall Radiatorbeheizung im Passivhaus zu Gunsten einer Zuluftheizung	-3.705	-4.060	-11.730
Mehrkosten Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	3.873	4.200	11.725

\*) Der Platzbedarf für das Lager bzw. den Tank wurde bei den Betriebskosten berücksichtigt.

\*\*\*) Inklusive 50% Mehrkostenanteil für die notwendige Fußbodenheizung im Vergleich zur Radiatorheizung.

\*\*\*\*) Gegenüber einer EnEV-Referenz-Abluftanlage

Tabelle 12 Spezifische Kosten Gebäudehülle (Sanierung), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude

	Szenario 1 **	Szenario 2 ***
Zusätzliche Dämmung Außenwand [EUR/cm.m <sup>2</sup> *]	2,5	1,5
Grundkosten Außenwand [EUR/m <sup>2</sup> ]	87	
Zusätzliche Dämmung Schrägdach [EUR/cm.m <sup>2</sup> *]	0,8 bzw. 1,8	
Grundkosten Schrägdach [EUR/m <sup>2</sup> ]	173 bzw. 193****	
Zusätzliche Dämmung Flachdach [EUR/cm.m <sup>2</sup> *]	2,5	1,1
Grundkosten Flachdach [EUR/m <sup>2</sup> ]	157	
Zusätzliche Dämmung Oberste Geschossdecke [EUR/cm.m <sup>2</sup> *]	2,5	1,3
Grundkosten Oberste Geschossdecke [EUR/m <sup>2</sup> ]	26	
Zusätzliche Dämmung des unteren Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/cm.m <sup>2</sup> *]	2,0	1,0
Grundkosten Dämmung des unter Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/m <sup>2</sup> ]	41	
Qualitätsverbesserung der Fenster von $U_W = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_W = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bzw. von $U_W = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_W = 0,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [EUR/m <sup>2</sup> ]	50	30
Grundkosten Fenster für $U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [EUR/m <sup>2</sup> ]	350	

\*) Äquivalente Dämmstärke WLG 035

\*\*) Annahme bei Sanierung: Abgeleitet in Anlehnung an die Publikation von [Hinz 2012] unter Berücksichtigung der Publikation [Maas, Erhorn et al. 2012], die für die zusätzliche Dämmung der obersten Geschosßdecke und das Flachdach relevant höhere Kosten ausweist.

\*\*\*) Experteneinschätzung auf Grundlage von Studien, Dämmmaterialpreisen und Praxiserfahrungen: [Maas, Erhorn et al. 2012]; [Thiel, Ehrlich 2012]; [IWU EnEV, 20011]; [Kah, Feist et al. 2008]; [Stolte, Marcinek et al. 2012]; [Boermans, Offermann et al. 2012]; [Atanasiu, Boermans et al. 2011]

\*\*\*\*) Die Zwischensparrendämmung bis zur Sparrenbreite (16 cm) kostet 0.8 €/cm.m<sup>2</sup> und nach dem 17. Zentimeter 1.8 €/cm.m<sup>2</sup> für die Aufsparrendämmung. Falls die Gesamtdämmung die Sparrenbreite von 16 cm übersteigt kostet der 17. Zentimeter pauschal 20 €/m<sup>2</sup> (Grundkosten steigen von 173 auf 193 €/m<sup>2</sup>).

Tabelle 13 Kosten Anlagentechnik und Gerüste (Grundvariante Sanierung), Euro inkl. MwSt., Wohngebäude

	EFH	DHH	MFH
<b>Wohnfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>242</b>	<b>107</b>	<b>2.845</b>
<b>Gebäudenutzfläche, An [m<sup>2</sup>]</b>	<b>299</b>	<b>120</b>	<b>3.327</b>
<b>Installierte Leistung [Grundvariante in kW]</b>	<b>15,4</b>	<b>4,8</b>	<b>140,7</b>
Erdgas-Brennwertkessel	9.429	7.021	22.894
Heizöl-Brennwertkessel*	11.218	8.286	27.919
Holzpelletkessel*	22.450	17.705	45.876
Luft Wärmepumpe	21.699	15.032	100.525
Sole Wärmepumpe	37.666	22.752	213.991
Wasser Wärmepumpe	28.792	24.568	127.920
Fernwärme	--	--	8.500
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung	7.184	4.490	68.271
Vollkosten Lüftungsanlage mit WRG ( $\geq 80\%$ )**	14.390	8.029	225.100
Gerüst***	940	215	10.348

\*) Die Kosten des Platzbedarfs für das Pelletlager bzw. den Heizöltank wurden bei den Betriebskosten berücksichtigt.

\*\*) Bei den Kosten der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurde auf die Werte aus [Hinz 2012] zurückgegriffen, wobei davon ausgegangen wurde, dass diese bereits anteilmäßig die Kosten für die sinnvollerweise notwendige (und bei den energetischen Berechnungen berücksichtigte) Verbesserung der Luftdichtigkeit beinhalten.

\*\*\*) Die Kosten für die Einrüstung wurden für die Außenwand- und Dachdämmung, sowie für den Fensteraustausch berücksichtigt.

## 4.2.2 Nichtwohngebäude

### **Modellgebäude Neubau**

Für die Kosteneffizienz der Anforderungen spielt bei Nichtwohngebäuden insbesondere auch die Nutzung des Gebäudes eine Rolle. Eine geeignete Datenbank mit Modellgebäuden findet sich in [Klauß et al. 2010].

Aus der Gebäude-Datenbank für energetische Untersuchungen wurden drei Modellgebäude ausgewählt, die hinreichend genau das absehbare Neubauvolumen im Nichtwohnungsbau repräsentieren (Abbildung 4). Das Bürogebäude entspricht der Grund-Vorgabe in Anhang I der Delegierten Verordnung. Der Verbrauchermarkt „Lebensmittel“ steht für viele Nichtwohngebäude mit großer Gebäudetiefe, geringer Fensterfläche und hohem Kunstlicht- und Belüftungsbedarf. Das Hotelgebäude steht stellvertretend für die Gruppe der Nichtwohngebäude mit größerem Komfort und Warmwasserbedarf. Die berücksichtigten Geometrien und die wesentlichen Kennwerte der Neubau-Nichtwohn-Modellgebäude sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Die folgenden Tabellen zeigen genauere Angaben zu Flächen und zur Zonierung der Nichtwohngebäude und beschreiben die technische Ausstattung der Gebäude.

Abbildung 4 Modellgebäude für die Berechnungen zum Neubau von Nichtwohngebäuden

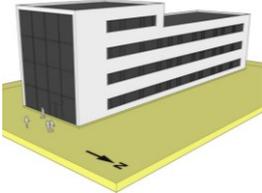
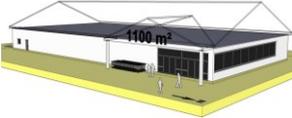
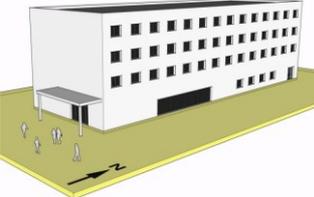
Modellgebäude	Außenbauteil	Fläche <sup>28</sup> [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	A/V <sup>29</sup> [m <sup>-1</sup> ]	Bezugsfläche A <sub>NGF</sub> [m <sup>2</sup> ]	Fensterflächenanteil <sup>30</sup> [%]	Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
<b>Bürogebäude</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	576	0,28	0,37	1.676	22	172
	Fassade West	187					
	Fassade Süd	598					
	Fassade Ost	234					
	Dach	591	0,20				
	Unt. Abschluss	591	0,35				
	Fenster	611	1,3				
<b>Verbrauchermarkt</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	103	0,28	0,59	1.025	2	177
	Fassade West	207					
	Fassade Süd	103					
	Fassade Ost	207					
	OG-Decke	1152	0,20				
	Unt. Abschluss	1152	0,35				
	Fenster	70	1,3				
<b>Hotel</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	162	0,28	0,36	1.903	8	150
	Fassade West	513					
	Fassade Süd	164					
	Fassade Ost	513					
	Dach	564	0,20				
	Unt. Abschluss	564	0,35				
	Fenster	207	1,3				

Tabelle 14 Zonierung der ausgewählten Referenzgebäude, Nichtwohngebäude

Gebäude-kategorie	Kenndaten		Referenzgebäude-Zonendarstellung
<b>Bürogebäude</b>	Netto-Grundfläche $A_{NGF}$	1.676 m <sup>2</sup>	
	Zonen		
	Großraumbüro (3)	63% $A_{NGF}$	
	Besprechung, Sitzung (4)	13% $A_{NGF}$	
	WC, Sanitärraum (16)	4% $A_{NGF}$	
	Verkehrsflächen (19)	11% $A_{NGF}$	
	Lager, Technik, Archiv (20)	9% $A_{NGF}$	
	Netto-Wandfläche $A_{NWF}$	985 m <sup>2</sup>	
	Fensterflächen $A_F$	611 m <sup>2</sup>	
	Netto-Dachfläche $A_{NDF}$	502 m <sup>2</sup>	
	Netto-Bodenplattenfläche $A_{NBF}$	502 m <sup>2</sup>	
	Mittlere lichte Raumhöhe $h_{Raum}$	3,5 m	
Nettovolumen $V$	5.867 m <sup>3</sup>		
<b>Gebäude des Groß- und Einzelhandels</b>	Netto-Grundfläche $A_{NGF}$	1.025 m <sup>2</sup>	
	Zonen		
	Einzelhandel/Kaufhaus (7)	74% $A_{NGF}$	
	Lager, Technik, Archiv (20)	18% $A_{NGF}$	
	sonst. Aufenthaltsräume (17)	6% $A_{NGF}$	
	Küche (15)	2% $A_{NGF}$	
	Netto-Wandfläche $A_{NWF}$	539 m <sup>2</sup>	
	Fensterflächen $A_F$	70 m <sup>2</sup>	
	Netto-Dachfläche $A_{NDF}$	1.025 m <sup>2</sup>	
	Netto-Bodenplattenfläche $A_{NBF}$	1.025 m <sup>2</sup>	
	Mittlere lichte Raumhöhe $h_{Raum}$	3,80 m	
	Nettovolumen $V$	3.895 m <sup>3</sup>	

Gebäudekategorie	Kenndaten		Referenzgebäude-Zonendarstellung
<b>Hotels und Gaststätten</b>	Netto-Grundfläche $A_{NGF}$	1.903 m <sup>2</sup>	
	Zonen		
	Hotelzimmer (11)	47% $A_{NGF}$	
	WC, Sanitärraum (16)	13% $A_{NGF}$	
	Lager, Technik, Archiv (20)	8% $A_{NGF}$	
	Verkehrsflächen (19)	27% $A_{NGF}$	
	Küche (15)	1% $A_{NGF}$	
	Gruppenbüro (2)	2% $A_{NGF}$	
	sonst. Aufenthaltsräume (17)	2% $A_{NGF}$	
	Netto-Wandfläche $A_{NWF}$	1.136 m <sup>2</sup>	
	Fensterflächen $A_F$	207 m <sup>2</sup>	
	Netto-Dachfläche $A_{NDF}$	476 m <sup>2</sup>	
	Netto-Bodenplattenfläche $A_{NBF}$	487 m <sup>2</sup>	
	Mittlere lichte Raumhöhe $h_{Raum}$	2,82 m	
Nettovolumen V	5.365 m <sup>3</sup>		

Quelle: [Klauß et al. 2010]

**Tabelle 15 Zusammenfassende Darstellung der Gebäudetechnik der Nichtwohngebäude in Anlehnung an [Ornth, W. 2009] (Neubau)**

Gebäudekategorie	Parameter	Wert	
<b>Bürogebäude</b>	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**	
	Nacht- und Wochenendabsenkung	vorhanden	
	Systemtemp.	55/45	
	Heizungspumpen	geregelt	
	Übergabe	Heizkörper	
	Warmwasser	dezentral, Elektro-Durchlauferhitzer***	
	Lüftungsanlage	vorhanden	
	Rückwärmezahl	60%	
	Luftbehandlung	heizen*	
	Volumenstrom		Konstant* Einzelbüro: 4 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Besprechung: 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> WC: 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Verkehrsfläche: 0 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Lager, Technik, Archiv: 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
		Kühlsystem	nicht vorhanden*

Gebäudekategorie	Parameter	Wert
<b>Groß-/Einzelhandel</b>	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**
	Nacht- und Wochenendabsenkung	vorhanden
	Systemtemp.	55/45
	Heizungspumpen	geregelt
	Übergabe	Luft
	Warmwasser	nicht vorhanden
	Lüftungsanlage	vorhanden
	Rückwärmezahl	60 %
	Luftbehandlung	heizen, kühlen, entfeuchten
	Volumenstrom	Konstant* Einzelhandel/Kaufhaus: 4 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Lager, Technik, Archiv: 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Sonstige Aufenthaltsräume: 7 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Küche – Vorbereitung, Küche: 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
	Kühlsystem	Umluft*
	Kälteerzeuger	ind. wassergek.
	Art Rückkühler	trocken
	Kühlwasserpumpen	ungeregelt/saisonale Abschaltung
Systemtemp.	6/12	
<b>Hotels und Gaststätten</b>	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**
	Nacht- und Wochenendabsenkung	vorhanden
	Systemtemp.	55/45
	Heizungspumpen	geregelt
	Übergabe	Heizkörper
	Warmwasser	über Heizkessel***, 43 m <sup>2</sup> Solarthermie (ca. 35% Deckung)
	Lüftungsanlage	vorhanden
	Rückwärmezahl	60 %
	Luftbehandlung	heizen*
	Volumenstrom	Konstant Hotelzimmer: 3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> WC, Sanitärraum: 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Lager, Technik, Archiv: 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Verkehrsfläche: 0 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Küche – Vorbereitung, Küche: 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Gruppenbüro: 4 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Serverraum, Rechenzentrum: 1,3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
	Kühlsystem	nicht vorhanden*

\*) Abweichung von [Ornth, W. 2009]. Gemäß [Bettgenhäuser, Boermans et al. 2011] sind lediglich 30 % der Gebäude im Bereich Hotel, Restaurant, Café gekühlt. Höhere Anteile klimatisierter Gebäude sind vor allem im Luxussegment vorhanden. Bei Büros und Verwaltungsgebäuden beträgt der Anteil der gekühlten Gebäude ca. 50 %. Gemäß [Bettgenhäuser, Boermans et al. 2011] ist es in der überwiegenden Anzahl der Fälle möglich durch geeignete Maßnahmen auf eine aktive Kühlung zu verzichten.

\*\*) Gemäß [Kleeberger 2011] für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Jahr 2010 (Heizwärmeversorgung): 50% Erdgas, 25% Heizöl, 17% Fernwärme, 6% Strom, 1% Kohle, 1% Erneuerbare Energien

\*\*\*) Gemäß [Kleeberger 2011] für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Jahr 2010 (Warmwasserversorgung): 31% Erdgas, 25% Heizöl, 23% Strom (für Bürogebäude wurden aufgrund des geringen Warmwasserbedarfs el. Durchlauferhitzer angenommen), 14% Fernwärme, 7% Erneuerbare Energien

## Modellgebäude Sanierung

Der Nichtwohngebäudebestand ist noch erheblich heterogener als der Wohngebäudebestand. Einen wesentlichen Einfluss sowohl auf Form, Bauweise und Größe als auch auf den Primärenergieenergiebedarf hat in diesem Bereich die jeweilige Nutzung.

[Klauß et al. 2010] stellt für jede Gebäudekategorie mehr als nur ein Modellgebäude vor. Diese repräsentieren jeweils eine Unterkategorie. Die Auswahl des geeigneten Modellgebäudes konnte für Bürogebäude und Verbrauchermärkte durch die Ergebnisse der Studien [Schlomann et al. 2011] und [Dirlich et al. 2011] gestützt werden. Unter den unterschiedlichen Nichtwohngebäudekategorien haben nach [Kohler, Hassler et al., 1999], [Schlomann, Gruber et al., 2009], [Kleemann, Hansen, 2005] und [IFO, 1999] die Büro- und Verwaltungsgebäude mit 22 % den größten Anteil am Nichtwohngebäudebestand, gefolgt von den Gebäuden des Einzelhandels (14 %), Landwirtschaftsgebäuden (14 %) und der Kategorie „Hotels, Cafés und Restaurants“ (13 %). Da unter Landwirtschaftsgebäude auch viele nicht oder nur gering beheizte Gebäude fallen, wurde für die Berechnungen des kostenoptimalen Niveaus neben einem Bürogebäude und einem Gebäude des Einzelhandels als drittes Referenz-Nichtwohngebäude ein Hotel gewählt.

### Bürogebäude

In der Datenbank von [Klauß et al. 2010] wurden fünf unterschiedliche Modellgebäude für die Kategorie „Bürogebäude“ entwickelt (s. Tabelle 16 ):

**Tabelle 16 Darstellung verfügbarer Büro-Modellgebäude, [Klauß et al. 2010]**

Modellgebäude	Brutto-Grundfläche
Büros - klein	1.972 m <sup>2</sup>
Büros - groß	6.998 m <sup>2</sup>
Büros – Module - Atrium	12.540 m <sup>2</sup>
Büros – Module - Turm	5.683 m <sup>2</sup>
Büros – Module – Atrium&Turm	16.484 m <sup>2</sup>

[Schlomann, Gruber et al. 2011] ermittelte als mittlere Gebäudenutzfläche für die häufigsten Baujahre von Bürogebäuden (1977 bis 2002) einen Wert von 1.736 m<sup>2</sup>. Auf dieser Basis wurde das kleine Bürogebäude aus Tabelle 1 („Büros – klein“, Bruttogrundfläche = 1.972m<sup>2</sup>, Nettogrundfläche = 1.676m<sup>2</sup>) für die vorliegende Untersuchung als repräsentatives Bürogebäude ausgewählt.

### Gebäude des Einzelhandels

Nach [Schlomann, Gruber et al. 2011] stellt sich die Flächenverteilung bei den Gebäuden des Groß- und Einzelhandels wie folgt dar:

Abbildung 5 Flächenverteilung im Gebäudebestand bei den Groß- und Einzelhandels Gebäuden

Grp. Split	Wohn- gebäude mit Misch- nutzung	Büro- ge- bäude	Laden- / Ver- kaufs- gebäude	Werk statt- gebäude	Lager- / Garagen- gebäude	Sonst. Gebäude ohne Wohn- nutzung	Gesamt
	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]	Summe [Mio. m <sup>2</sup> ]
<b>4 Handel</b>	<b>87</b>	<b>22</b>	<b>145</b>	<b>40</b>	<b>113</b>	<b>58</b>	<b>464</b>
24 Einzelhandel - food	14	1	40	0	1	0	56
25 Einzelhandel - nonfood	58	9	65	31	7	12	182
26 Großhandel - food	1	1	5	1	12	2	22
27 Großhandel - nonfood	8	6	34	9	91	38	186
29 Handelsvermittlungen	6	5	0	0	2	6	19

Für die weiteren Berechnungen wurde jedoch nicht die Kategorie „Einzelhandel – nonfood“ ausgewählt, da hier davon ausgegangen werden muss, dass diese häufig keine freistehenden Gebäude umfasst, sondern diese Nutzung in aller Regel in größere Gebäudekomplexe eingebunden sind. Es wurde stattdessen der „Verbrauchermarkt – Lebensmittel, klein“ mit einer Brutto-Grundfläche von 1152 m<sup>2</sup> als am besten geeignetes Modellgebäude der Datenbank von [Klauß et al. 2010] angesehen.

Hotels

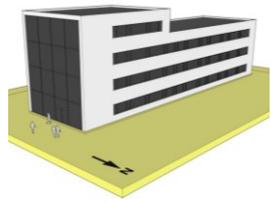
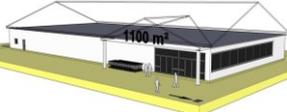
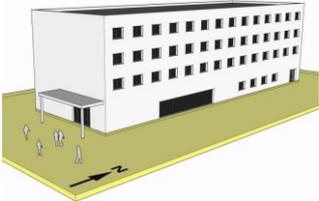
Da über Größe und Verbreitung von Gebäuden des Beherbergungsbereichs in Deutschland keine genaueren Daten vorliegen, wurde basierend auf Experteneinschätzungen das Modellgebäude „Hotel – klein“ aus der Datenbank von [Klauß et al. 2010] als repräsentatives Hotelgebäude für die Berechnungen ausgewählt (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17 Darstellung verfügbarer Hotel-Modellgebäude, [Klauß et al. 2010]

Modellgebäude	Brutto-Grundfläche
Hotels – klein (Hotel, mittlerer Standard; entspricht etwa 3*, ohne Restaurant)	2.240 m <sup>2</sup>
Hotels – groß (Hotel, gehobener Standard; entspricht etwa 4*, mit Restaurant und Konferenz/Seminarräumen; mit Tiefgarage)	13.755 m <sup>2</sup>

Auf der Grundlage der vorgenannten Überlegungen wurden die in Abbildung 6 dargestellten drei Modellgebäude ausgewählt, die bezüglich der Geometrie den für den Neubau ausgewählten entsprechen, sich jedoch hinsichtlich der Dämmeigenschaften und der technischen Gebäudeausstattung unterscheiden. Die bei der Modellierung berücksichtigte Zonierung kann Tabelle 14 im Unterkapitel „Modellgebäude Neubau“ entnommen werden.

**Abbildung 6 Modellgebäude für die Berechnungen zu Nichtwohngebäuden (Sanierung)**

Modellgebäude	Außenbauteil	Fläche <sup>33</sup> [m <sup>2</sup> ]	A/V <sup>34</sup> [m <sup>-1</sup> ]	Bezugsfläche A <sub>NGF</sub> [m <sup>2</sup> ]	Fensterflächenanteil <sup>35</sup> [%]	Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
<b>Bürogebäude</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	576	0,37	1.676	22	226
	Fassade West	187				
	Fassade Süd	598				
	Fassade Ost	234				
	Dach	591				
	Unt. Abschluss	591				
	Fenster	611				
<b>Verbrauchermarkt</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	103	0,59	1.025	2	234
	Fassade West	207				
	Fassade Süd	103				
	Fassade Ost	207				
	OG-Decke	1152				
	Unt. Abschluss	1152				
	Fenster	70				
<b>Hotel</b>  Ansicht Nordost	Fassade Nord	162	0,36	1.903	8	223
	Fassade West	513				
	Fassade Süd	164				
	Fassade Ost	513				
	Dach	564				
	Unt. Abschluss	564				
	Fenster	207				

<sup>33</sup> Die bezifferte Fläche umfasst Fassadenflächen einschließlich Fenster.

<sup>34</sup> Darstellung des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen.

<sup>35</sup> Flächenanteil bezogen auf die Außenbauteilfläche.

Hinsichtlich der Luftdichtheit wurde bei den Berechnungen von einem Volumenstrom pro Stunde gemäß DIN EN 13829 in Höhe des sechsfachen Innenvolumens ( $n_{50}$ -Wert von  $6 \text{ h}^{-1}$ ) ausgegangen. Die Wärmekapazität wurde zu  $324 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  angenommen.

Als Baualtersklassen wurden angenommen:

- Bürogebäude: 1984 - 1994
- Verbrauchermarkt: nach 1995
- Hotel: 1979 - 1983

Die Annahmen hinsichtlich der thermischen Qualität der Außenbauteile vor Modernisierung bei den untersuchten Bestands-Nichtwohngebäuden beschreibt Tabelle 18.

**Tabelle 18 Mittlere U-Werte der Außenbauteile der untersuchten Nichtwohngebäude vor der Sanierung**

Bauteil	Mittlerer U-Wert [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]		
	Büro	Verbrauchermarkt	Hotel
Wand	0,60	0,50	0,80
Dach / OG Decke	0,40	0,30	0,25
Unterer Abschluss	0,60	0,60	0,80
Fenster	1,3		

Die zu Grunde gelegte energetische Qualität der Bestands-Referenzgebäude basiert überwiegend auf der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Ornth, W. 2009]. Da gemäß [Ecofys, 2011] lediglich ca. 30 % der Gebäude im Bereich „Hotel, Restaurant, Café“ gekühlt sind und die höchsten Anteile klimatisierter Gebäude vor allem im weniger relevanten Luxussegment zu erwarten sind, wurde bei den Hotels, abweichend zu [Ornth, W. 2009], keine Kühlung angenommen. Bei Büros und Verwaltungsgebäuden beträgt der Anteil der gekühlten Gebäude ca. 50 %. Gemäß [Ecofys, 2011] ist es in der überwiegenden Anzahl der Fälle möglich, durch geeignete Maßnahmen auf eine aktive Kühlung zu verzichten. Daher wurde auch hier abweichend zu [Ornth, W. 2009] auch bei den Büro-Referenzgebäuden keine Kühlung angenommen.

In der folgende Tabelle 19 sind die detaillierten Informationen über die Anlagentechnik zusammengefasst.

**Tabelle 19 Zusammenfassende Darstellung der Gebäudetechnik der Nichtwohngebäude in Anlehnung an [Ornth, W. 2009] (Sanierung)**

Gebäudekategorie	Parameter	Wert
<b>Bürogebäude</b> BJ: 1984-1994	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**
	Nacht- und Wochenend- absenkung	vorhanden
	Systemtemp.	70/55
	Heizungspumpen	geregelt
	Übergabe	Heizkörper
	Warmwasser	dezentral, Elektro-Durchlauferhitzer***
	Lüftungsanlage	vorhanden
	Rückwärmezahl	60%
	Luftbehandlung	heizen*
	Volumenstrom	Konstant* <u>Einzelbüro</u> : 4 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Besprechung</u> : 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>WC</u> : 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Verkehrsfläche</u> : 0 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Lager, Technik, Archiv</u> : 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Kühlsystem	nicht vorhanden*	
<b>Groß-/Einzelhandel</b> BJ: ab 1995	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**
	Nacht- und Wochenend- absenkung	vorhanden
	Systemtemp.	70/55
	Heizungspumpen	geregelt
	Übergabe	Luft
	Warmwasser	nicht vorhanden
	Lüftungsanlage	vorhanden
	Rückwärmezahl	60 %
	Luftbehandlung	heizen, kühlen, entfeuchten
	Volumenstrom	Konstant* <u>Einzelhandel/Kaufhaus</u> : 4 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Lager, Technik, Archiv</u> : 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Sonstige Aufenthaltsräume</u> : 7 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Küche - Vorbereitung, Küche</u> : 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
	Kühlsystem	Umluft*
	Kälteerzeuger	ind. wassergek.
	Art Rückkühler	trocken
	Kühlwasserpumpen	ungeregelt/saisonale Abschaltung
Systemtemp.	6/12	

Gebäudekategorie	Parameter	Wert
Hotels und Gaststätten BJ: 1979-1983	Heizkessel	Gas-Brennwertkessel**
	Nacht- und Wochenend- absenkung	vorhanden
	Systemtemp.	70/55
	Heizungspumpen	geregelt
	Übergabe	Heizkörper
	Warmwasser	über Heizkessel***
	Lüftungsanlage	vorhanden
	Rückwärmezahl	60 %
	Luftbehandlung	heizen*
	Volumenstrom	Konstant <u>Hotelzimmer</u> : 3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>WC, Sanitärraum</u> : 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Lager, Technik, Archiv</u> : 0,15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Verkehrsfläche</u> : 0 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Küche - Vorbereitung, Küche</u> : 15 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> <u>Serverraum, Rechenzentrum</u> : 1,3 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Kühlsystem	nicht vorhanden*	

\*) Abweichung von [Ornth, W. 2009]. Gemäß [Bettgenhäuser, Boermans et al. 2011] sind lediglich 30 % der Gebäude im Bereich Hotel, Restaurant, Cafe gekühlt. Höhere Anteile klimatisierter Gebäude sind vor allem im Luxussegment vorhanden. Bei Büros und Verwaltungsgebäuden beträgt der Anteil der gekühlten Gebäude ca. 50 %. Gemäß [Bettgenhäuser, Boermans et al. 2011] ist es in der überwiegenden Anzahl der Fälle möglich durch geeignete Maßnahmen auf eine aktive Kühlung zu verzichten.

\*\*\*) Gemäß [Kleeberger 2011] für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Jahr 2010 (Heizwärmeversorgung): 50% Erdgas, 25% Heizöl, 17% Fernwärme, 6% Strom, 1% Kohle, 1% Erneuerbare Energien

\*) Gemäß [Kleeberger 2011] für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Jahr 2010 (Warmwasserversorgung): 31% Erdgas, 25% Heizöl, 23% Strom (für Bürogebäude wurden aufgrund des geringen Warmwasserbedarfs el. Durchlauferhitzer angenommen), 14% Fernwärme, 7% Erneuerbare Energien

## Investitionskosten Nichtwohngebäude

Als wesentliche Grundlage für die Investitionskosten der Maßnahmen bei den Nichtwohngebäuden, insbesondere im Bereich Gebäudetechnik, diente die Publikation [Thiel, Ehrlich 2012]. Da die dort angegebenen Kosten dem Stand des ersten Quartals 2009 entsprechen, wurden diese gem. den Baupreisindizes von [BKI 2012] um 6 % angehoben, um das aktuelle Preisniveau widerzuspiegeln.

Aufgrund fehlender bzw. lückenhafter Datenlage von Kosten für Hüllsanierungsmaßnahmen im Nichtwohngebäudebereich wurde hier, abgesehen von den Fenstern, auf die bereits bei den Wohngebäuden verwendeten Daten zurückgegriffen.

Analog zu den Wohngebäuden wurden auch zwei Szenarien berücksichtigt. Das Szenario 1 beschreibt dabei wieder das Szenario, welches beim Neubau konform mit [Maas, Erhorn et al. 2012] ist und sich bei der Sanierung an den Obergrenzen der Angaben von [Hinz 2012] orientiert. Das zweite Szenario geht von geringeren Kosten aus und wurde aus einer Vielzahl weiterer Studien (siehe Tabelle 21) abgeleitet, wobei unrealistisch niedrig erscheinende Werte verworfen wurden. Die Kosten für Fenster wurden auf Basis der Angaben von [Thiel, Ehrlich 2012] für Element- und Pfosten-/Riegelfassaden, sowie Kostenangaben aus der Baupreisdatenbank [sirAdos] abgeleitet.

Beim Neubau wurde analog zu den Untersuchungen der Wohngebäude als Maßnahme auch eine Verbesserung der Luftdichtigkeit und Eliminierung der Wärmebrücken, wie z.B. für ein Passivhaus erforderlich, mit sehr konservativ angenommenen Kosten von 30 €/m<sup>2</sup> Hüllfläche, berücksichtigt.

Beim Neubau wurde von folgenden spezifischen Kosten (300er und 400er) für die EnEV Grundvariante (inkl. Wärmeerzeuger und Lüftungsanlage) ausgegangen:

Bürogebäude:	1.350 EUR/m <sup>2</sup> BGF*
Verbrauchermarkt:	1.000 EUR/m <sup>2</sup> BGF
Hotel:	1.400 EUR/m <sup>2</sup> BGF

Quelle: Gerundete Werte nach [BKI 2012]; massive Bauweise mittlerer Standard

\*) Die an dieser Stelle auf die BGF bezogenen Kosten wurden bei den Global Costs Berechnungen auf die hierfür maßgebliche NGF umgerechnet.

In den folgenden Tabellen werden die berücksichtigten Investitionskosten der Bauteile von Gebäudehülle und Anlagentechnik der Grundvarianten von Neubau und Sanierung dargestellt. Bei allen im Folgenden genannten Kosten handelt es sich um Vollkosten exklusive Mehrwertsteuer.

**Tabelle 20 Spezifische Mehrkosten Gebäudehülle (Neubau), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude**

	<b>Szenario 1</b> **	<b>Szenario 2</b> ****
Zusätzliche Dämmung Außenwand [EUR/cm.m²*]	1,9	1,2
Zusätzliche Dämmung Flachdach [EUR/cm.m²*]	2,1	0,9
Zusätzliche Dämmung Oberster Geschossdecke [EUR/cm.m²*]	2,1	1,1
Zusätzliche Dämmung des unteren Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/cm.m²]***	2,3	0,9
Qualitätsverbesserung der Fenster von $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bzw. von $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_w = 0,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [EUR/m²]	80	40

\*) Äquivalente Dämmstärke WLG 035

\*\*) Abgeleitet im Neubau aus [Maas, Erhorn et al. 2012]

\*\*\*) Beim Neubau sind darin auch Anteile von Mehrkosten für eine notwendige Deckenerhöhung zur Wahrung der lichten Kellerdeckenhöhe enthalten.

\*\*\*\*) Experteneinschätzung auf Grundlage von Studien, Dämmmaterialpreisen und Praxiserfahrungen: [Maas, Erhorn et al. 2012]; [Thiel, Ehrlich 2012]; [Enseling, Diefenbach et al. 2011]; [Kah, Feist et al. 2008]; [Stolte, Marcinek et al. 2012]; [Boermans, Offermann et al. 2012]; [Atanasiu, Boermans et al. 2011]

**Tabelle 21 Spezifische Kosten Gebäudehülle (Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude**

	<b>Szenario 1</b> **	<b>Szenario 2</b> ***
Zusätzliche Dämmung Außenwand [EUR/cm.m²*]	2,1	1,3
Grundkosten Außenwand [EUR/m²]	73	
Zusätzliche Dämmung Flachdach [EUR/cm.m²*]	2,1	0,9
Grundkosten Flachdach [EUR/m²]	132	
Zusätzliche Dämmung Oberste Geschossdecke [EUR/cm.m²*]	2,1	1,1
Grundkosten Oberste Geschossdecke [EUR/m²]	22	
Zusätzliche Dämmung des unteren Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/cm.m²*]	2,3	0,8
Grundkosten Dämmung des unteren Abschlusses des beheizten Bereiches [EUR/m²]	34	
Qualitätsverbesserung der Fenster von $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bzw. von $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zu $U_w = 0,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [EUR/m²]	80	40
Grundkosten Fenster für $U = 1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [EUR/m²]	650	

\*) Äquivalente Dämmstärke WLG 035

\*\*) Annahme bei Sanierung: Abgeleitet in Anlehnung an die Publikation von [Hinz 2012] unter Berücksichtigung der Publikation [Maas, Erhorn et al. 2012], die für die zusätzliche Dämmung der obersten Geschosßdecke und das Flachdach relevant höhere Kosten ausweist.

\*\*\*) Experteneinschätzung auf Grundlage von Studien, Dämmmaterialpreisen und Praxiserfahrungen: [Maas, Erhorn et al. 2012]; [Thiel, Ehrlich 2012]; [IWU EnEV, 2011]; [Kah, Feist et al. 2008]; [Stolte, Marcinek et al. 2012]; [Boermans, Offermann et al. 2012]; [Atanasiu, Boermans et al. 2011]

**Tabelle 22 Kosten Wärmeerzeuger (Neubau und Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude**

Anlagenkosten [€/kW]	50 kW [€/kW]	100 kW [€/kW]	150 kW [€/kW]	200 kW [€/kW]
Erdgas-Brennwertkessel	127	106	95	95
Holzpelletkessel	413	360	265	212
Silo für Holzpellets (Blech)	246	246	246	246
Luft Wärmepumpe	700	650	650	650
Sole Wärmepumpe	668	488	477	466
Erdsonden Sole Wärmepumpe	1000	1000	1000	1000
Wasser Wärmepumpe	615	551	530	519
Brunnen für Wasser Wärmepumpe	200	150	120	100
Fernwärmeanschluss	95	64	53	53

Bemerkung: Alle o.g. Kosten verstehen sich inklusive Montage

**Tabelle 23 Kosten Anlagentechnik (Neubau und Sanierung), Euro exkl. MwSt., Nichtwohngebäude**

	Kosten	Einheit
Gesamtkosten Lüftungsanlage ohne Kühlfunktion, 7.000-14.000 m <sup>3</sup> /h (Büro und Hotel)	14,84	[€/m <sup>3</sup> /h]
Gesamtkosten Lüftungsanlage mit Kühlfunktion, 3.500-7.000 m <sup>3</sup> /h (Verbrauchermarkt)	25,44	[€/m <sup>3</sup> /h]
Mehrkosten Lüftungsanlage mit verbesserter Rückwärmezahl (75 % anstatt 60 %)	+0,75	[€/m <sup>3</sup> /h]*
Mehrkosten optimierter SPF der Ventilatoren durch Kanalvergrößerung**	+15% von Gesamtkosten Lüftungsanlage	[€]
Mehrkosten verbesserte Wärmerückgewinnung (75 anstatt 60%) und Ventilatortausch***	+35% von Gesamtkosten Lüftungsanlage	[€]
Erdgasanschluss	3.500	[€/Stck]
Abgasleitung	106	[€/m]
Beleuchtung, Präsenzsteuerung: Zonen WC und Lager	4,24	[€/m <sup>2</sup> ]
Beleuchtung, Präsenzsteuerung: Zonen Einzelbüro und Hotelzimmer	7,42	[€/m <sup>2</sup> ]
Beleuchtung, Konstantlichtregelung:	14,84	[€/m <sup>2</sup> ]

	<b>Kosten</b>	<b>Einheit</b>
Zonen Einzelbüro und Hotelzimmer		
Beleuchtung, Präsenzsteuerung und Konstantlichtregelung: Zonen Einzelbüro und Hotelzimmer	22,26	[€/m <sup>2</sup> ]
Mehrkosten Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtigkeit	28,3	[€/m <sup>2</sup> <sub>Hüllfläche</sub> ]
Solarthermische Anlage zur Warmwasserbereitung	450	[€/m <sup>2</sup> ]
Minderkosten durch Wegfall der Heizkörper im Passivhaus	-32	[€/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> ]
Gerüst	5	[€/m <sup>2</sup> <sub>AW</sub> ]

\*) zusätzliche System-Druckverluste von 125 Pa wurden berücksichtigt

\*\* ) nur für den Neubaufall

\*\*\* ) nur für den Sanierungsfall

## 5 Variantenbeschreibung

### 5.1 Allgemeines

#### 5.1.1 Maßnahmen und Maßnahmenpakete

Neben den im Folgenden genannten Varianten wird bei den Ergebnissen auch zwischen der mikro- und makroökonomischen Betrachtungsweise unterschieden. Zur Sensitivitätsdarstellung hinsichtlich der möglichen Varianzen der die Kosten beeinflussenden Parameter werden, wie zuvor beschrieben, jeweils zwei als realistisch anzusehende Szenarien untersucht.

Im Gegensatz zu Szenario 1 ist Szenario 2 aufgrund der gewählten Parameter für die meisten den Primärenergiebedarf senkenden Maßnahmen günstiger. In der folgenden Tabelle wird nochmals eine qualitative Übersicht der in den beiden Szenarien variierten Parameter aufgeführt.

**Tabelle 24 Erläuterung der Simulationsszenarien**

Parameter	Szenario 1	Szenario 2
Reale Energiepreissteigerung	Erdgas/FW 0,0 % bis 1,0 % Öl/Pellets 1,0 % bis 2,0 % Strom -0,2 % bis 0,6 % <sup>36</sup>	Erdgas/FW 2,8 % Öl/Pellets 2,8 % Strom 0,1 % bis 2,2 % <sup>37</sup>
Reale Kalkulationszinssätze	Mikroökonomisch: 3,5 % Makroökonomisch: 3,0 %	Mikroökonomisch: 1,3 % Makroökonomisch: 0,0 %
Investitionskosten für Sanierungsmaßnahmen	Eher hohes Niveau Neubau <sup>38</sup> Sanierung <sup>39</sup>	Eher niedriges Niveau für Neubau und Sanierung <sup>40</sup>

Es ist zu erwarten, dass weitere Kombinationsmöglichkeiten der Parameter „Energiepreisentwicklungen“, „Kalkulationszinssätze“ und „Investitionskosten von Hüllflächenmaßnahmen“ zu Kostenoptima führen, die zwischen den Werten für die beiden beschriebenen Szenarien liegen.

Bei der Bildung der Varianten zur Bestimmung des Kostenoptimums muss, wie im Folgenden durchgeführt, zwischen Neubau und Sanierung unterschieden werden.

<sup>36</sup> Abgeleitet aus BMWi Energiedaten, Stand 2.11.2012

<sup>37</sup> Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus) der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD)

<sup>38</sup> Maas, Erhorn et al. 2012. Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit.

<sup>39</sup> in Anlehnung an Hinz 2012. Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden.

<sup>40</sup> Diverse Quellen und Experteneinschätzungen, siehe Hauptbericht

## 5.1.2 Neubau

### Geltende Anforderungen im Neubau

In Deutschland werden bei Neubauten Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz und an die energetische Qualität der Gebäudehülle gestellt. Die Gesamtenergieeffizienz wird über den Jahres-Primärenergiebedarf ausgedrückt.

Der Jahres-Primärenergiebedarf bilanziert sich als gebäudespezifischer Wert anhand unterschiedlicher Referenz-Gebäude, die die energetische Qualität der Gebäudehülle und der Anlagentechnik beschreiben, der tatsächlichen Gebäudegröße, -form und -ausrichtung und dem jeweiligen Nutzungsprofil. Bei Wohngebäuden wird der Jahres-Primärenergiebedarf auf die Gebäudenutzfläche<sup>41</sup> und bei Nichtwohngebäuden auf die Nettogrundfläche bezogen.

### Auswahl der Maßnahmen im Neubau

Bei den vorliegenden Berechnungen der kostenoptimalen Niveaus wurde bei Neubauten wie folgt vorgegangen:

In einem zweistufigen Verfahren wurde, ausgehend von den Anforderungen der EnEV<sub>2009</sub>, in der ersten Stufe zunächst eine Variation einzelner energetisch relevanter Bauteile und Komponenten auf Basis des EnEV-Referenzgebäudes durchgeführt:

- Bauteile: Außenwand, Dach, Keller, Fenster, Wärmebrücken
- Komponenten: Lüftung, Wärmeversorger

In einer zweiten Stufe wurden die kosteneffizientesten Maßnahmen zu Paketen zusammengefasst:

- Für das Maßnahmenpaket „Basic\_1“ wurden die Maßnahmen mit den geringsten resultierenden Gesamtkosten<sup>42</sup> ausgewählt. Gleichzeitig musste dieses Paket mindestens die aktuellen Referenzanforderungen erfüllen.
- Für das Maßnahmenpaket „Basic\_2“ wurden diejenigen Maßnahmen mit den höchsten Einsparpotentialen beim Primärenergiebedarf ausgewählt. Gleichzeitig musste dieses Paket zu geringeren Gesamtkosten als die Referenz führen.
- Bei drei weiteren Maßnahmenpaketen wurden unterschiedlich ambitionierte Primärenergie-Niveaus angestrebt, in Anlehnung an die derzeit staatlich geförderten Effizienzkatoren<sup>43</sup>. Auch hier wurden möglichst geringe Gesamtkosten angestrebt:
  1. 70% des Anforderungswertes der EnEV<sub>2009</sub> (KfW-Effizienzhaus 70, EH 70)
  2. 55% des Anforderungswertes der EnEV<sub>2009</sub> (KfW-Effizienzhaus 55, EH 55)
  3. 40% des Anforderungswertes der EnEV<sub>2009</sub> (KfW-Effizienzhaus 40, EH 40)

---

<sup>41</sup> Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  ist eine bei Wohngebäuden in Deutschland seit 1995 eingeführte Energiebezugsfläche, die aus den Außenabmessungen des beheizten Volumens  $V_e$  durch Multiplikation mit einem Faktor bestimmt wird, der in der EnEV vorgegeben ist und für den Normalfall (Geschosshöhe - gemessen von der Fußbodenoberfläche zur Fußbodenoberfläche des nächst höheren Geschosses bzw. zur Oberkante der Dachdämmschicht zwischen 2,5 m und 3,0 m)  $0,32 \text{ m}^{-1}$  beträgt.

<sup>42</sup> Als Grundlage hierfür dienten die Ergebnisse des Szenarios 2 der mikroökonomischen Betrachtungsweise (Details, siehe folgende Kapitel).

<sup>43</sup> Die Förderung erfolgt durch zinsverbilligte Kredite und Zuschüsse, die von der staatlichen Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) vergeben werden. Die Förderung knüpft an verschiedene Primärenergie-Niveaus an, die jeweils im Verhältnis zu den nach EnEV 2009 geltenden Anforderungen bemessen werden (100% entspricht den geltenden Anforderungen nach EnEV 2009).

Im Sinne der Technologieoffenheit wurden nach Möglichkeit Lösungen zusammengestellt, bei denen das entsprechende Anforderungsniveau unter Verwendung unterschiedlicher Wärmeerzeugertechnologien erreicht wird.

### 5.1.3 Bestand

#### **Geltende Anforderungen bei Sanierungen**

Bedingt durch die gesetzlichen Vorgaben der EnEV<sub>2009</sub> müssen im Fall einer energetischen Sanierung zu ersetzende oder zu sanierende Bauteile Mindestanforderungen an die energetische Qualität von Außenbauteilen erfüllen, soweit diese verändert werden und damit Bestandteil von Modernisierungsmaßnahmen sind. In der EnEV<sub>2009</sub> sind Mindestwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten für Bauteile (U-Werte) tabelliert.

Dieser Ansatz mit sogenannten „bedingten Anforderungen“ folgt der Erkenntnis, dass Maßnahmen zur energetischen Verbesserung am ehesten dann wirtschaftlich durchgeführt werden können, wenn sie mit Maßnahmen aus anderem Anlass – z. B. erhaltenden Renovierungsmaßnahmen – verbunden werden.

Alternativ steht es Eigentümern frei, abweichend von den Bauteilanforderungen den Nachweis zu führen, dass das gesamte Gebäude nach Durchführung von Maßnahmen, die in den Geltungsbereich der EnEV an sanierte Bauteile fallen, die Anforderungen an ein gleichartiges neues Gebäude um nicht mehr als 40% überschreitet. Bei den Untersuchungen zur Kostenoptimalität wurde diese Alternative nicht näher betrachtet, da sie in der Regel nur in Anspruch genommen wird, wenn staatliche Fördermittel beantragt werden und die dortigen Effizienzkatégorien nachzuweisen sind.

#### **Auswahl der Maßnahmen bei Sanierungen**

Die geltenden Mindestanforderungen an die Einzelmaßnahmen über die U-Werte von Bauteilen bilden die Grundlage der Basisvarianten für den Sanierungsfall. Bei den Bauteilen werden die U-Werte nach Sanierung variiert. Es wird davon ausgegangen, dass die Sanierung jeweils die gesamte vorhandene Fläche des betroffenen Bauteils erfasst.

Diese Referenzwerte und darüber hinausgehende, strengere U-Werte wurden als Varianten untersucht.

Entsprechend den Vorgaben der Delegierten Verordnung wird für Maßnahmen im Gebäudebestand der Jahres-Primärenergiebedarf als Indikator der Gesamtenergieeffizienz nach der dafür in Deutschland anzuwendenden Berechnungsmethodik bestimmt. Analog zu Neubauten ist die Bezugsfläche bei Wohngebäuden die Gebäudenutzfläche<sup>41</sup>, bei Nichtwohngebäuden die Nettogrundfläche.

Der Jahres-Primärenergiebedarf, der jeweils durch eine Maßnahme erreicht wird, hängt wesentlich auch vom eingesetzten Energieträger ab. Der Vergleich der Ergebnisse bei unterschiedlichen Energieträgern ist daher nicht immer unmittelbar möglich.

Den Effizienzunterschieden von Wärmeerzeugern abhängig von ihrem Baujahr kommt im Ergebnis eine vernachlässigbar geringe Bedeutung zu. Über den gesamten Betrachtungszeitraum von 20 bzw. 30 Jahren kommt es aufgrund von Verschleiß zu einem stetigen Ersatz der alten Gerätegenerationen.

Anfänglich noch ältere, ineffizientere Wärmeerzeuger, werden bald zwangsläufig durch solche mit zeitgemäßer Effizienz ersetzt. Die Kosten für Wärme, die über den gesamten Betrachtungszeitraum durch die untersuchte Bauteilmodernisierung eingespart werden, werden dann überwiegend durch diese neuen, effizienteren Anlagen geprägt.

Deutliche Unterschiede bestehen aber zwischen den verschiedenen Erzeugungsarten und Energieträgern. Die relevanten Wärmekosten sind z. B. bei elektrischen Heizsystemen andere als bei Holzpelletkesseln oder bei Gasheizkesseln. Diesem Umstand wird durch die erzeugerdifferenzierten Berechnungen Rechnung getragen.

Im Sinne der Technologieoffenheit wurden bei der Berechnung der Gesamtkosten der Einzelmaßnahmen die drei jeweils relevantesten Wärmeerzeugertypen berücksichtigt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der jeweilige Wärmeerzeuger bereits vor der Durchführung der jeweiligen Einzelmaßnahme installiert wurde und sich daher die Investitionskosten über den gesamten Betrachtungszeitraum ausgleichen. Aus diesem Grund werden bei den Berechnungen für die Einzelmaßnahmen nur die unterschiedlichen Energieträgerkosten berücksichtigt.

## 5.2 Wohngebäude

### 5.2.1 Neubau

In der folgenden Tabelle sind die Varianten der Neubau-Wohngebäude dargestellt. Die beschreiben dabei eine Kombination aus den kostenoptimalen Einzelmaßnahmen. Diese Pakete wurden jeweils auf Grundlage der Ergebnisse des mikroökonomischen Szenarios 2 erstellt, bei dem sich gegenüber Szenario 1 teilweise Kostenoptima ergeben, die einen geringeren Primärenergiebedarf als die Basisvarianten aufweisen.

**Tabelle 25 Maßnahmen der Wohngebäude (Neubau, Ausgangslage gem. EnEV<sub>2009</sub>)**

Bauteil	Hüll-Bauteil-Qualitäten	HW-(WW) Erzeugung	Lüftung
<b>Basisvariante</b>	EnEV Referenz	EnEV Erdgas BW+ST	EnEV Abluft
<b>Fassade</b>	0,20 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
	0,12 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
<b>Dach</b>	0,14 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
	0,08 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>	0,27 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
	0,18 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
<b>Fenster</b>	1,00 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
	0,75 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.
<b>Lüftung</b>	EnEV Referenz	s.o.	WRG 70%
	s.o.	s.o.	WRG 90%
<b>Kessel</b>	s.o.	Heizöl BW+ST	EnEV Abluft
	s.o.	Luft-Wärmepumpe****	s.o.
	s.o.	Sole-Wärmepumpe (Sonde) ****	s.o.
	s.o.	Wasser Wärmepumpe****	s.o.
	s.o.	Holzpelletkessel+ST	s.o.
Nur MFH:	s.o.	Fernwärme aus KWK (fossil)	s.o.
<b>Wärmebrücken, Luftdichtheit</b>	s.o.	EnEV Erdgas BW+ST	EnEV Abluft keine WB, n=1,0 1/h
<b>Qp_Basic_1</b>	AW: 0,20 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K*	EnEV Erdgas BW+ST	EnEV Abluft**
<b>Qp_Basic_2</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K*	s.o.	s.o.**
<b>EH70</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K Wärmebrücken-	s.o.	s.o.

Bauteil	Hüll-Bauteil-Qualitäten	HW-(WW) Erzeugung	Lüftung
	vermeidung und erhöhte Luftdichtheit		
<b>EH55_1</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	WRG 90%
<b>EH55_2</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	s.o.	WRG 70%
<b>EH55_3</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K	Wasser Wärmepumpe****	EnEV Abluft
<b>EH40_1</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,08 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 0,75 W/m <sup>2</sup> .K Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	EnEV Erdgas BW+ST (Luftheizung)	WRG 90%
<b>EH40_2****</b>	AW: 0,12 W/m <sup>2</sup> .K DA: 0,14 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K FE: 1,00 W/m <sup>2</sup> .K	Wasser Wärmepumpe****	EnEV Abluft
<b>EH40_3</b>	AW: 0,20 W/m <sup>2</sup> .K KE: 0,18 W/m <sup>2</sup> .K	Holzpelletkessel + Solar	s.o.

\*) Ausnahme DHH: Fensteraustausch ist nicht kostenoptimal und wurde herausgenommen

\*\*) Ausnahme MFH: Die Lüftungsanlage mit hocheffizienter WRG (90%) ist kostenoptimal und wurde hinzugenommen

\*\*\*) Ausnahme EFH: Wärmebrückenvermeidung und erhöhte Luftdichtheit wird hinzugenommen, um Grenzwert zu erreichen  
Anmerkung: Da eine Berücksichtigung der Leitungslängen für die Warmwasserzirkulation und die Heizwärmeverteilung gem. DIN V 18599 zu unrealistisch großen Leitungslängen (z.B. 177 m Heizwärmeleitungen und 97 m Warmwasserleitungen für das Einfamilienhaus) und damit verbundenen unrealistisch hohen Leitungsverlusten führt, wurden die Werte der DIN 4701-10 verwendet. Der Wirkungsgrad des Holzpelletkessels wurde auf ein realistisches Niveau angehoben. Da gem. aktueller softwaretechnischer Umsetzung der DIN V 18599 bei Wohngebäude noch keine Berechnung von Luft- und Wasser-Wasserwärmepumpen möglich ist, wurden zur Abschätzung des Energiebedarfs dieser Technologien die Vergleichswerte der Solewärmepumpen verwendet und mittels Umrechnungsfaktoren diese Ergebnisse erzeugt. Für Luft-Wasserwärmepumpen wurde der Faktor 0,76 (Heizung) bzw. 0,91 (Warmwasser), für Wasser-Wasserwärmepumpen der Faktor 1,04 (Heizung) bzw. 1,01 (Warmwasser) verwendet. Die Faktoren wurden auf der Grundlage einer Berechnung nach VDI 4650 mit Standard COP Werten gem. DIN EN 255 ermittelt.

\*\*\*\*) Heizungssystemtemperaturen wurden, abweichend zu den übrigen Varianten (55/45) mit 35/28 °C angenommen (=> Fußbodenheizung), die Zusatzkosten der Fußbodenheizung wurden bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen anteilig (50 %) berücksichtigt.

Anmerkung: Nicht berücksichtigt wurde die Möglichkeit, im Einfamilienhaus bzw. der Doppelhaushälfte durch eine geeignete Anordnung von Wärmeerzeuger und Zapfstellen auf das im EnEV-Referenzgebäude vorgesehene Warmwasser-Zirkulationssystem zu verzichten, wodurch der Primärenergiekennwert ohne Mehrkosten gegenüber der Basisvariante signifikant gesenkt werden könnte.

### 5.2.2 Bestand

Basierend auf der Ausgangslage, dass für den Sanierungsfall das Kostenoptimum für den Austausch defekter Bauteile (Restwert=0 der bestehenden Bauteile) zu bestimmen ist (Auslösetatbestand), wurden die folgenden Varianten untersucht:

**Tabelle 26 Maßnahmen der Wohngebäude (teilsaniert\*)**

Bauteil	Hüll-BT-Qualitäten	HW/WW-Erzeugung, Lüftung
<b>Fassade</b>	0,24/0,20/0,16/0,12 W/m <sup>2</sup> .K	EFHs: Heizöl BW MFH: Erdgas BW
	s.o.	(Luft-) Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel+ST
<b>Dach</b>	0,24**/0,20/0,16/0,12/0,08 W/m <sup>2</sup> .K	EFH: Heizöl BW MFH: Erdgas BW
	s.o.	(Luft-) Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel+ST
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>	0,30/0,26/0,22/0,18 W/m <sup>2</sup> .K	EFH: Heizöl BW MFH: Erdgas BW
	s.o.	(Luft-) Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel+ST
<b>Fenster</b>	1,30/1,00/0,75 W/m <sup>2</sup> .K	EFH: Heizöl BW MFH: Erdgas BW
	s.o.	(Luft-) Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel+ST
<b>Lüftung</b>	Gemäß Ausgangszustand	WRG 90%
<b>Kessel</b>	Gemäß Ausgangszustand	EFH: Heizöl BW MFH: Erdgas BW
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Sole-Wärmepumpe (Sonde)
	s.o.	Wasser Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel+ST
	s.o.	MFH: Fernwärme aus KWK (fossil)

\*) s. Tabelle 9

\*\*) gilt nur für Satteldach von EFH und Oberste Geschossdecke von MFH

Um Technologieoffenheit hinsichtlich der Wärmeerzeuger zu gewährleisten, wurden neben einem fossilen Heizkessel für jede Hüllflächen-Bauteil-Variante auch jeweils eine Wärmepumpe und ein Holzpelletkessel (mit Solaranlage) berücksichtigt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der jeweilige Wärmeerzeuger bereits vor der Hüllflächenanierung installiert wurde. Daher werden bei den Berechnungen für die Hüllflächen-Bauteil-Variante nur die Energiekosten, nicht aber die Investitionskosten der Wärmeerzeuger berücksichtigt. Im Gegensatz zum Neubau wurden bei der Variante mit Luftwärmepumpe, wie bei den übrigen Sanierungs-Varianten, Heizungssystemtemperaturen entsprechend einer Wärmebereitstellung über Niedertemperaturheizkörper angenommen (55/45 °C), die zu vergleichsweise geringen Jahresarbeitszahlen führen.

Die Lebensdauer der Komponenten wurden in Anlehnung an [DIN EN 15459] und [Agethen et al. 2008] angesetzt (s. Tabelle 8) und die Komponenten nach Beendigung dieser Lebensdauer ersetzt. Dies sowie der mögliche Restwert am Ende des Betrachtungszeitraums, gehen ebenfalls in die Kostenoptimalitätsberechnungen mit ein.

### 5.3 Nichtwohngebäude

#### 5.3.1 Neubau

Tabelle 27 Nichtwohngebäude (Neubau, Ausgangslage gem. EnEV<sub>2009</sub>)

Bauteil/ System	Hüll-BT Qualitäten	HW-(WW) Erzeugung	Lüftung	Klima- tisierung	Sonstiges
<b>Basisvariante</b>	gem. EnEV Referenz	gem. EnEV- Ref. Erdgas BW <u>Büro:</u> WW-dezentral <u>Verbrauchermarkt:</u> kein WW <u>Hotel:</u> WW-zentral + Solarthermie	gem. EnEV-Ref. Mechanisch mit ger. Kondition.	Handel: Umluft- heiz-/kühlgeräte Andere: ohne	Außenliegender SS Beleuchtung gem. EnEV-Referenz <u>Büro:</u> Präsenz- und Konstantlichtregelung Präsenzregelung auf 411 m <sup>2</sup> ; Konstantlichtregelung auf 1046 m <sup>2</sup> <u>Verbrauchermarkt:</u> Präsenzregelung auf 19 m <sup>2</sup> <u>Hotel:</u> Präsenz- und Konstantlichtregelung Präsenzregelung auf 539 m <sup>2</sup> ; Konstantlichtregelung auf 30 m <sup>2</sup>
<b>Fassade</b>	0,20 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	0,12 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Dach</b>	0,14 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	0,08 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Unterer Gebäude- abschluss</b>	0,27 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	0,18 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Fenster</b>	1,00 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	0,75 W/m <sup>2</sup> .K	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Wärme- erzeuger</b>	gem. EnEV Referenz	Luft- Wärmepumpe *	s.o.	s.o.	s.o.
	s.o.	Sole (Sonde)- Wärmepumpe	s.o.	s.o.	s.o.
	s.o.	Wasser - Wärmepumpe *	s.o.	s.o.	s.o.
	s.o.	Holzpellet- kessel**	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Lüftung</b>	s.o.	gem. EnEV Referenz	Verbessert: P <sub>SPF</sub> : -25 % WRG: 75% (P <sub>SPF</sub> :+10%)***	s.o.	s.o.
<b>Beleuchtung</b>	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	<u>Büro:</u> Präsenz- und Konstantlichtregelung Präsenzregelung plus 1046 m <sup>2</sup> ; Konstantlichtregelung plus 222 m <sup>2</sup> <u>Hotel:</u> Präsenzregelung plus 1300 m <sup>2</sup>

Bauteil/ System	Hüll-BT Qualitäten	HW-(WW) Erzeugung	Lüftung	Klima- tisierung	Sonstiges
<b>Qp_Basic_1</b>	AW: 0,20 DA: 0,14**** KE: 0,27	S.o.	S.o.	S.o.	S.o.
<b>Qp_Basic_2</b>	AW: 0,12 DA: 0,14**** KE: 0,18	S.o.	S.o.	S.o.	S.o.
<b>EH70</b>	AW: 0,12 DA: 0,14**** KE: 0,18 Wärmebrücke nvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	S.o.	S.o.	S.o.	S.o.
<b>EH55_1</b>	AW: 0,12 DA: 0,14**** KE: 0,18 Wärmebrücke nvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	Wasser- Wärmepumpe *	S.o.	S.o.	S.o.
<b>EH55_3</b>	AW: 0,12 DA: 0,14**** KE: 0,18 Wärmebrücke nvermeidung und erhöhte Luftdichtheit *****	Holzpellet- kessel**	S.o.	S.o.	S.o.
<b>EH40_1</b>	AW: 0,12 DA: 0,08 KE: 0,18 FE: 0,75 Wärmebrücke nvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	Wasser- Wärmepumpe *	Verbessert: P <sub>SPF</sub> : -25 % WRG: 75% (P <sub>SPF</sub> +10%)***	Luftheizung *****	S.o.
<b>EH40_3</b>	AW: 0,12 DA: 0,08 KE: 0,18 FE: 0,75 Wärmebrücke nvermeidung und erhöhte Luftdichtheit	Holzpellet- kessel**	Verbessert: P <sub>SPF</sub> : -25 % WRG: 75% (P <sub>SPF</sub> +10%)***	Luftheizung *****	S.o.

\*) Da die Anlagenaufwandszahlen der Warmwasserbereitung durch die Luft- und die Wasser-Wärmepumpe unrealistisch gut ausfielen (e=0,13 bzw. e=0,04), wurde für die Warmwasserbereitung stattdessen eine Sole-Wärmepumpe angenommen.

\*\*) Ausnahme Hotel: Holzpelletkessel mit Solarthermie

\*\*\*) Berücksichtigung zusätzlicher System-Druckverluste durch das verbesserte WRG-System von 125 Pa im Seasonal Performance Factor (SPF) der Ventilatoren.

\*\*\*\*) Ausnahme Verbrauchermarkt: Oberste Geschossdecke wird nicht verbessert

\*\*\*\*\*) Ausnahme Hotel: Wärmebrückenvermeidung für Grenzwertreicherung nicht notwendig

\*\*\*\*\*) Ausnahme Verbrauchermarkt: Bereits in Basisvariante Luftheizung vorhanden. Bei dem Bürogebäude und dem Hotel wurden die Einsparungen durch das nun überflüssige Heizkörpersystem berücksichtigt.

5.3.2 Bestand

Tabelle 28 Nichtwohngebäude (Sanierung)

Bauteil	Hüll-BT-Qualitäten	HW/WW-Erzeugung+ Sonstiges
<b>Fassade</b>	0,24/0,20/0,16/0,12 W/m <sup>2</sup> .K	Erdgas BW
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel (nur Hotel: + ST)
<b>Dach</b>	0,24**/0,20/0,16/0,12/0,08 W/m <sup>2</sup> .K	Erdgas BW
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel (nur Hotel: + ST)
<b>Unterer Gebäudeabschluss</b>	0,30/0,26/0,22/0,18 W/m <sup>2</sup> .K	Erdgas BW
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel (nur Hotel: + ST)
<b>Fenster</b>	1,00/0,75 W/m <sup>2</sup> .K	Erdgas BW
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel (nur Hotel: + ST)
<b>Kessel</b>	Gemäß Ausgangszustand	Erdgas BW (nur Hotel: + ST)
	s.o.	Luft-Wärmepumpe
	s.o.	Sole-Wärmepumpe (Sonde)
	s.o.	Wasser Wärmepumpe
	s.o.	Holzpelletkessel (nur Hotel: + ST)
	s.o.	Fernwärme aus KWK (fossil)
<b>Belüftung</b>	s.o.	Verbessert: P <sub>SPF</sub> : -25 % (Ventilatoreffizienz) WRG: 75% (Wärmerückgewinnung) (P <sub>SPF</sub> +10%)
<b>Beleuchtung</b>	s.o.	<u>Büro</u> : Präsenz- und Konstantlichtregelung, Präsenzregelung auf 1457 m <sup>2</sup> ; Konstantlichtregelung auf 1268 m <sup>2</sup> <u>Hotel</u> : Präsenzregelung auf 1839 m <sup>2</sup>

\*) s. Tabelle 18

\*\*\*) gilt nur für Oberste Geschossdecke des Verbrauchermarktes

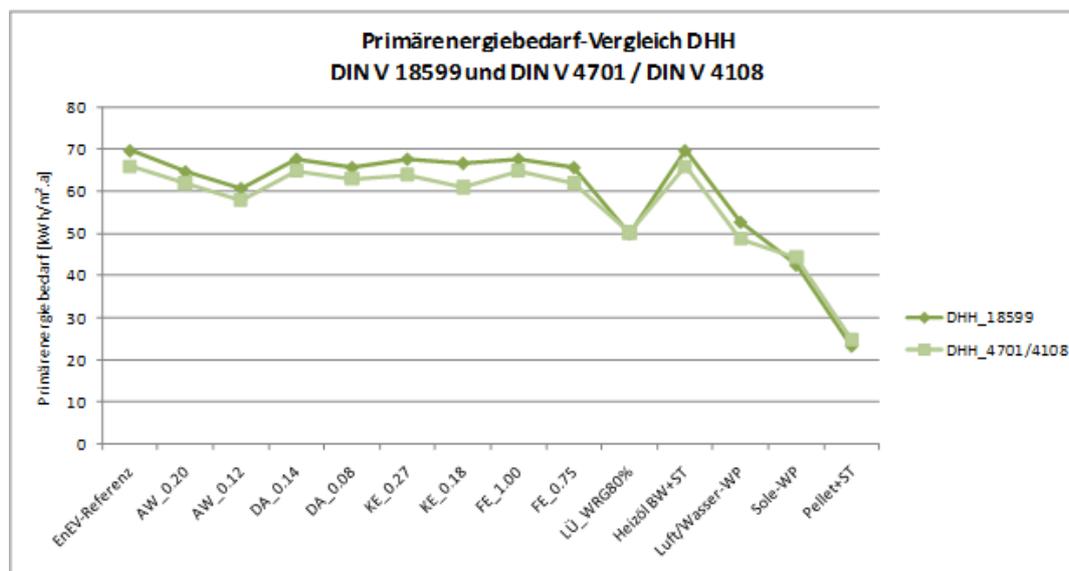
## 6 Ergebnisse

### 6.1 Voruntersuchung: Vergleichsberechnungen zur Festlegung des geeigneten Energiekennwert-Berechnungsverfahrens

Zur Bestimmung des Primärenergiebedarfskennwertes von Wohngebäuden sind nach nationalem Recht zwei Methoden zulässig. Zur Überprüfung der Abweichungen der zwei möglichen Rechenverfahren, zum einen nach DIN 4701/DIN 4108 und zum anderen nach DIN V 18599, wurden zunächst vergleichende Berechnungen für ein Neubau-Reihenendhaus und ein Neubau-Mehrfamilienhaus durchgeführt. Für die Energiebedarfsberechnungen wurde der Rechenkern der nach ISO 9001:2008 zertifizierten Software „Energieberater 18599“ (Version 7.4.1) der Firma Hottgenroth Software GmbH & Co. KG verwendet.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Voruntersuchung für die Doppelhaushälfte.

**Abbildung 7 Primärenergiebedarf-Vergleich DHH, DIN V 18599 und DIN 4701/DIN 4108**



Wie die obige Abbildung zeigt, ist der Einfluss des verwendeten Rechenverfahrens (DIN V 18599 vs. DIN 4701/DIN 4108) auf das Gesamtergebnis, bei entsprechender Berücksichtigung der in Kapitel 5 beschriebenen notwendigen Anpassungen der DIN V 18599 (z.B. hinsichtlich der Berücksichtigung der Effizienz der Luftwärmepumpen oder der Leitungslängen des Zirkulationssystems), von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung<sup>44</sup>. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Nichtwohngebäudeberechnungen, die zwangsläufig gemäß DIN V 18599 berechnet werden müssen,

<sup>44</sup> Bei der DIN V 18599 musste für die Luftwärmepumpe, da diese nicht berechnet werden kann, eine Annahme getroffen werden. Hierbei wurde ein Faktor von 0,78 bzgl. der JAZ der Sole WP berücksichtigt (Grundlage der Annahme: Normwerte gemäß DIN 4701 und JAZ Verhältnisse gemäß VDI4650 (2009)).

wurde in der vorliegenden Studie die Energiebedarfsberechnung gemäß DIN V 18599 als einheitliches Verfahren für Wohn- und Nichtwohngebäude verwendet.

## 6.2 Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnungen für Neubauten

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnungen in Form von Grafiken, bei denen auf der Abszisse der jährliche Primärenergiekennwert und auf der Ordinate der Kapitalwert („Global-Costs“) abgetragen wird, dargestellt. Die Gebäudetypen wurden, wie zuvor beschrieben, sowohl für den Neubau, als auch für die Sanierung, nach mikro- und makroökonomischer Betrachtungsweise und in zwei Preisszenarien analysiert.

Für Neubauten werden in den Abbildungen zusätzlich zu den Ergebnissen der jeweiligen Varianten auch

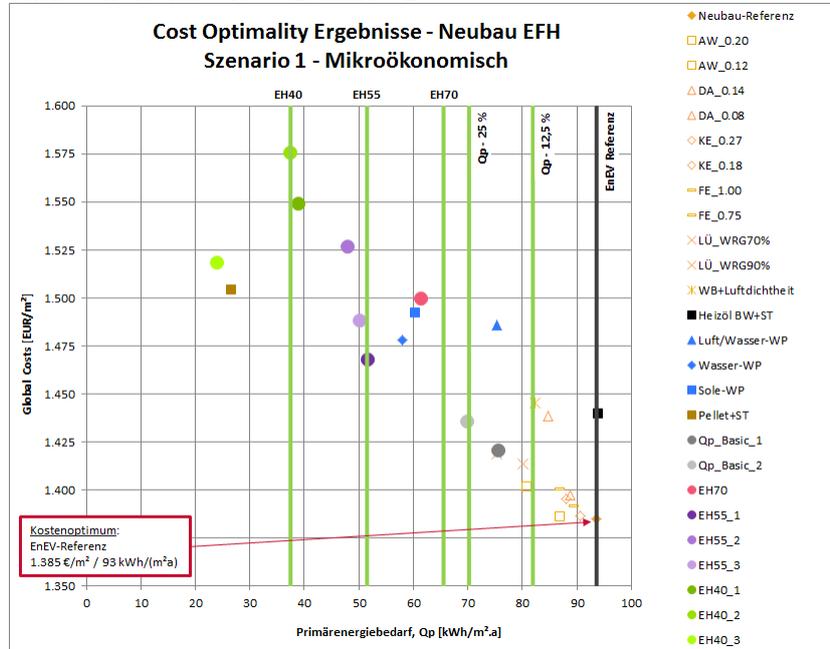
- die Referenzanforderung der EnEV 2009
- die in der EnEV 2014 geplanten Verschärfungen ab 2014 (-12,5%) und ab 2016 (-12,5%)
- sowie die Förderstufen der KfW-Effizienzhäuser: EH 70, EH 55, EH 40

ausgewiesen.

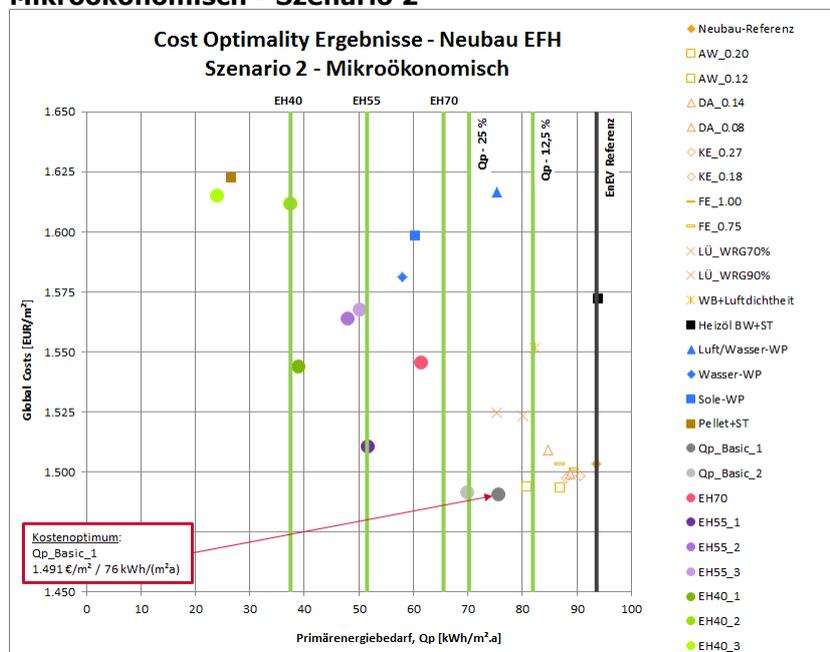
An das Referenzgebäude nach EnEV<sub>2009</sub> wird auch die Anforderung gestellt, dass es nach seinen baulichen Merkmalen grundsätzlich überall gebaut und an jedem Standort mit Wärme versorgt werden kann. Letzteres ist bei leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen, wie Fernwärme, nicht immer gegeben. Eine Fernwärme-Infrastruktur findet sich in der Regel nicht in Kleinstädten und im ländlichen Raum. Deshalb gehen die Varianten mit Fernwärmeversorgung nicht in die kostenoptimalen Betrachtungen ein und werden lediglich informativ ausgewiesen.

Neubau, EFH

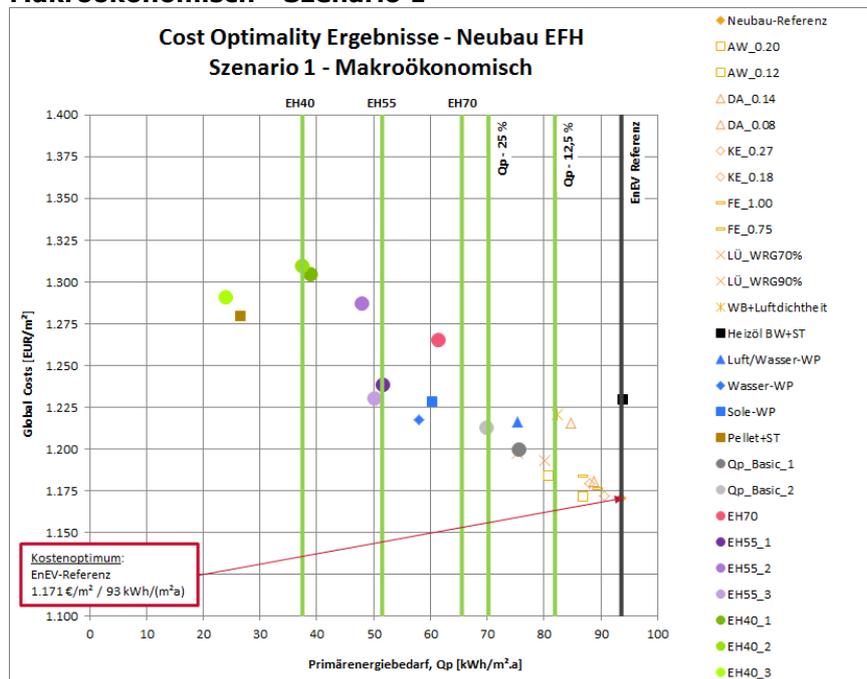
Mikroökonomisch - Szenario 1



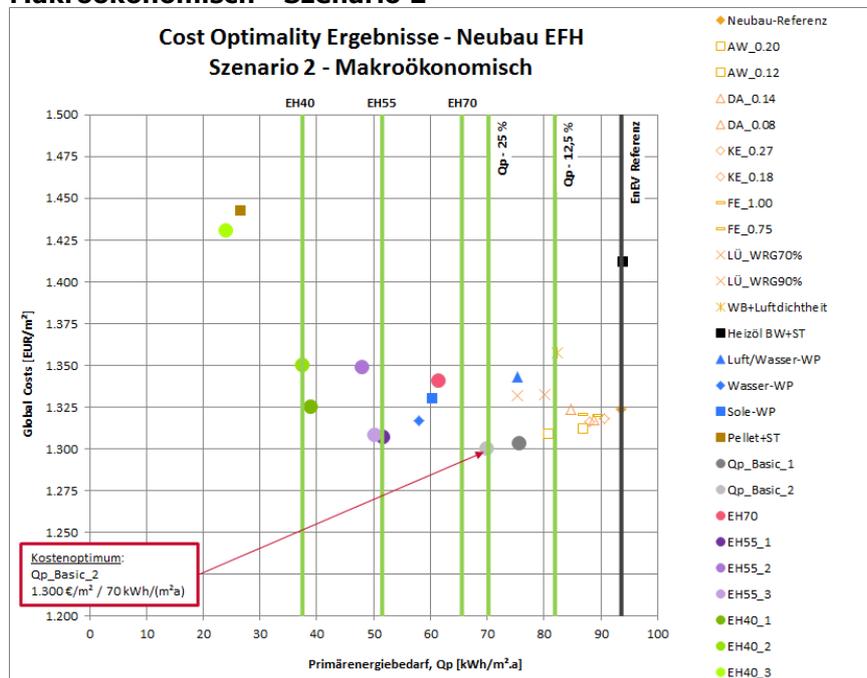
Mikroökonomisch - Szenario 2



### Makroökonomisch - Szenario 1

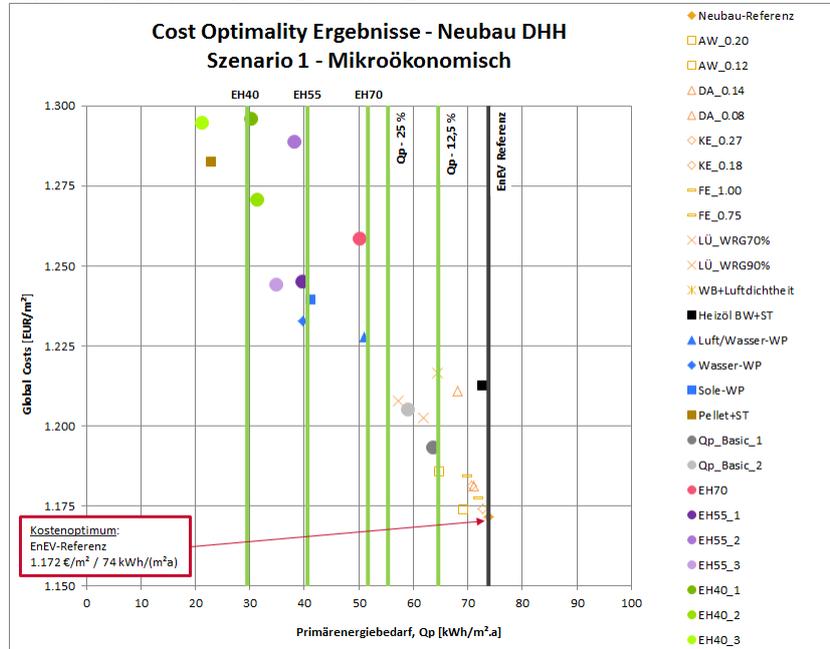


### Makroökonomisch - Szenario 2

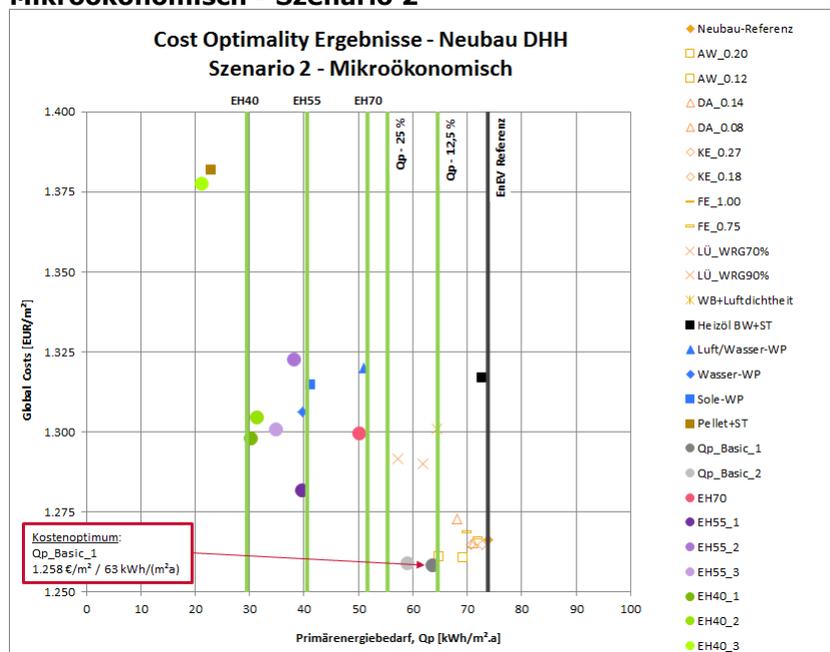


Neubau, DHH

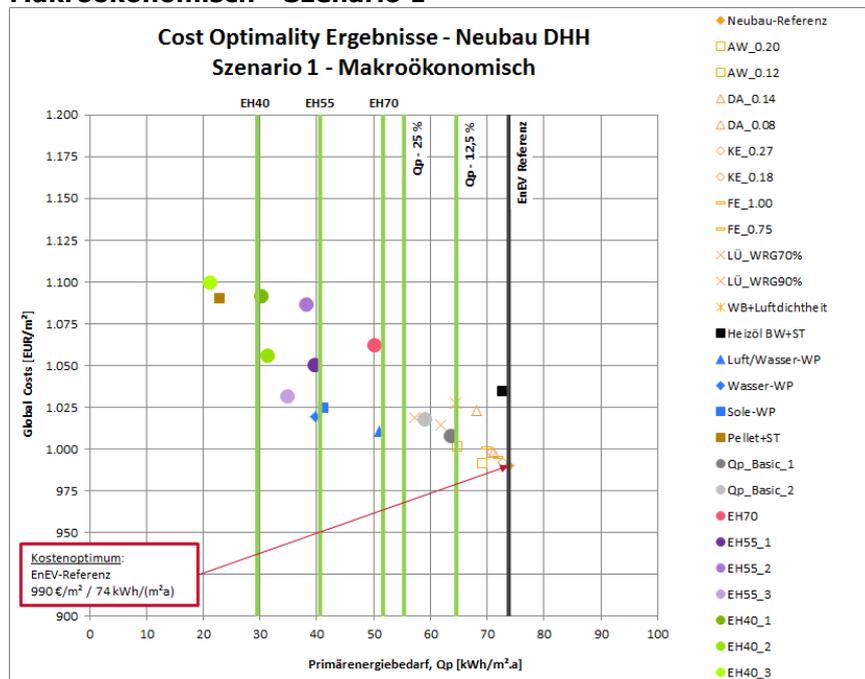
Mikroökonomisch - Szenario 1



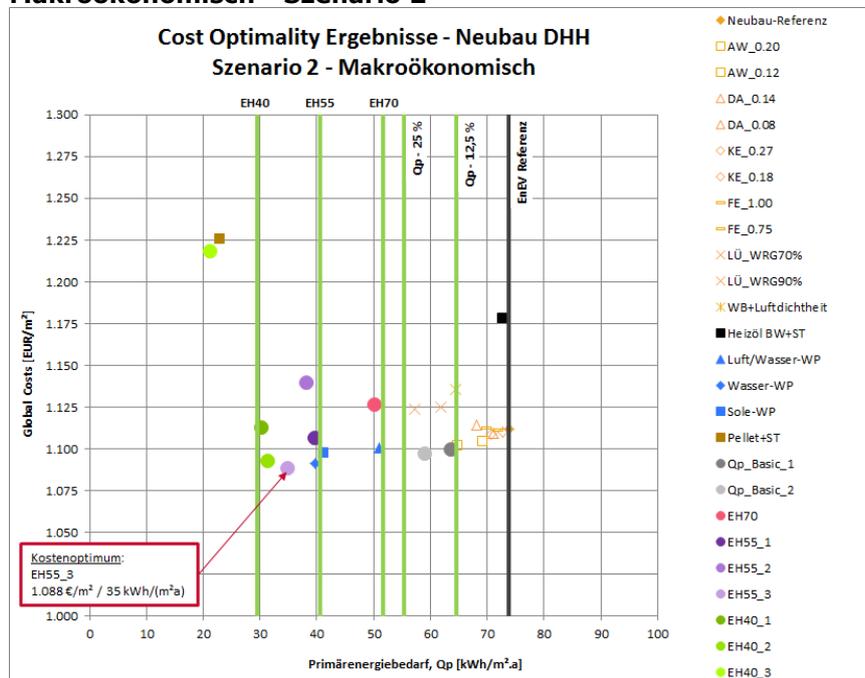
Mikroökonomisch - Szenario 2



### Makroökonomisch - Szenario 1

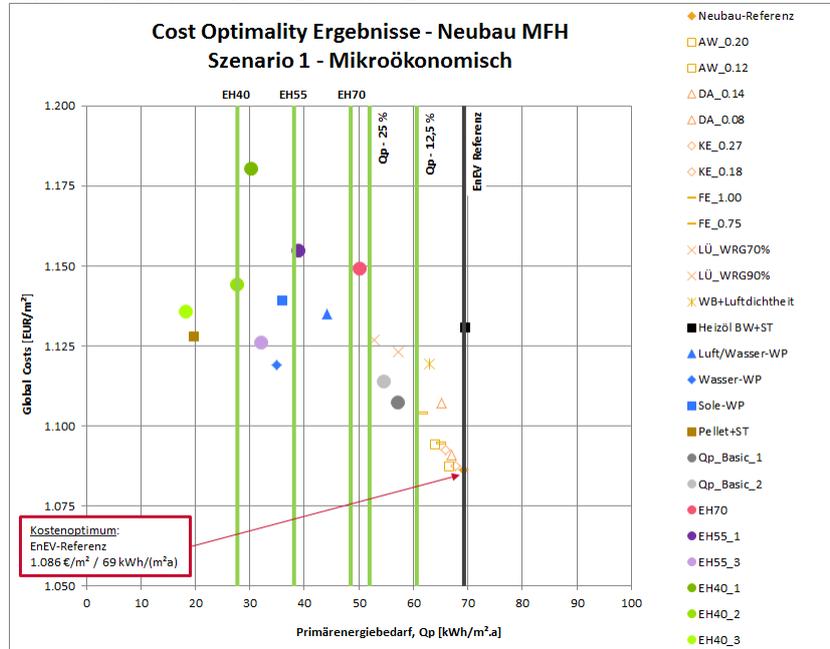


### Makroökonomisch - Szenario 2

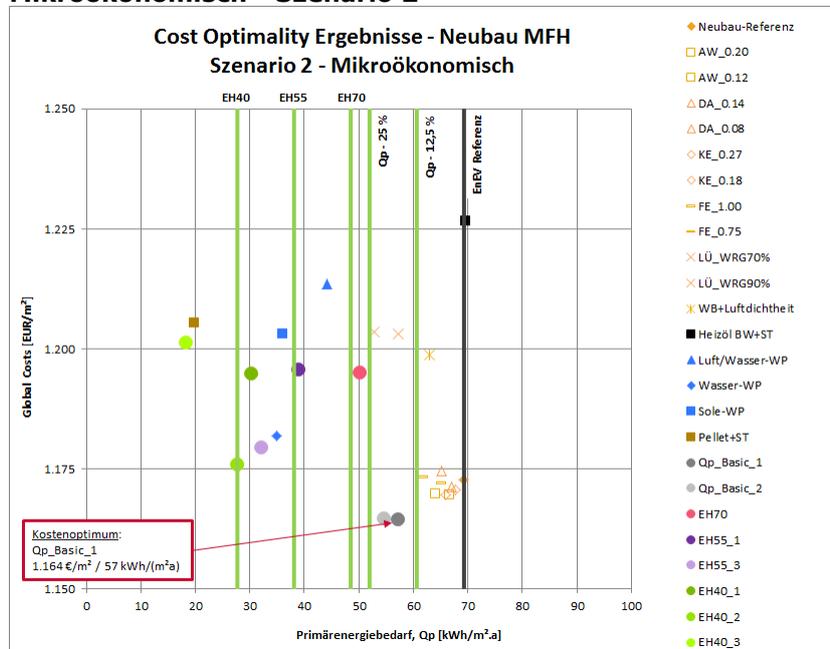


Neubau, MFH

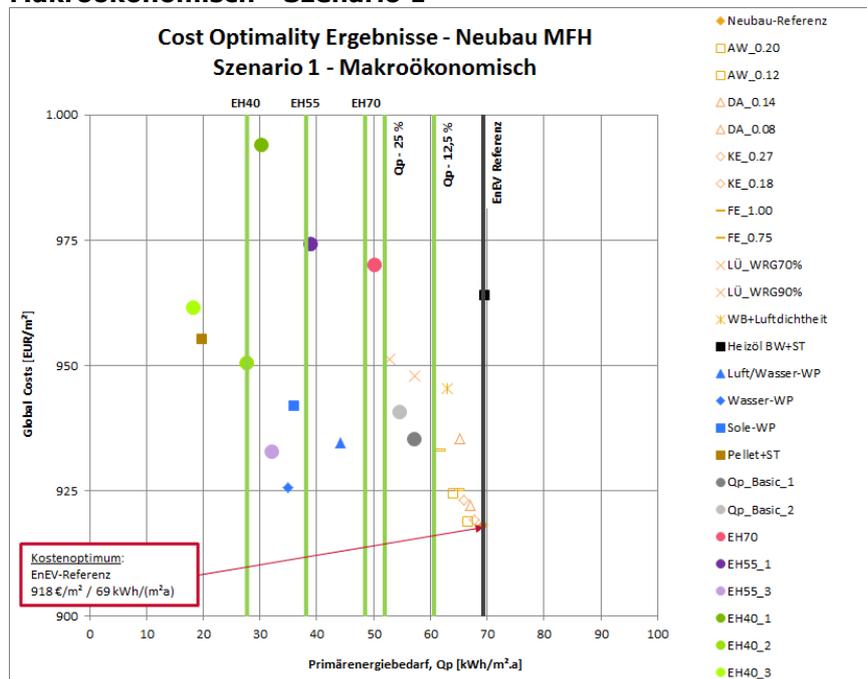
Mikroökonomisch - Szenario 1



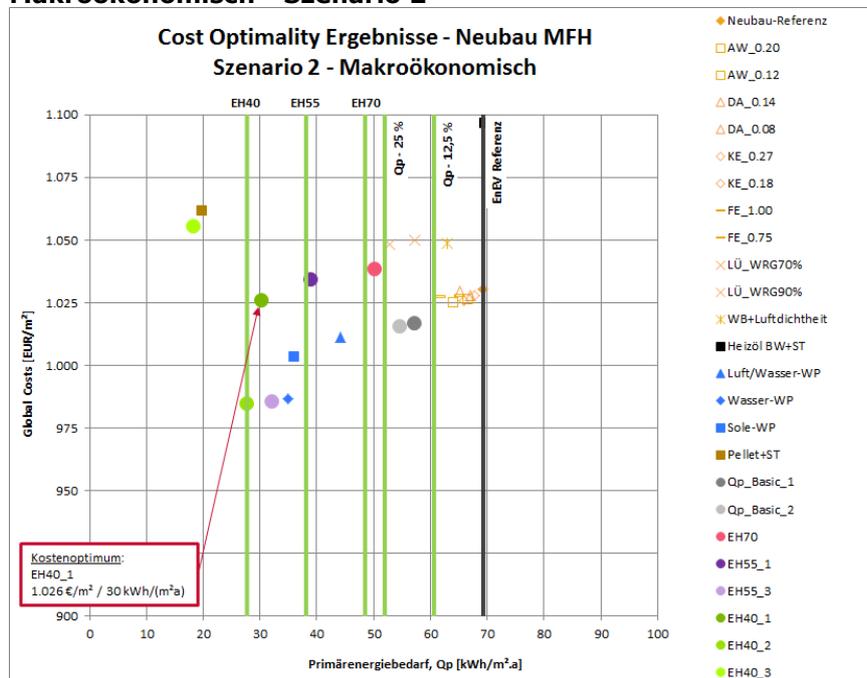
Mikroökonomisch - Szenario 2



### Makroökonomisch - Szenario 1



### Makroökonomisch - Szenario 2



### 6.2.1 Einordnung der Ergebnisse der Neubau-Wohngebäude

Die Berechnungen zeigen deutliche Unterschiede, vor allem hinsichtlich der Wahl des Szenarios der ökonomischen Rahmenbedingungen.

Während beim Szenario 1 sich bei allen untersuchten Varianten das gültige Anforderungsniveau als kostenoptimales Niveau ergibt, gibt es beim Szenario 2 einige Lösungen, die kostenoptimaler als die EnEV<sub>2009</sub>-Referenzvariante sind.

Die Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante bei Szenario 2 sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

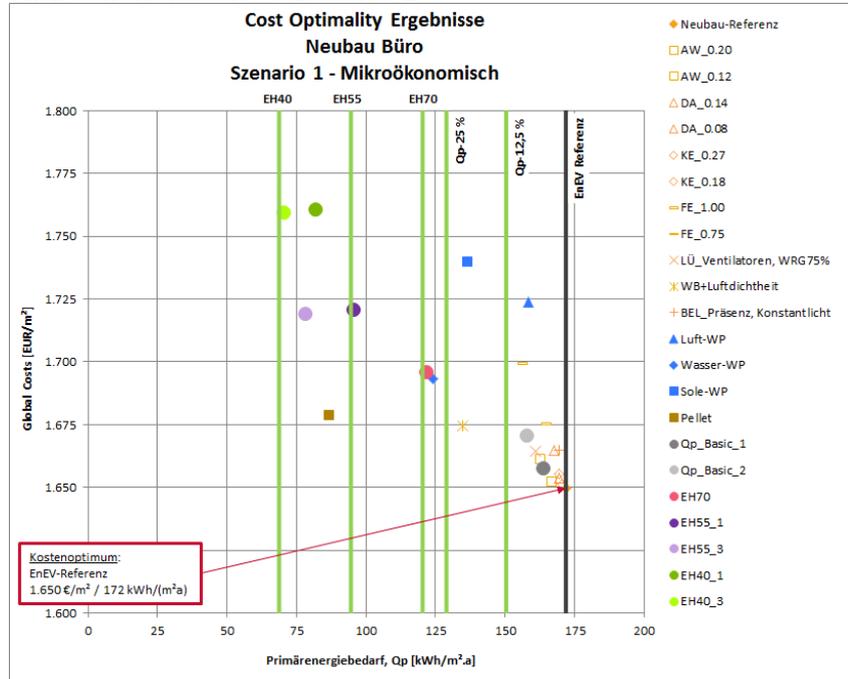
**Tabelle 29** Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante bei den Wohngebäuden bei Szenario 2

	<b>EFH</b>	<b>DHH</b>	<b>MFH</b>
<b>Mikroökonomisch</b>	22%	17%	21%
<b>Makroökonomisch</b>	33%	111%	130%

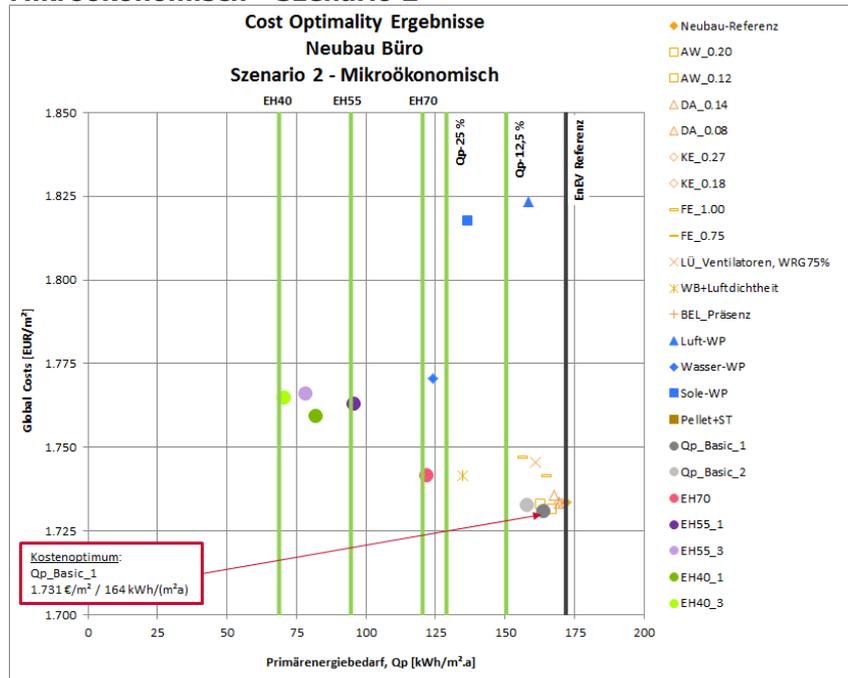
Die sehr starken Abweichung bei der makroökonomischen Betrachtungsweise beim MFH und der DHH sind vor allem auf die stromversorgten Wärmepumpenvarianten zurück zu führen, die unter diesen Randbedingungen sehr kostengünstig werden.

Neubau, Bürogebäude

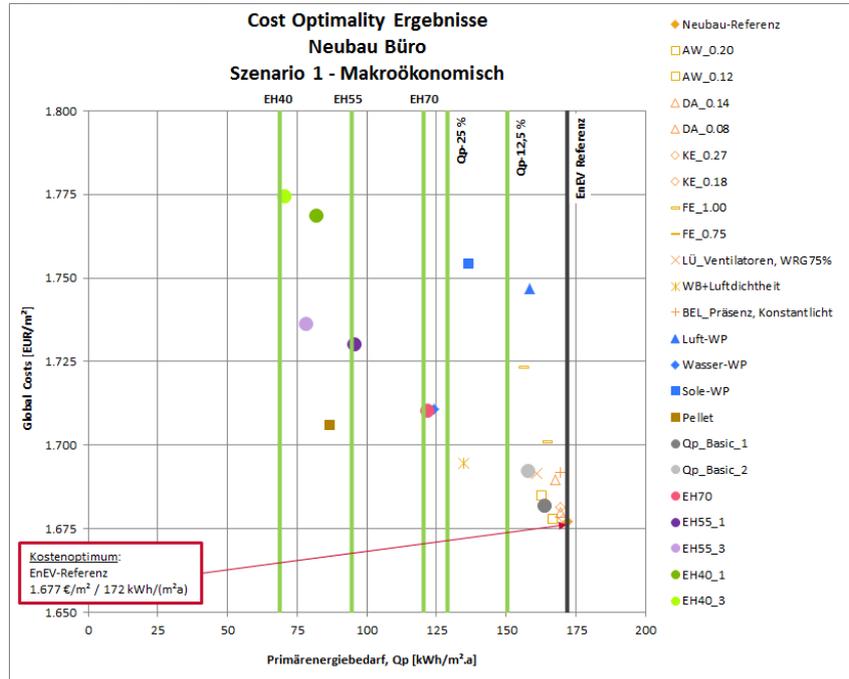
Mikroökonomisch - Szenario 1



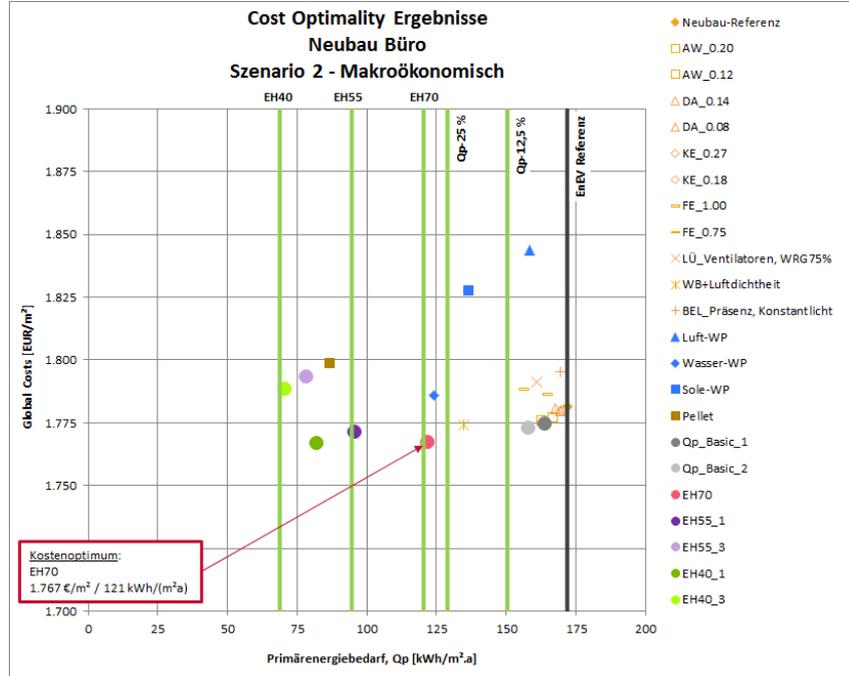
Mikroökonomisch - Szenario 2



**Makroökonomisch - Szenario 1**

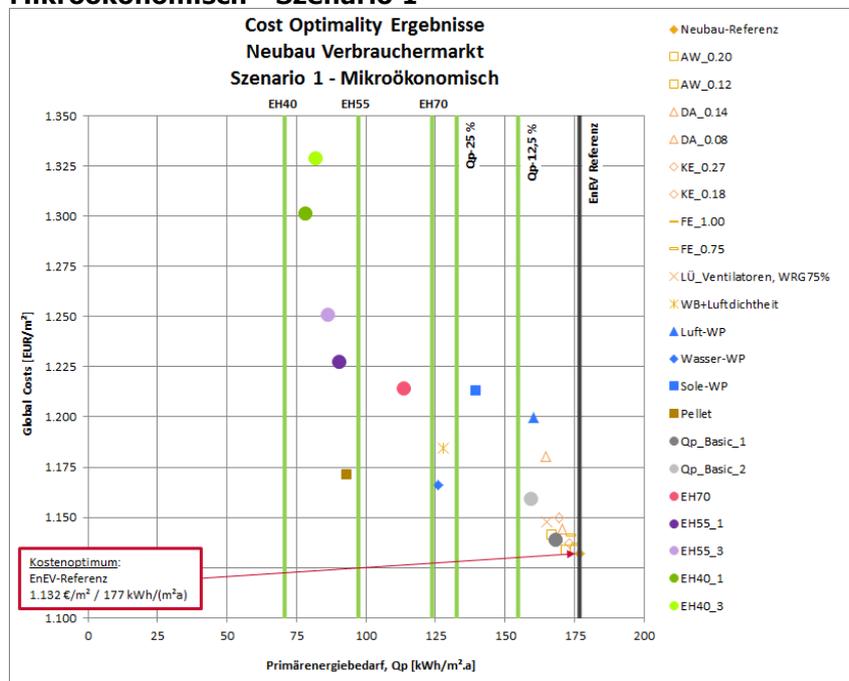


**Makroökonomisch - Szenario 2**

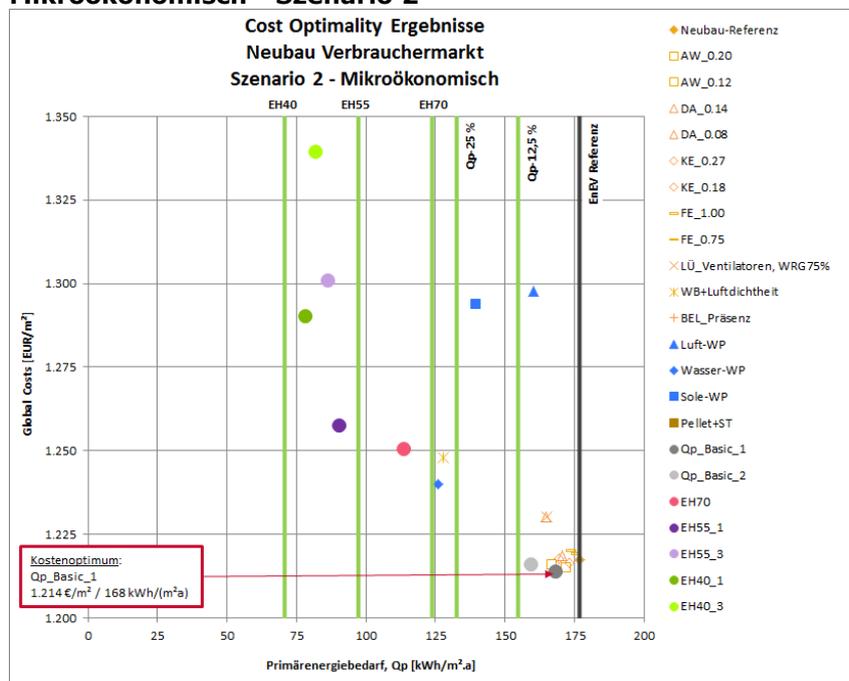


Neubau, Verbrauchermarkt

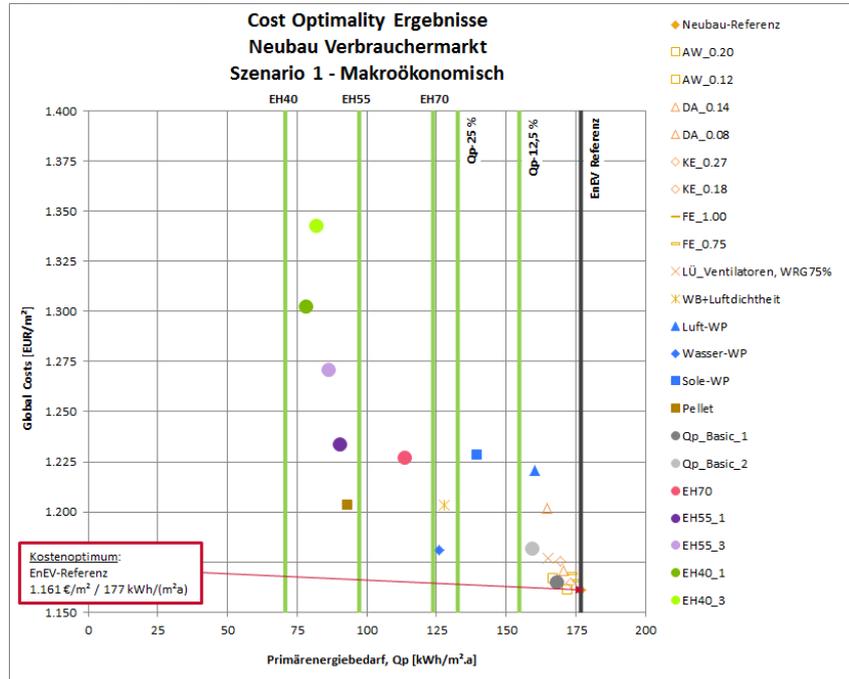
Mikroökonomisch - Szenario 1



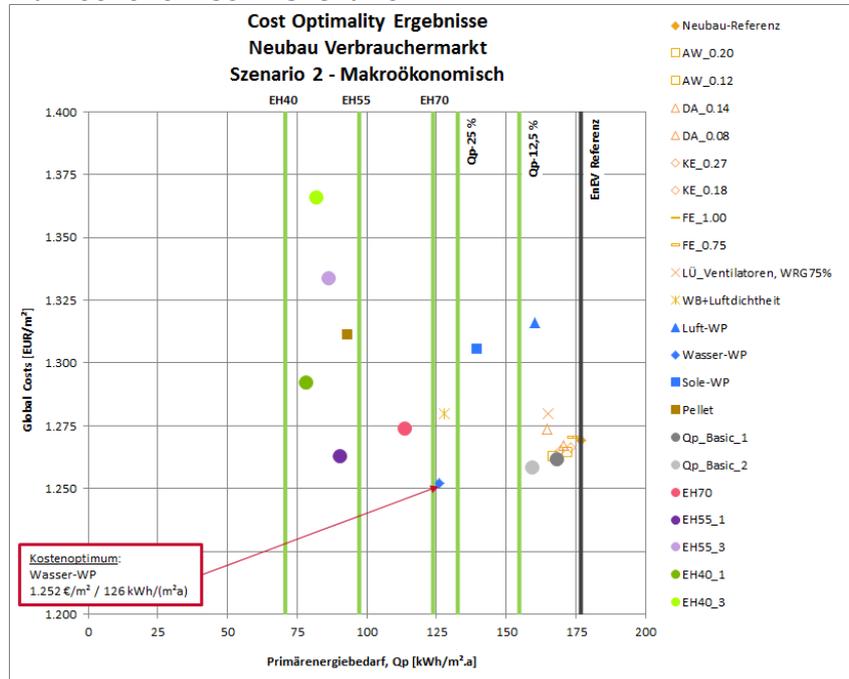
Mikroökonomisch - Szenario 2



**Makroökonomisch - Szenario 1**

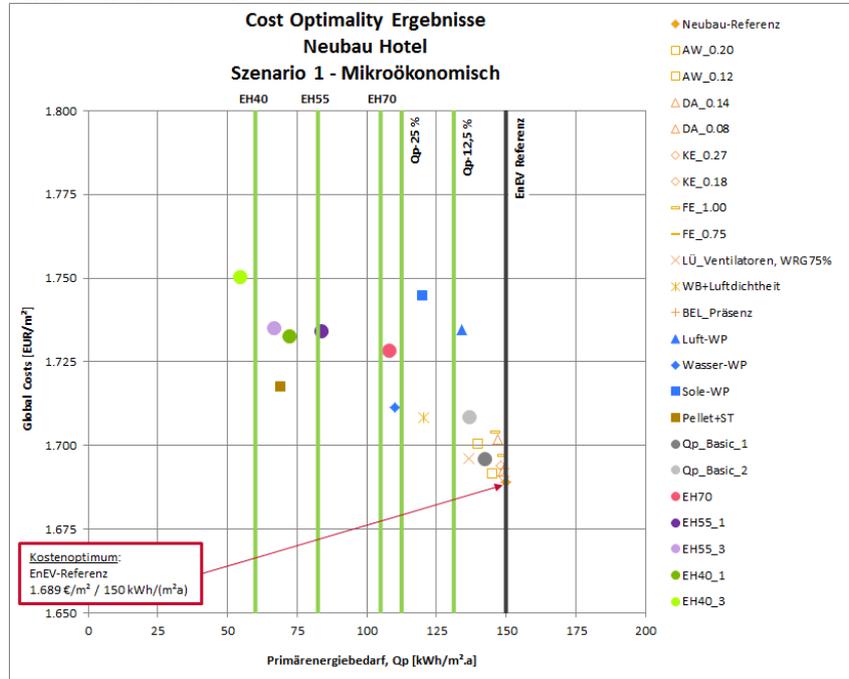


**Makroökonomisch - Szenario 2**

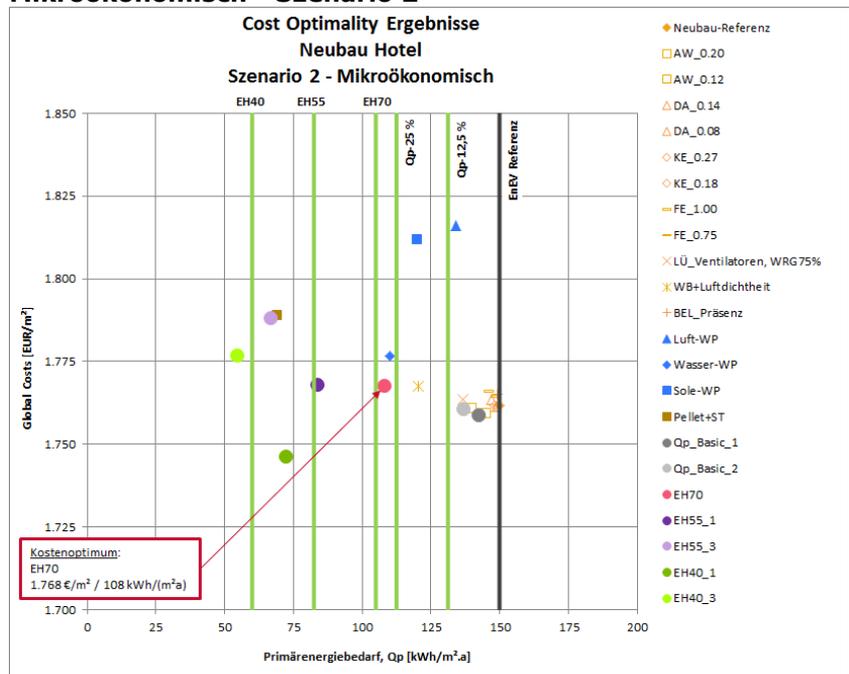


Neubau, Hotel

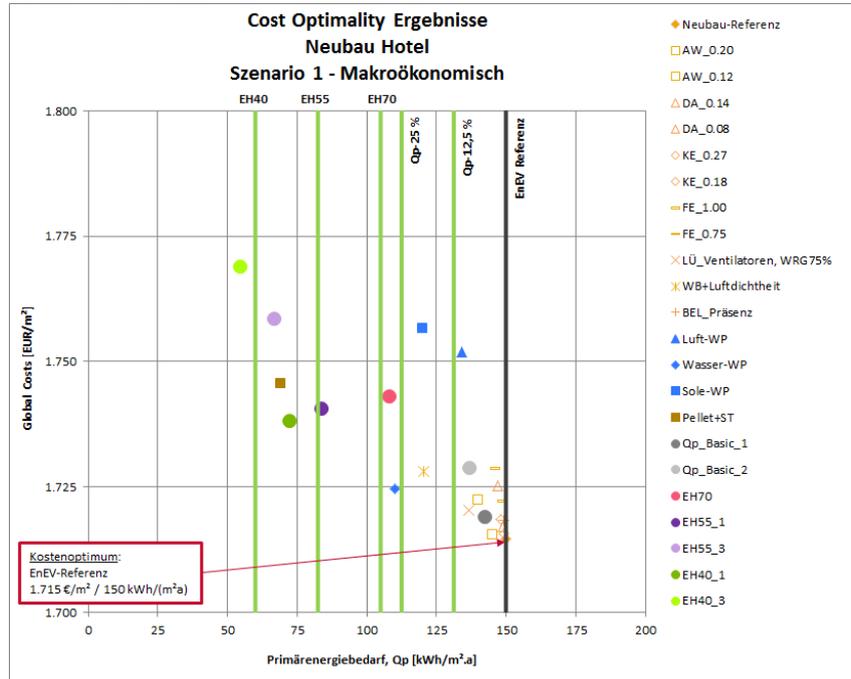
Mikroökonomisch - Szenario 1



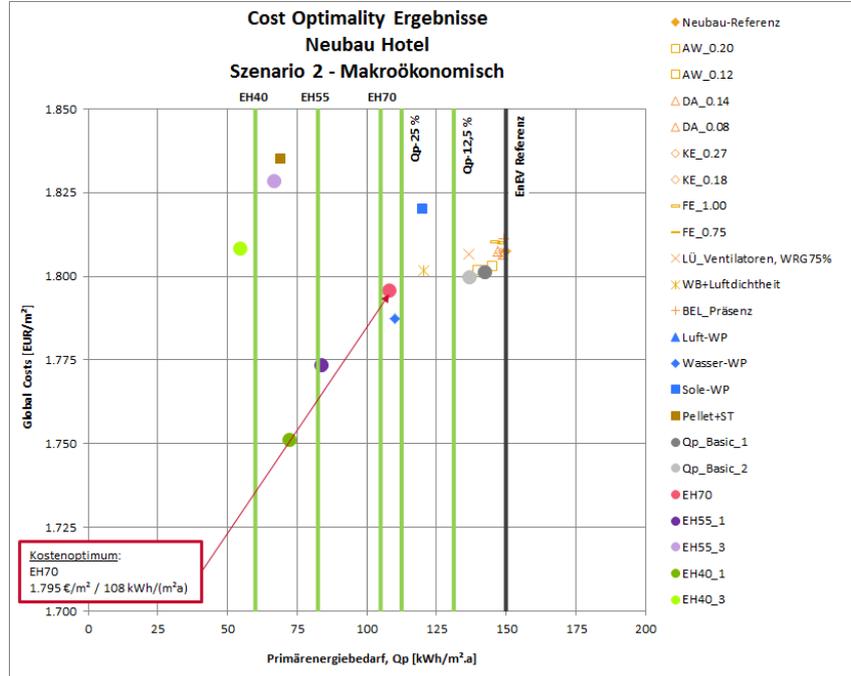
Mikroökonomisch - Szenario 2



**Makroökonomisch - Szenario 1**



**Makroökonomisch - Szenario 2**



## 6.2.2 Einordnung der Ergebnisse der Neubau-Nichtwohngebäude

Die Berechnungen zeigen deutliche Unterschiede, vor allem hinsichtlich der Wahl des Szenarios der ökonomischen Rahmenbedingungen.

Während beim Szenario 1 sich bei allen untersuchten Varianten das gültige Anforderungsniveau als kostenoptimales Niveau ergibt, gibt es beim Szenario 2 einige Lösungen, die kostenoptimaler als die EnEV<sub>2009</sub>-Referenzvariante sind.

Die sich beim Szenario 2 ergebenden Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

**Tabelle 30** Abweichungen zwischen Kostenoptimum (Basis) und Referenzvariante bei den Nichtwohngebäuden bei Szenario 2

	Büro	Verbauchermarkt	Hotel
Mikroökonomisch	5%	5%	39%
Makroökonomisch	42%	40%	39%

### 6.3 Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnungen für den Bestand

Die Ergebnisse für den Gebäudebestand sind im Folgenden in Tabellenform zusammengefasst. Die zugehörigen Grafiken und Abbildungen befinden sich im Anhang, hier sind auch die jeweiligen Gesamtkosten für Sanierungsmaßnahmen an Außenbauteilen (Außenwand, Dach, unterer Gebäudeabschluss, Fenster) in Kombination mit den in Deutschland am weitesten verbreiteten Wärmeerzeugern (Öl-Brennwertkessel, Luft-Wasser-Wärmepumpe, Pellet-Heizkessel) ausgewiesen. In den Abbildungen sind zur Orientierung zusätzlich zu den untersuchten Sanierungsvarianten für die Außenbauteile auch die Vergleichswerte für den jeweiligen Ausgangsfall – also das teilsanierte Gebäude mit dem jeweiligen Wärmeerzeuger – grafisch dargestellt. Die Kosten enthalten für diese Fälle also keine Anteile für Außenbauteilsanierungen. Diese „Nullvarianten“ sind mit ausgefüllten Symbolen dargestellt. Effektiv werden hier also lediglich die Wärmeerzeuger variiert. Die Varianten mit Fernwärmeversorgung wurden auch hier nicht ausgewiesen, da sie als leitungsabhängige Energieträger nur in Teilen der Bundesrepublik verfügbar sind.

Die Bewertung der Sanierung erfolgt im Gegensatz zu den Neubauten nicht spezifisch nach Gebäudetyp, sondern nach Bauteil. Außerdem werden, obwohl der Grundbewertungsmaßstab gem. Anforderung der EU-Richtlinie der spezifische Primärenergiekennwert bleibt, die Abweichungen der Varianten untereinander nicht auf diesen bezogen, sondern auf die mögliche Verbesserung des U-Wertes.

Dabei ergeben sich die im Folgenden dargestellten kostenoptimalen Niveaus. Grundsätzlich könnten die Bauteilanforderungen jeweils spezifisch für die jeweiligen real eingesetzten Wärmeversorgungsarten gestellt oder auch zwischen den Nutzungsarten der Gebäude differenziert festgelegt werden. Davon wird in der EnEV jedoch abgesehen.

In den Darstellungen ergeben sich hierbei die ausgewiesenen Maximum- und Minimumwerte.

Tabelle 31 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, mikroökonomisch

Szenario	Mikro- / Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostens optimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostens optimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 1	Mikroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-50%	0%
			Doppelhaushälfte	0,16	0,24	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24		
			Bürogebäude	0,24	0,24	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
			Hotel	0,24	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,16	0,20	0,20	-25%	0%
			Bürogebäude	0,20	0,20	0,20		
			Hotel	0,20	0,20	0,20		
			Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24		
		Schrägdach					-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-20%	0%
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,22	0,30	0,30	-67%	0%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,30	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,22	0,30	0,30		
			Bürogebäude	0,30	0,30	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,30	0,30	0,30		
			Hotel	0,30	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	1,30	1,30	1,30	0%	0%
			Doppelhaushälfte	1,30	1,30	1,30		
Mehrfamilienhaus	1,30		1,30	1,30				
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostens optima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Tabelle 32 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, makroökonomisch

Szenario	Mikro- / Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostens optimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostens optimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 1	Makroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-20%	0%
			Doppelhaushälfte	0,20	0,24	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24		
			Bürogebäude	0,24	0,24	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
			Hotel	0,24	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,20	0,20	0,20	0%	0%
			Bürogebäude	0,00	0,00	0,20		
			Hotel	0,20	0,20	0,20		
			Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24		
		Schrägdach					-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,24	0,24	0,24	0%	0%
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,22	0,30	0,30	-36%	0%
			Doppelhaushälfte	0,22	0,30	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,26	0,30	0,30		
			Bürogebäude	0,30	0,30	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,30	0,30	0,30		
			Hotel	0,30	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	1,30	1,30	1,30	0%	0%
			Doppelhaushälfte	1,30	1,30	1,30		
Mehrfamilienhaus	1,30		1,30	1,30				
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostens optima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Tabelle 33 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, mikroökonomisch

Szenario	Mikro- / Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 2	Mikroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	0%
			Doppelhaushälfte	0,12	0,16	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24		
			Bürogebäude	0,16	0,20	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,16	0,20	0,24		
			Hotel	0,16	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,08	0,16	0,20	-150%	0%
			Bürogebäude	0,16	0,20	0,20		
			Hotel	0,12	0,16	0,20		
			Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24		
		Schrägdach					-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,12	0,20	0,24	-100%	-20%
			Verbrauchermarkt	0,16	0,20	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,18	0,18	0,30	-67%	0%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,18	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,18	0,18	0,30		
			Bürogebäude	0,22	0,26	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,22	0,26	0,30		
			Hotel	0,22	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	0,75	1,30	1,30	-73%	0%
			Doppelhaushälfte	0,75	1,30	1,30		
Mehrfamilienhaus	0,75		1,30	1,30				
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Tabelle 34 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, makroökonomisch

Szenario	Mikro- / Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 2	Makroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	-20%
			Doppelhaushälfte	0,12	0,16	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24		
			Bürogebäude	0,16	0,16	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,12	0,16	0,24		
			Hotel	0,16	0,20	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,12	0,12	0,20	-67%	-25%
			Bürogebäude	0,12	0,16	0,20		
			Hotel	0,12	0,16	0,20		
			Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24		
		Schrägdach					-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	-50%
			Verbrauchermarkt	0,16	0,16	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,18	0,18	0,30	-67%	-15%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,18	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,18	0,18	0,30		
			Bürogebäude	0,18	0,22	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,18	0,22	0,30		
			Hotel	0,18	0,26	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	0,75	1,30	1,30	-73%	0%
			Doppelhaushälfte	0,75	1,30	1,30		
Mehrfamilienhaus	0,75		1,00	1,30				
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

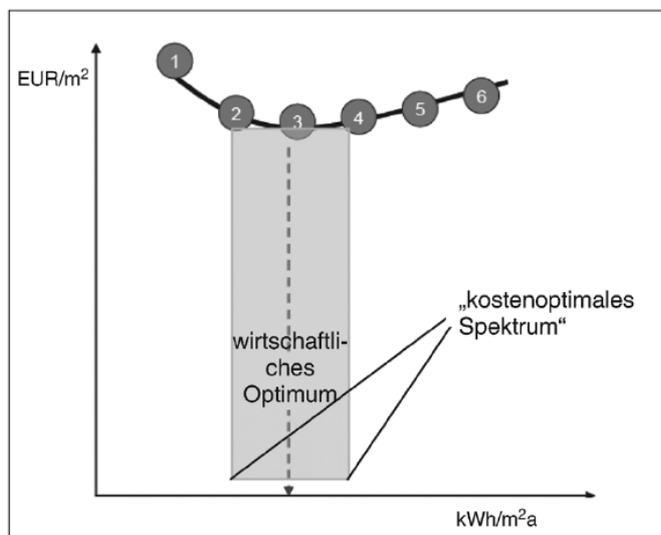
\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

## 6.4 Zusammenfassung und Diskussion

Je nach Randbedingungen ergeben sich sowohl beim Neubau als auch für die Sanierung einzelner Komponenten unterschiedliche kostenoptimale Lösungen. Hinsichtlich der Beurteilung der Kostenoptimalität wird im Folgenden die privatwirtschaftliche Betrachtungsweise als Maßstab gewählt. Diese berücksichtigt die für den Investor direkt relevanten Kosten. Bei der Verwendung der makroökonomischen Perspektive könnte es, ohne entsprechenden Ausgleichsförderungen, die falls überhaupt spezifizierbar, zunächst im Rahmen weiterer Untersuchungen zu bestimmen wären, zu einer gegebenenfalls unzumutbar hohen Belastung der Investoren kommen.

Nicht berücksichtigt wurde, die gemäß Leitlinien [EU, 2012] eingeräumte Möglichkeit der Definition eines Toleranzbereichs um die jeweiligen Kostenoptima. Diese kann, je nach gewählter Größe, dazu führen, dass der minimale Primärenergiekennwert des sich dadurch ergebenden kostenoptimalen Spektrums (Punkt 2 in Abbildung 8) deutlich unter dem errechneten Kostenoptimum liegt.

**Abbildung 8 Kostenoptimales Spektrum gemäß Leitlinien [EU, 2012], Abbildung 5, Seite 25**



Es wird darauf hingewiesen, dass den Ergebnissen dieser Untersuchung die beschriebenen aktuellen Randbedingungen (insbesondere bzgl. der Investitions- und Energiekosten) zu Grunde liegen. Da das Kostenoptimum sich in der Regel innerhalb eines sehr flachen Kurvenbereiches befindet, kann schon eine (künftige) geringe Veränderung der Randbedingungen der Berechnungen zu signifikanten Veränderungen des Primärenergiekennwertes, bei dem das Kostenoptimum (Kapitalwertminimum) auftritt, führen.

### 6.4.1 Neubau

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen nach Szenario 1, die konform zu den bisherigen Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der EnEV [Maas, Erhorn et al. 2012] sind, entsprechen die Anforderungen der EnEV<sub>2009</sub> bereits dem Kostenoptimum.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen nach Szenario 2, ist der spezifische Primärenergiebedarfskennwert der EnEV<sub>2009</sub> Referenzgebäude für Wohngebäude ca. 20 % und für die Nichtwohngebäude Büro und Verbrauchermarkt ca. 5 % größer als die im Rahmen der Untersuchung bestimmten Kostenoptima. Das EnEV<sub>2009</sub> Hotel Referenzgebäude liegt 39 % über dem nach Szenario 2 errechneten Kostenoptimum.

### 6.4.2 Bestand

Bei nahezu allen Bauteilen und Randbedingungen lässt sich unter Berücksichtigung der Technologieoffenheit und der Gültigkeit für die Gesamtheit aller Gebäude feststellen, dass die bestehenden Anforderungen bereits als kostenoptimal bezeichnet werden können.

Bei der Dämmung von Schrägdächern liegt das Kostenoptimum, unabhängig von den Randbedingungen, beim Erreichen der maximalen Zwischensparrendämmstärke. Bei dieser Untersuchung – basierend auf den Ergebnissen für das Einfamilienhaus – ergibt sich das Kostenoptimum bei einem U-Wert von  $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , der unterhalb des derzeitigen Anforderungsniveaus von  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  liegt. Eine schärfere Anforderung als  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  dürfte jedoch häufig eine teurere Aufsparrendämmung erforderlich machen.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen nach Szenario 2, ergibt sich auch für die Dämmung der obersten Geschoßdecke ein Kostenoptimum bei einem U-Wert von  $0,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  (aktuelle Anforderung:  $0,24 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

Betrachtet man die sich für die o.g. Fälle ergebende Abweichung des Primärenergiebedarfs vom Kostenoptimum, so liegt diese bei beiden Fällen deutlich unterhalb der Signifikanzgrenze von 15 %<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> nach Erwägungsgrund 14 der Gebäuderichtlinie

# 7 Anhang

## 7.1 Ergebnisse Neubau

Tabelle 35 Ergebnisse, Neubau, Szenario 1 und 2, mikro- und makroökonomisch

Szenario	Mikro-/ Makroökonomisch	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Punkt*	Aktuelle Referenzgebäudeanforderung	Abstand zu Kostenoptimum
			[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[%]
Szenario 1	Mikroökonomisch	Einfamilienhaus	93	93	0%
		Doppelhaushälfte	74	74	0%
		Mehrfamilienhaus	69	69	0%
		Bürogebäude	172	172	0%
		Verbrauchermarkt	177	177	0%
		Hotel	150	150	0%
	Makroökonomisch	Einfamilienhaus	93	93	0%
		Doppelhaushälfte	74	74	0%
		Mehrfamilienhaus	69	69	0%
		Bürogebäude	172	172	0%
		Verbrauchermarkt	177	177	0%
		Hotel	150	150	0%
Szenario 2	Mikroökonomisch	Einfamilienhaus	76	93	-23%
		Doppelhaushälfte	63	74	-16%
		Mehrfamilienhaus	57	69	-21%
		Bürogebäude	164	172	-5%
		Verbrauchermarkt	168	177	-5%
		Hotel	108	150	-39%
	Makroökonomisch	Einfamilienhaus	70	93	-34%
		Doppelhaushälfte	35	74	-113%
		Mehrfamilienhaus	30	69	-130%
		Bürogebäude	121	172	-42%
		Verbrauchermarkt	126	177	-40%
		Hotel	108	150	-39%

\*) Kostenoptimaler Punkt unter Berücksichtigung, dass mindestens 3 unterschiedliche Heizsysteme in der Lage sind den Primärenergiekennwert zu erreichen.

7.2 Ergebnisse Bestand

Tabelle 36 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, mikroökonomisch

Szenario	Mikro- / Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 1	Mikroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-50%	0%
			Doppelhaushälfte	0,16	0,24	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24		
			Bürogebäude	0,24	0,24	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
			Hotel	0,24	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,16	0,20	0,20	-25%	0%
			Bürogebäude	0,20	0,20	0,20		
			Hotel	0,20	0,20	0,20		
		Schrägdach	Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24	-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-20%	0%
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,22	0,30	0,30	-67%	0%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,30	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,22	0,30	0,30		
			Bürogebäude	0,30	0,30	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,30	0,30	0,30		
			Hotel	0,30	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	1,30	1,30	1,30	0%	0%
			Doppelhaushälfte	1,30	1,30	1,30		
			Mehrfamilienhaus	1,30	1,30	1,30		
			Bürogebäude	1,30	1,30	1,30		
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Tabelle 37 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 1, makroökonomisch

Szenario	Mikro-/ Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 1	Makroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,20	0,24	0,24	-20%	0%
			Doppelhaushälfte	0,20	0,24	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,20	0,24	0,24		
			Bürogebäude	0,24	0,24	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
			Hotel	0,24	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,20	0,20	0,20	0%	0%
			Bürogebäude	0,20	0,20	0,20		
			Hotel	0,20	0,20	0,20		
			Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24		
		Schrägdach					-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,24	0,24	0,24	0%	0%
			Verbrauchermarkt	0,24	0,24	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,22	0,30	0,30	-36%	0%
			Doppelhaushälfte	0,22	0,30	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,26	0,30	0,30		
			Bürogebäude	0,30	0,30	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,30	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	1,30	1,30	1,30	0%	0%
			Doppelhaushälfte	1,30	1,30	1,30		
			Mehrfamilienhaus	1,30	1,30	1,30		
			Bürogebäude	1,30	1,30	1,30		
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
	Hotel	1,30	1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Tabelle 38 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, mikroökonomisch

Szenario	Mikro-/ Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 2	Mikroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	0%
			Doppelhaushälfte	0,12	0,16	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24		
			Bürogebäude	0,16	0,20	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,16	0,20	0,24		
			Hotel	0,16	0,24	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,08	0,16	0,20	-150%	0%
			Bürogebäude	0,16	0,20	0,20		
			Hotel	0,12	0,16	0,20		
		Schrägdach	Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24	-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,12	0,20	0,24	-100%	-20%
			Verbrauchermarkt	0,16	0,20	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,18	0,18	0,30	-67%	0%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,18	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,18	0,18	0,30		
			Bürogebäude	0,22	0,26	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,22	0,26	0,30		
			Hotel	0,22	0,30	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	0,75	1,30	1,30	-73%	0%
			Doppelhaushälfte	0,75	1,30	1,30		
			Mehrfamilienhaus	0,75	1,30	1,30		
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

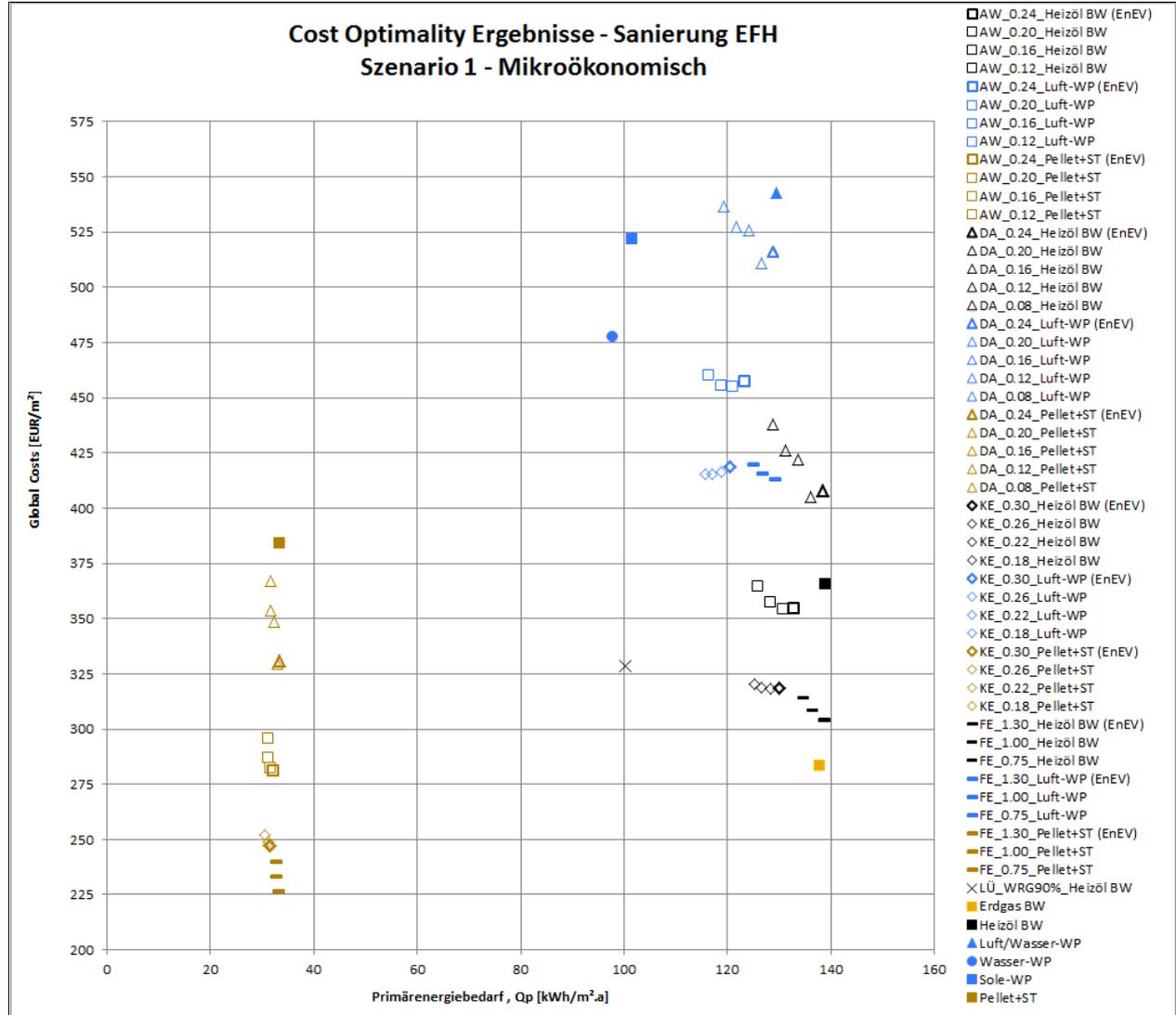
Tabelle 39 Ergebnisse, Sanierung, Szenario 2, makroökonomisch

Szenario	Mikro-/ Makroökonomisch	Bauteil	Referenzgebäude	Kostenoptimaler Bereich / Punkt (von-bis)*		Aktuelle Referenzgebäude-anforderung [W/(m²K)]	Abstand zu Kostenoptimum	
				MIN [W/(m²K)]	MAX [W/(m²K)]		MIN [%]	MAX [%]
Szenario 2	Makroökonomisch	Außenwand	Einfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	-20%
			Doppelhaushälfte	0,12	0,16	0,24		
			Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24		
			Bürogebäude	0,16	0,16	0,24		
			Verbrauchermarkt	0,12	0,16	0,24		
			Hotel	0,16	0,20	0,24		
		Flachdach	Doppelhaushälfte	0,12	0,12	0,20	-67%	-25%
			Bürogebäude	0,12	0,16	0,20		
			Hotel	0,12	0,16	0,20		
		Schrägdach	Einfamilienhaus	0,20	0,20	0,24	-20%	-20%
		Oberste Geschossdecke	Mehrfamilienhaus	0,12	0,16	0,24	-100%	-50%
			Verbrauchermarkt	0,16	0,16	0,24		
		Bodenplatte	Einfamilienhaus	0,18	0,18	0,30	-67%	-15%
			Doppelhaushälfte	0,18	0,18	0,30		
			Mehrfamilienhaus	0,18	0,18	0,30		
			Bürogebäude	0,18	0,22	0,30		
			Verbrauchermarkt	0,18	0,22	0,30		
			Hotel	0,18	0,26	0,30		
		Fenster	Einfamilienhaus	0,75	1,30	1,30	-73%	0%
			Doppelhaushälfte	0,75	1,30	1,30		
			Mehrfamilienhaus	0,75	1,00	1,30		
Bürogebäude	1,30		1,30	1,30				
Verbrauchermarkt	1,30		1,30	1,30				
Hotel	1,30		1,30	1,30				

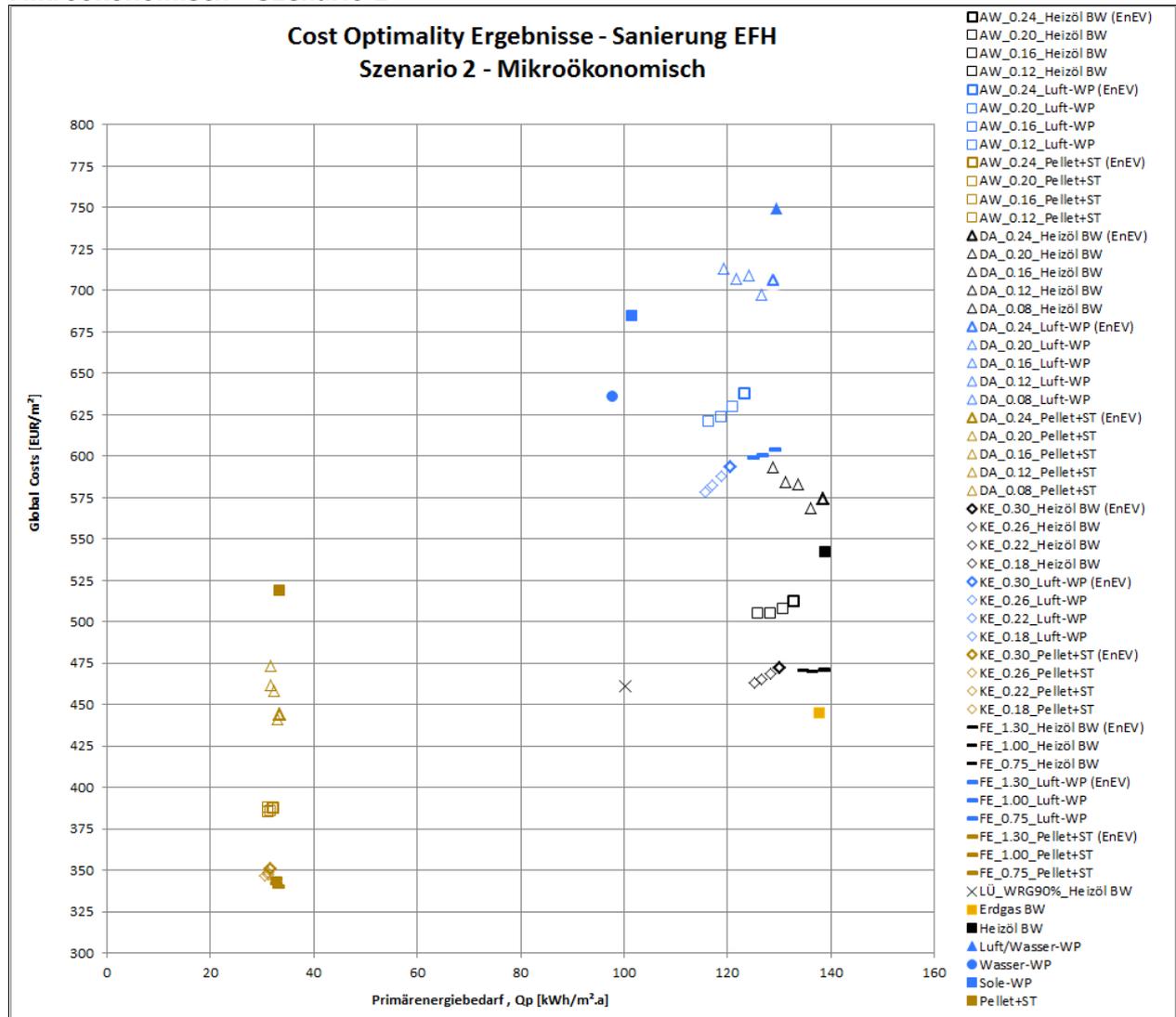
\*) Die untersuchten Technologien führen zu unterschiedlichen Kostenoptima. Das minimale und maximale Niveau wird oben angezeigt.

Sanierung, EFH

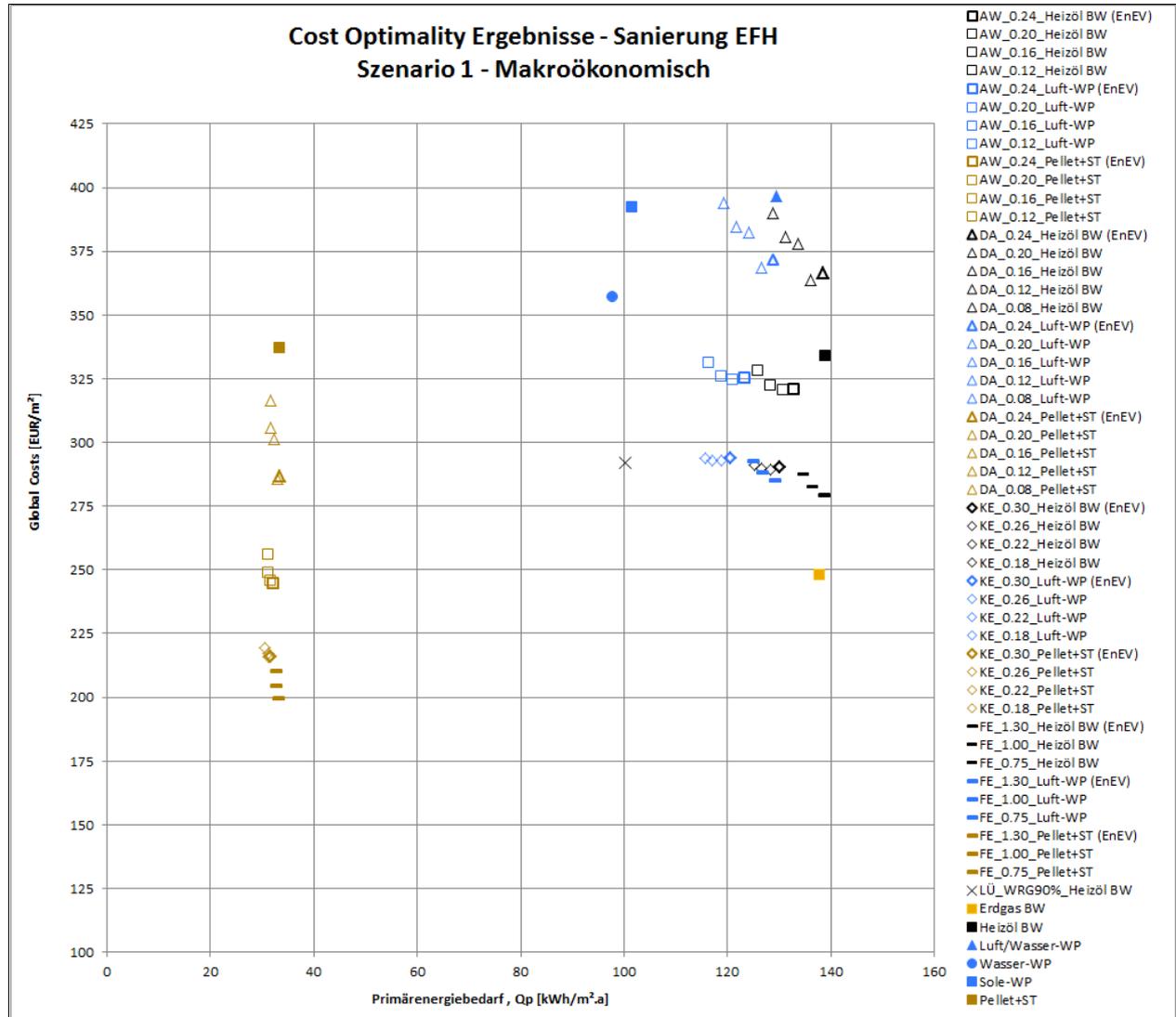
Mikroökonomisch - Szenario 1



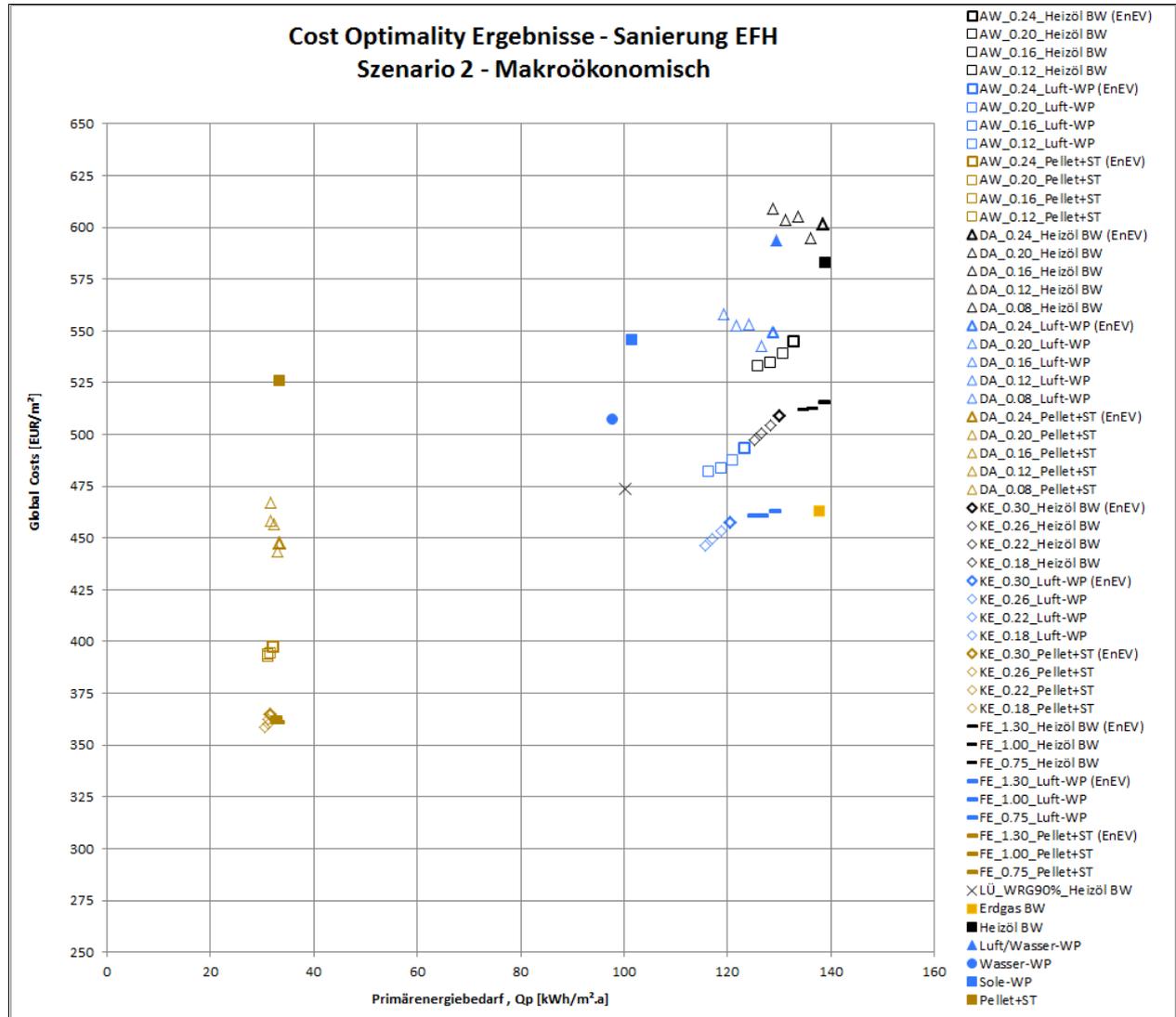
**Mikroökonomisch - Szenario 2**



**Makroökonomisch - Szenario 1**

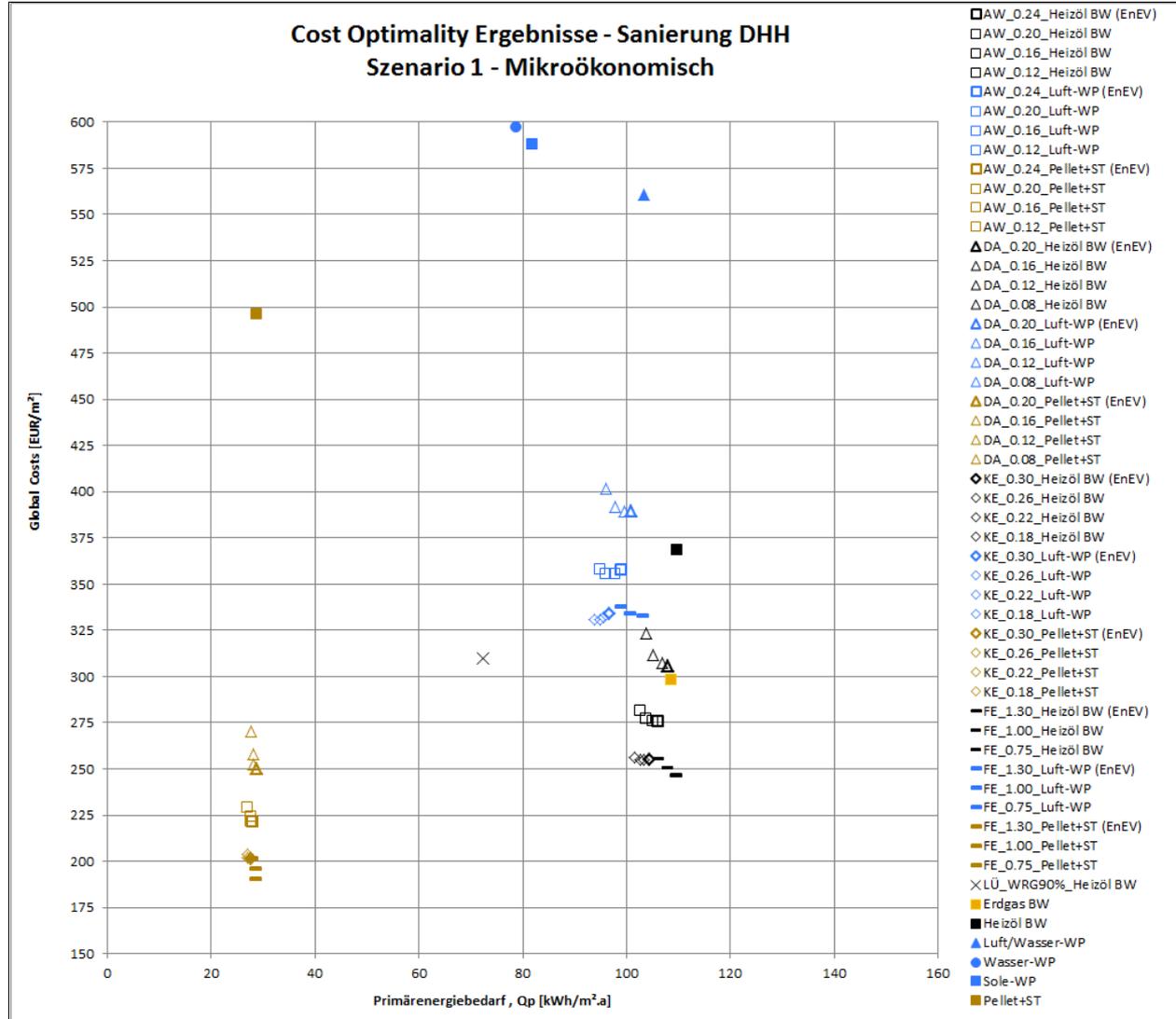


**Makroökonomisch - Szenario 2**

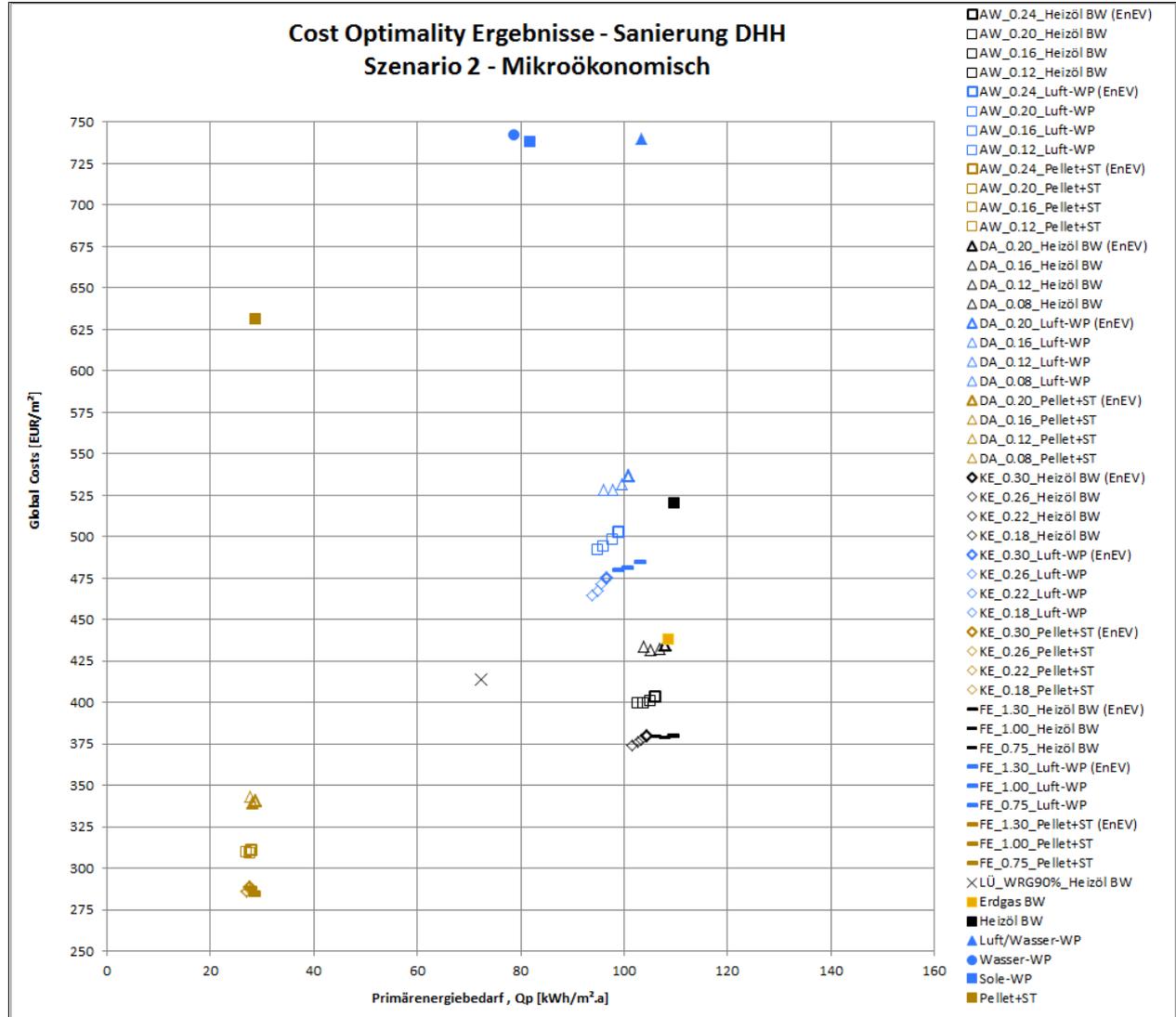


Sanierung, DHH

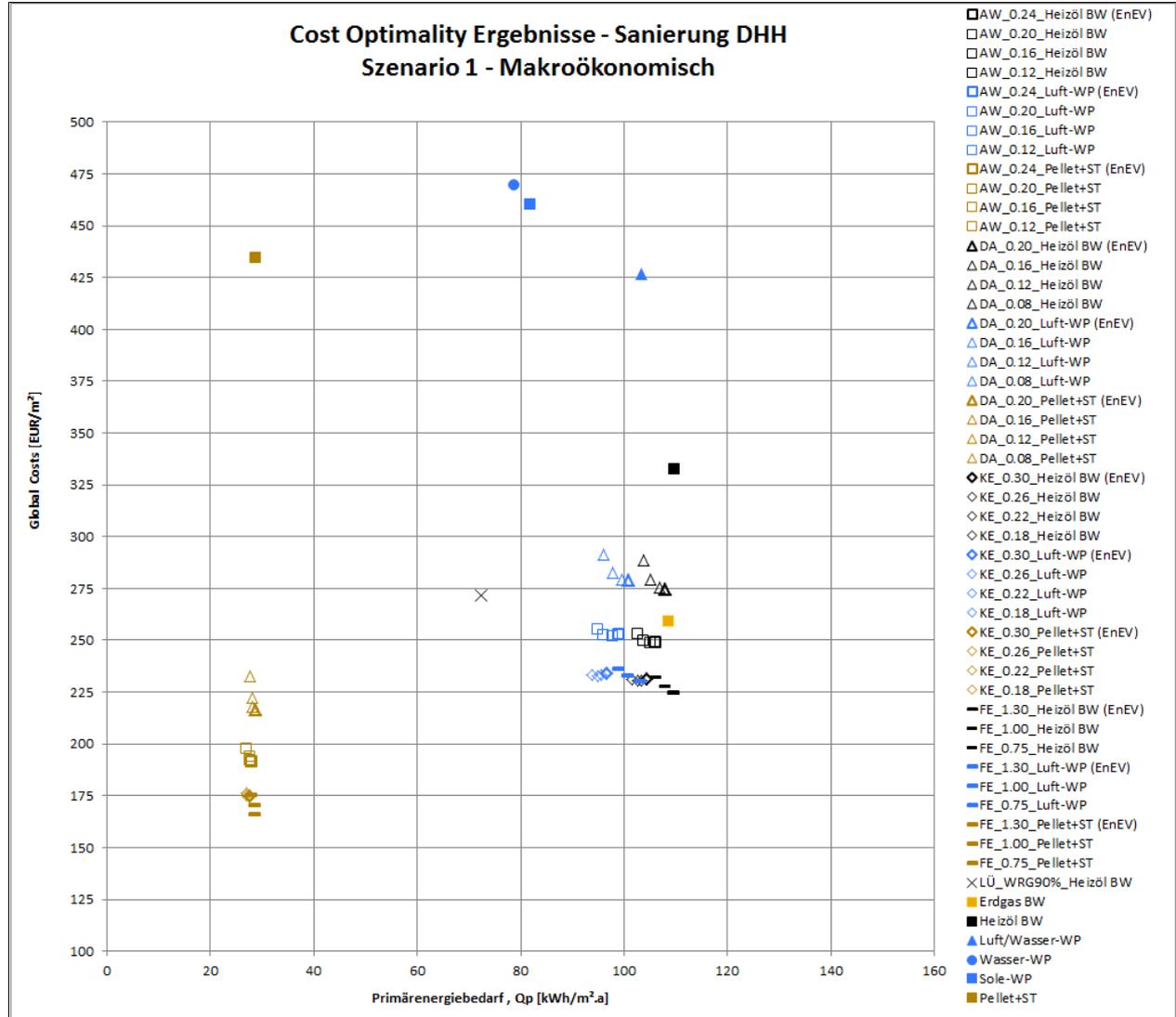
Mikroökonomisch - Szenario 1



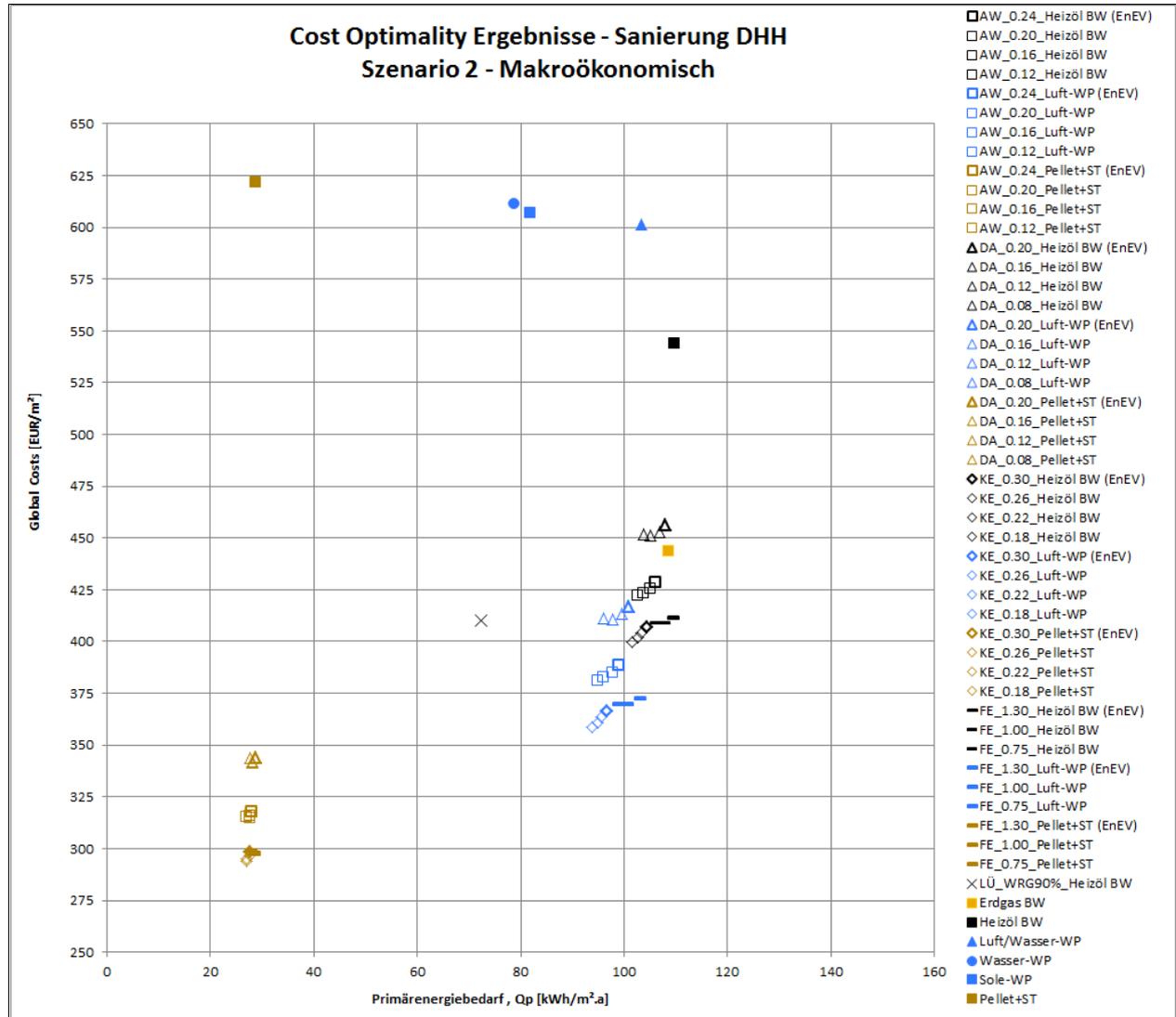
**Mikroökonomisch - Szenario 2**



**Makroökonomisch - Szenario 1**

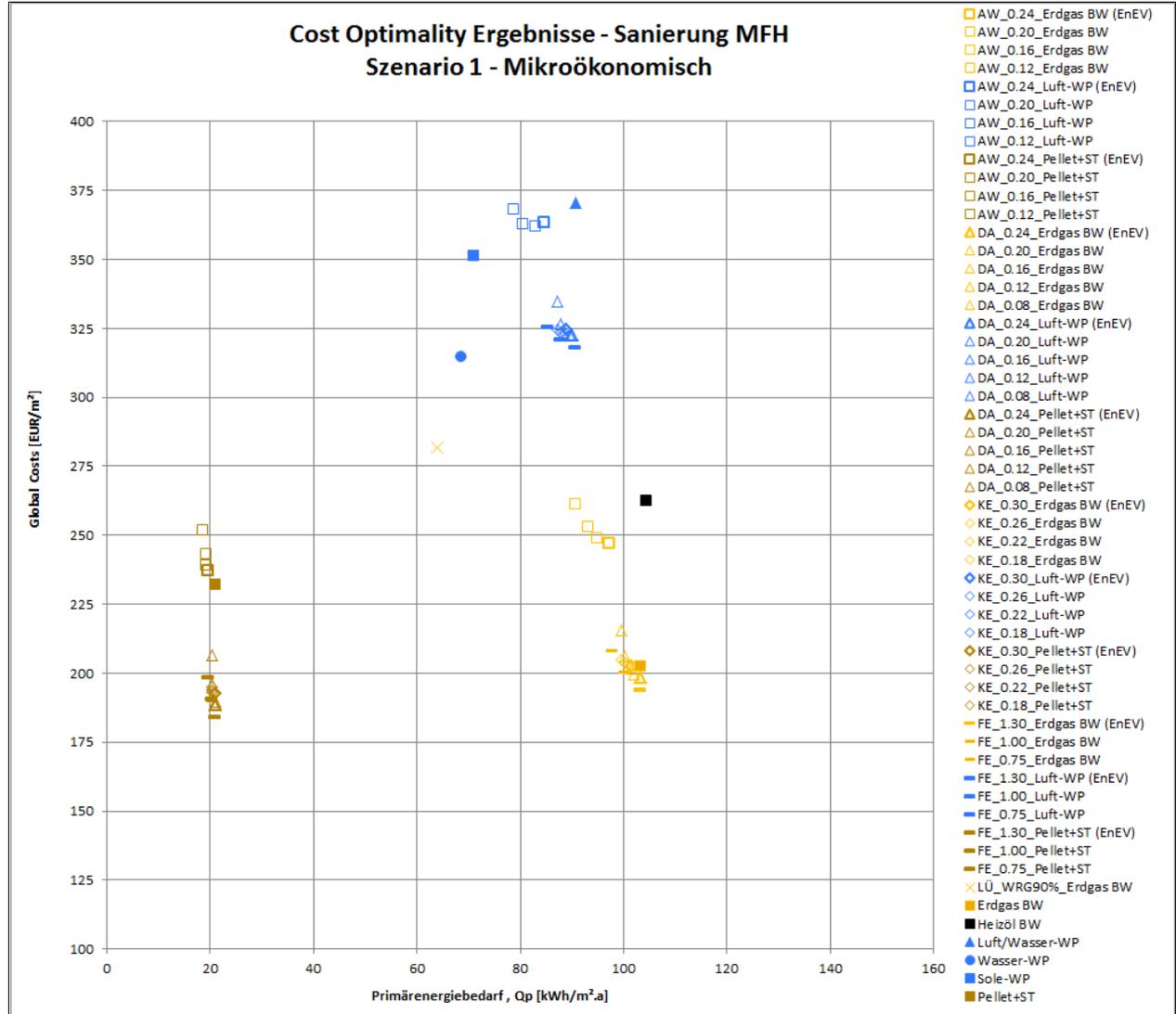


**Makroökonomisch - Szenario 2**

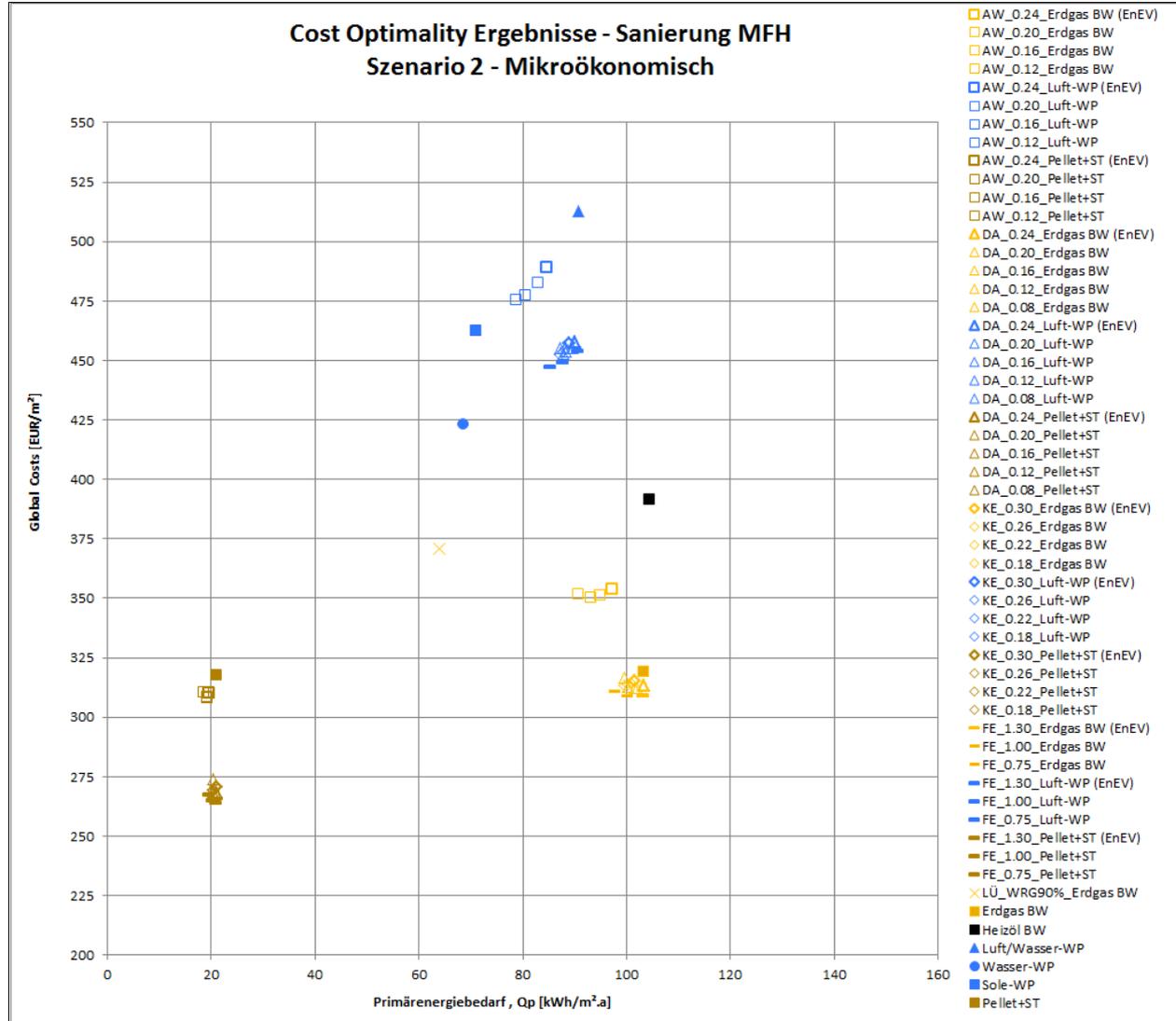


Sanierung, MFH

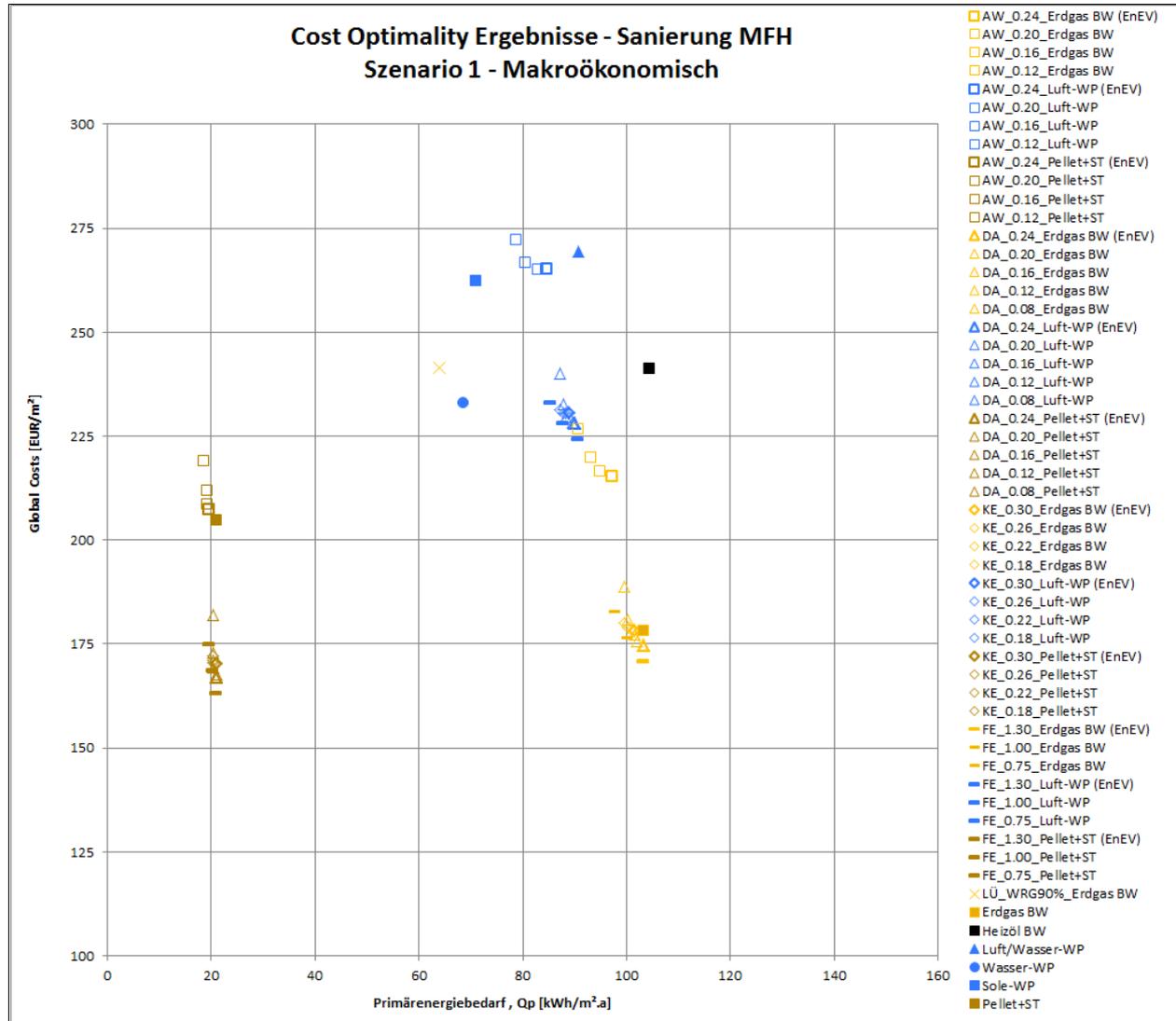
Mikroökonomisch - Szenario 1



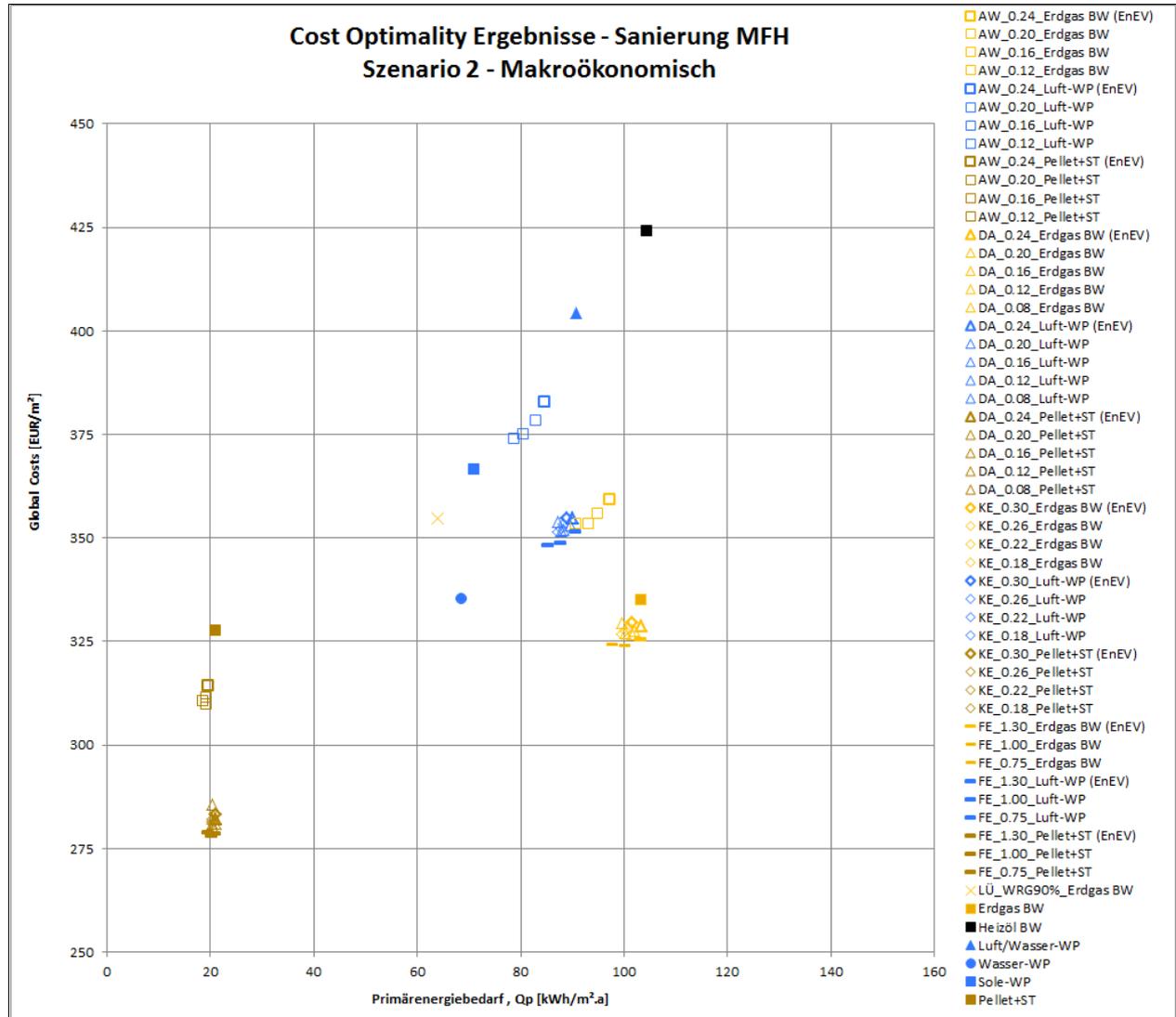
**Mikroökonomisch - Szenario 2**



**Makroökonomisch - Szenario 1**

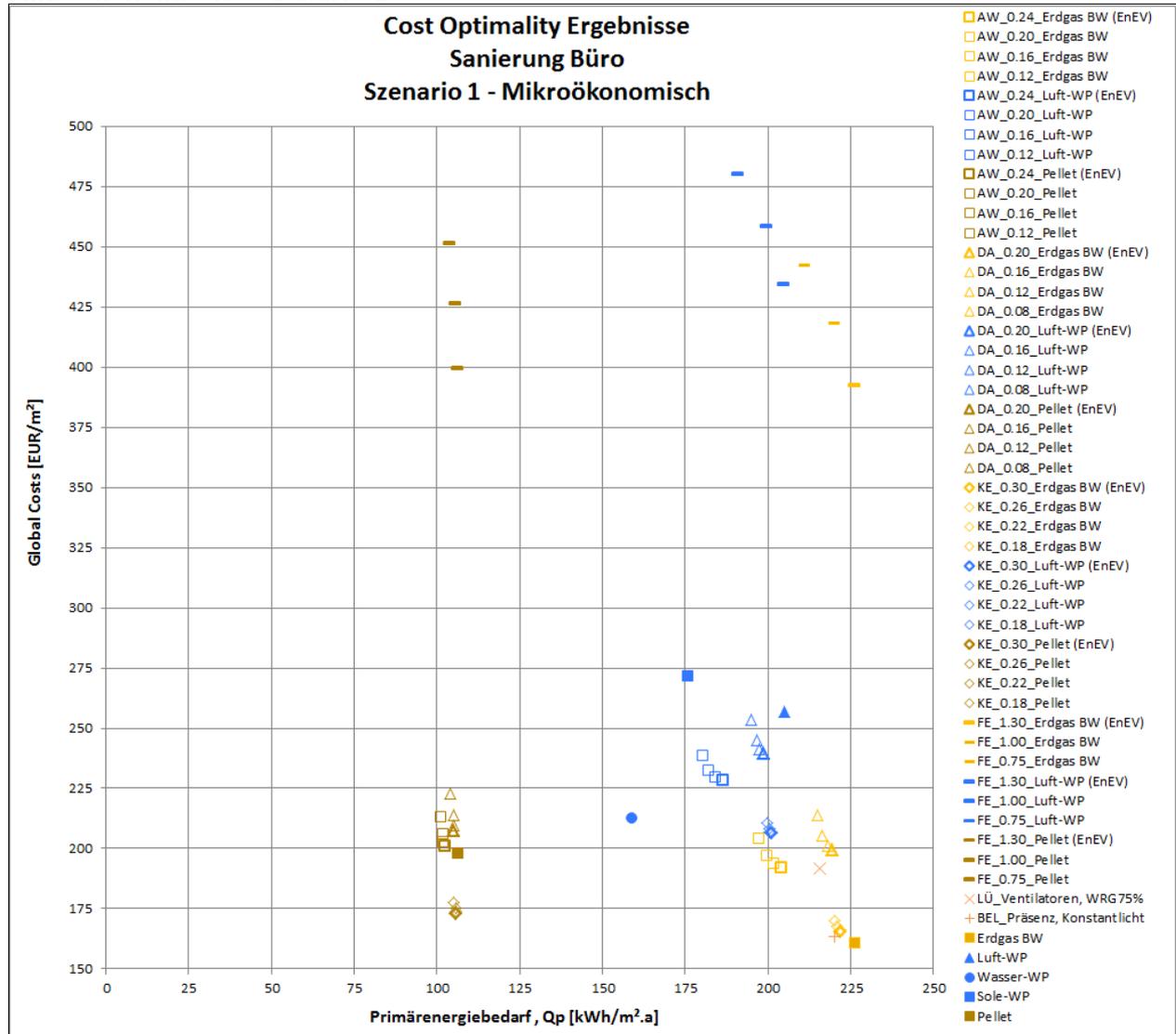


**Makroökonomisch - Szenario 2**

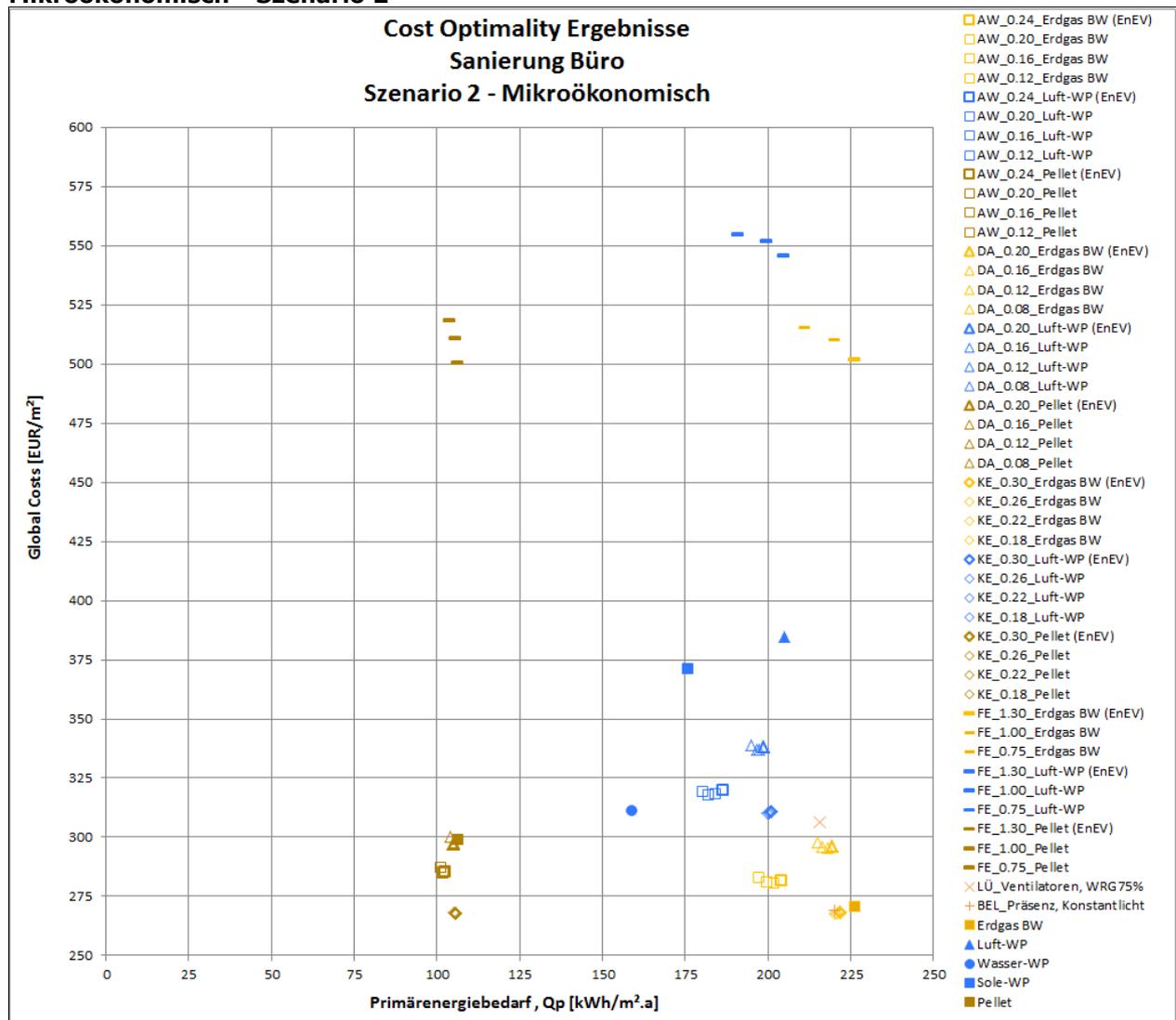


Sanierung, Bürogebäude

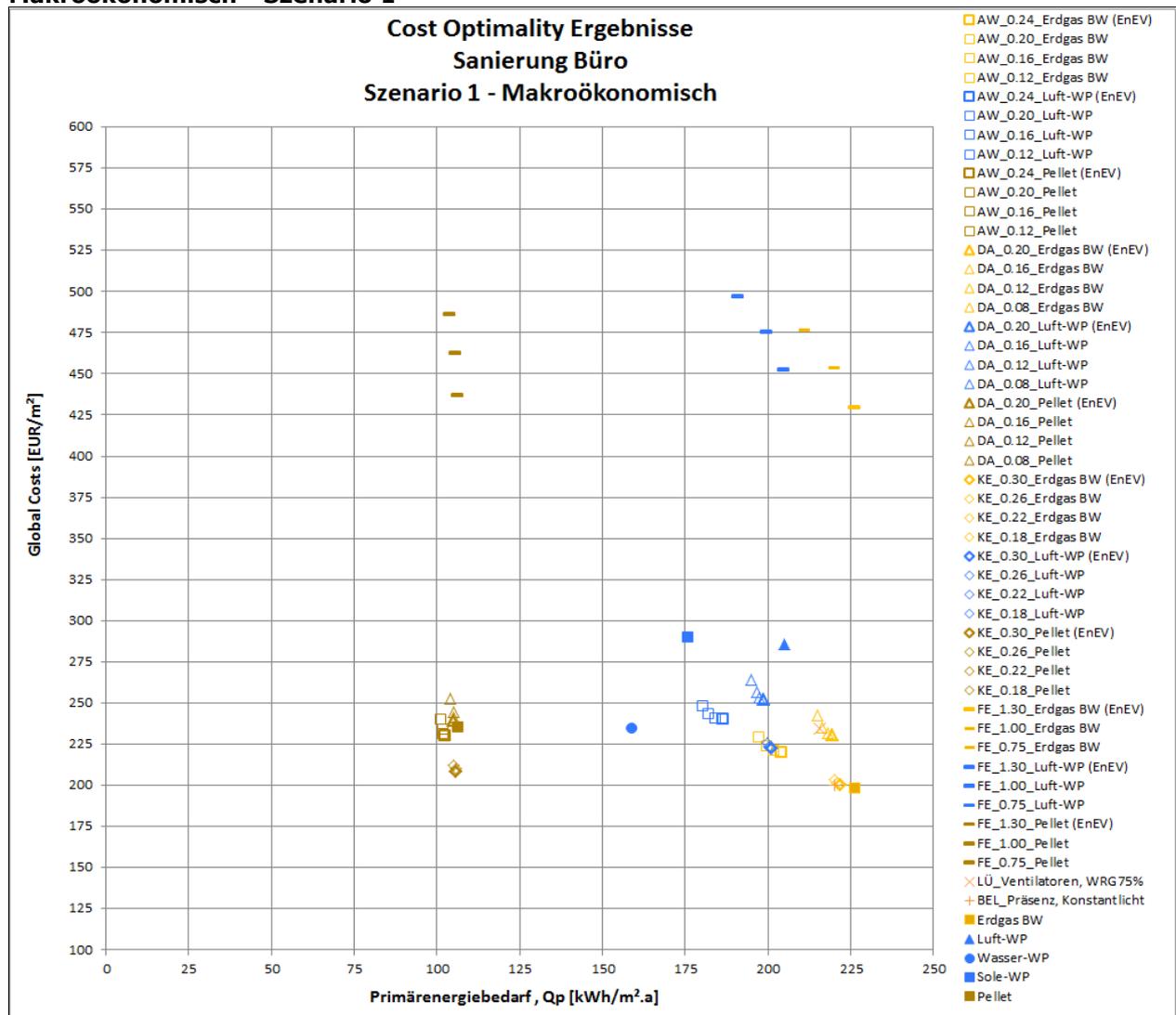
Mikroökonomisch - Szenario 1



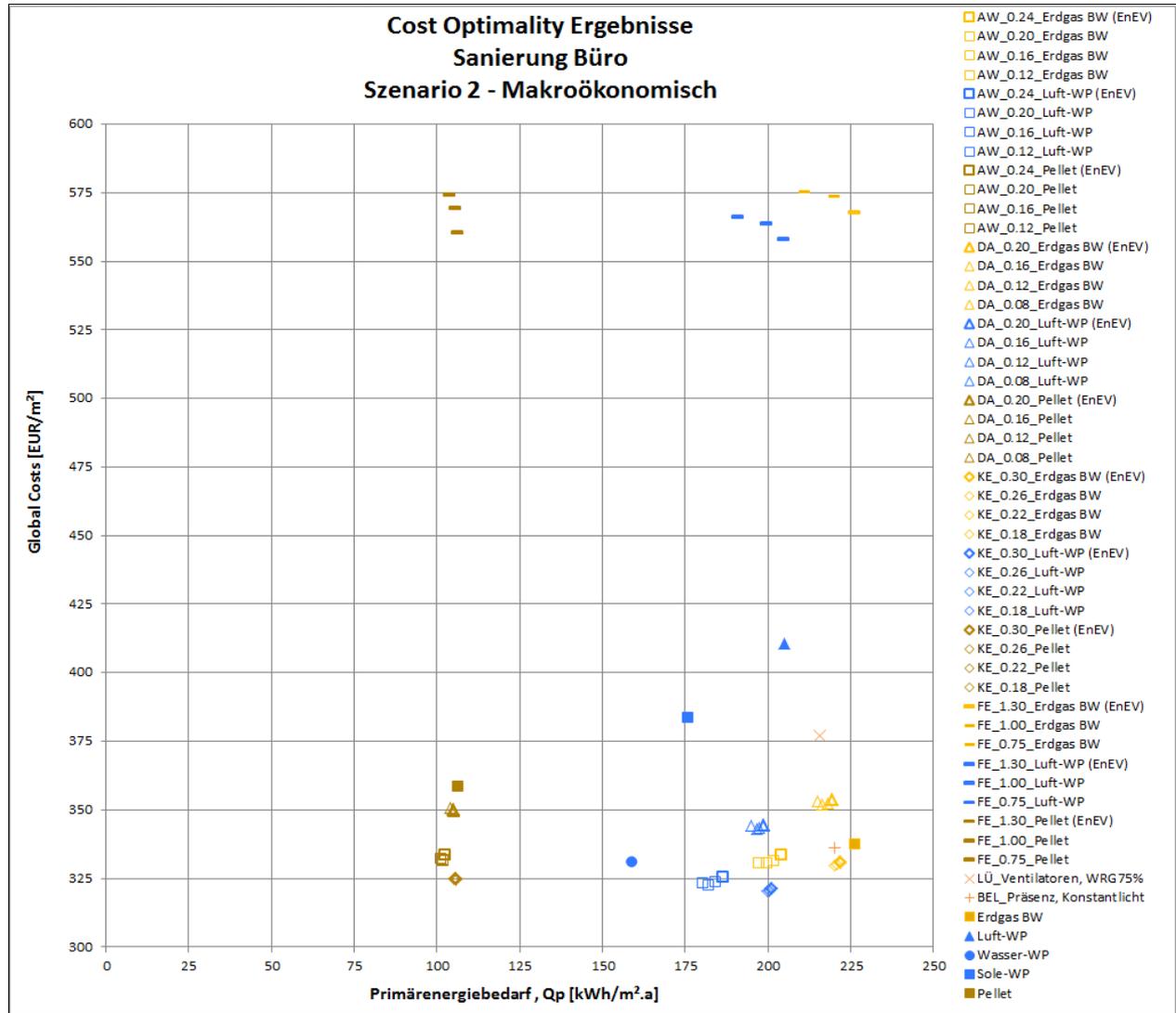
**Mikroökonomisch - Szenario 2**



**Makroökonomisch - Szenario 1**

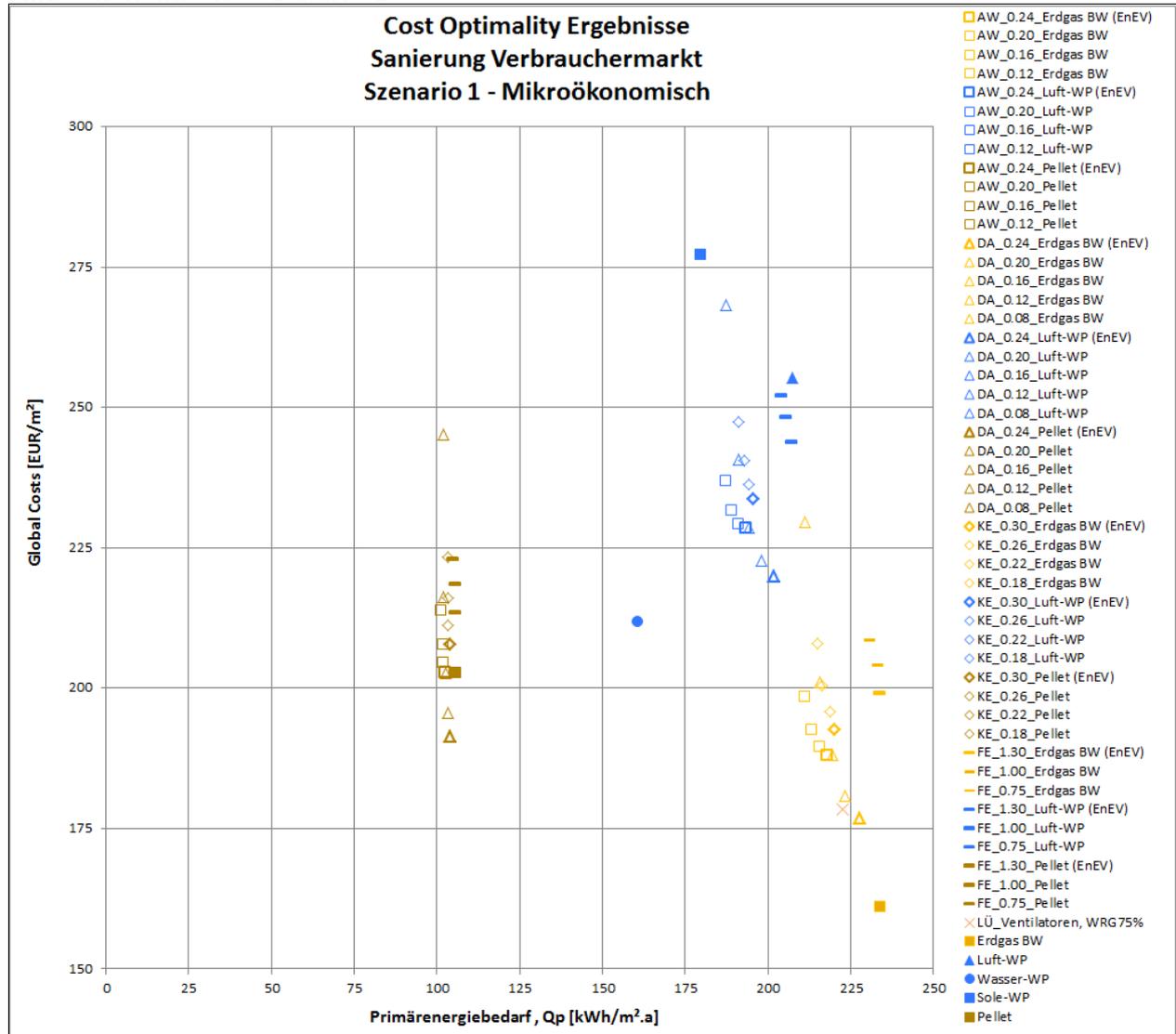


**Makroökonomisch - Szenario 2**

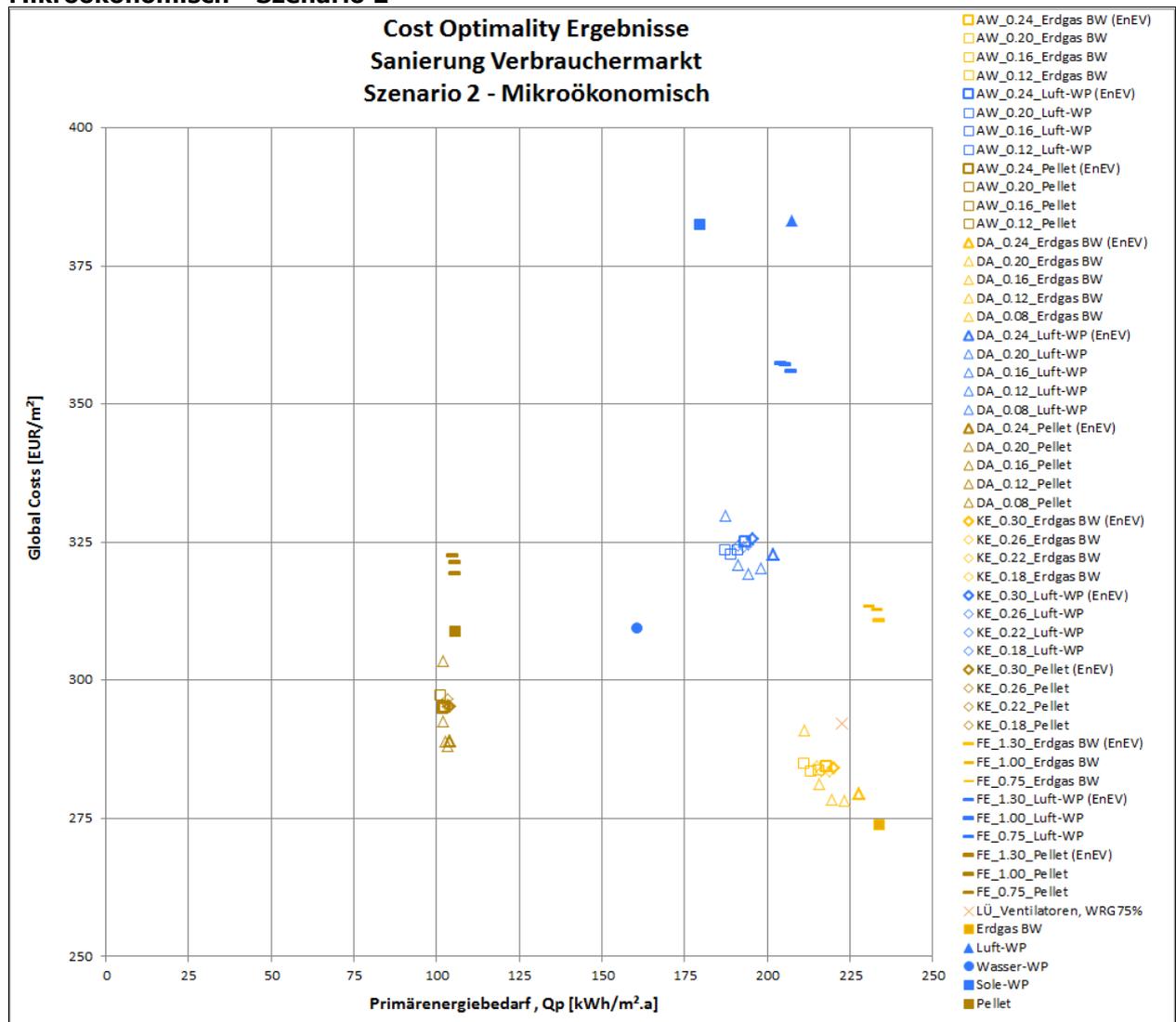


Sanierung, Verbrauchermarkt

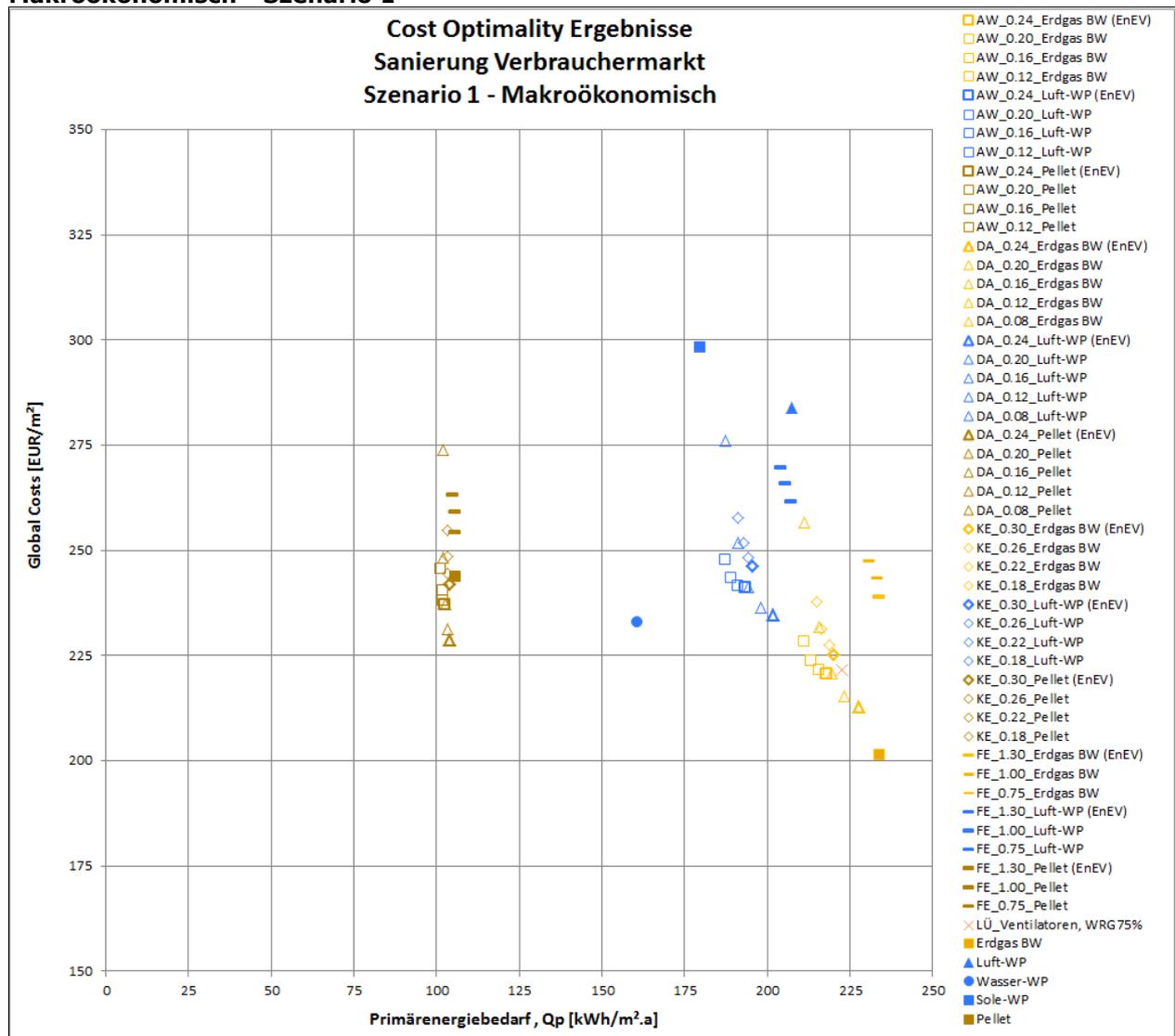
Mikroökonomisch - Szenario 1



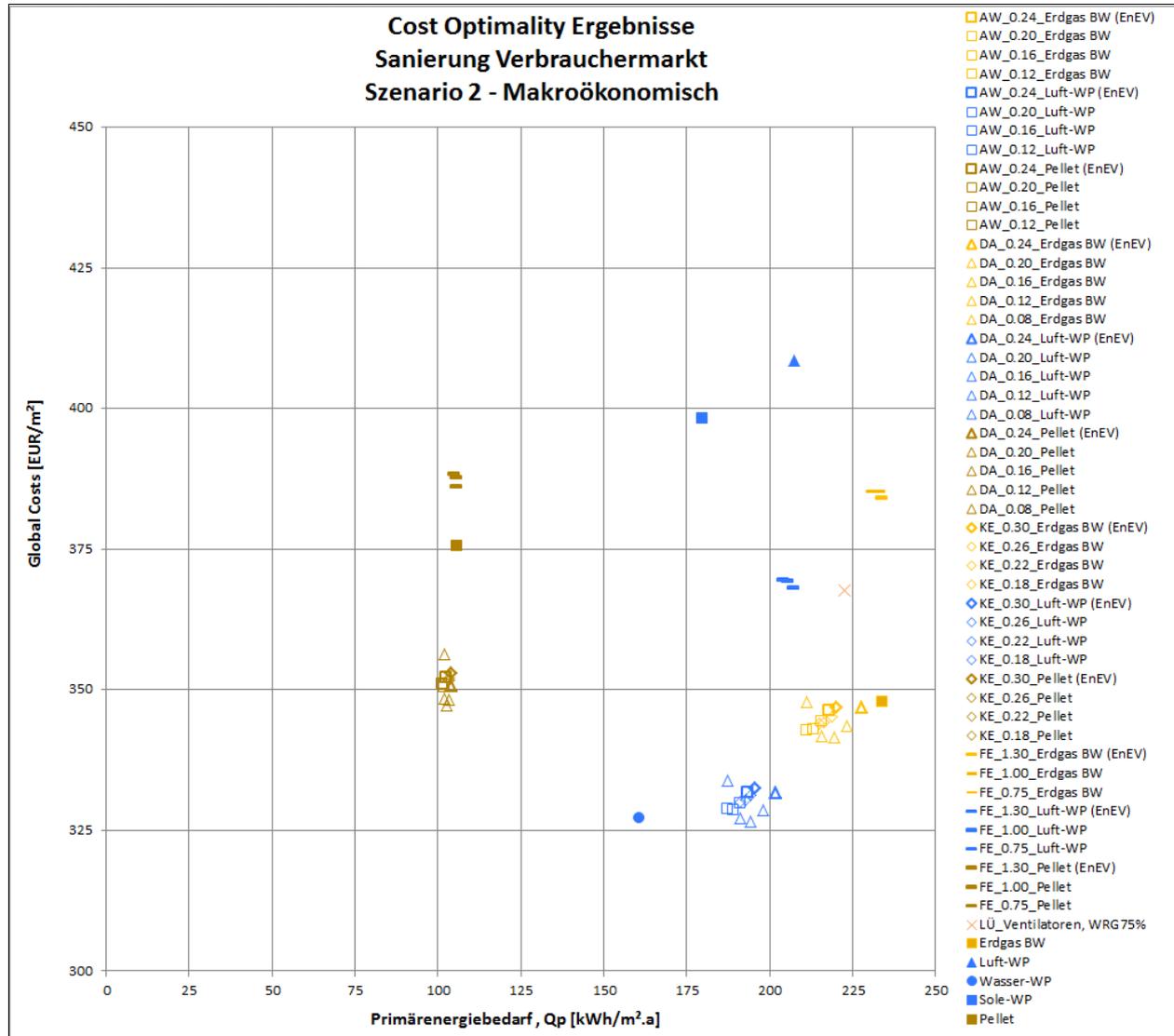
**Mikroökonomisch - Szenario 2**



**Makroökonomisch - Szenario 1**

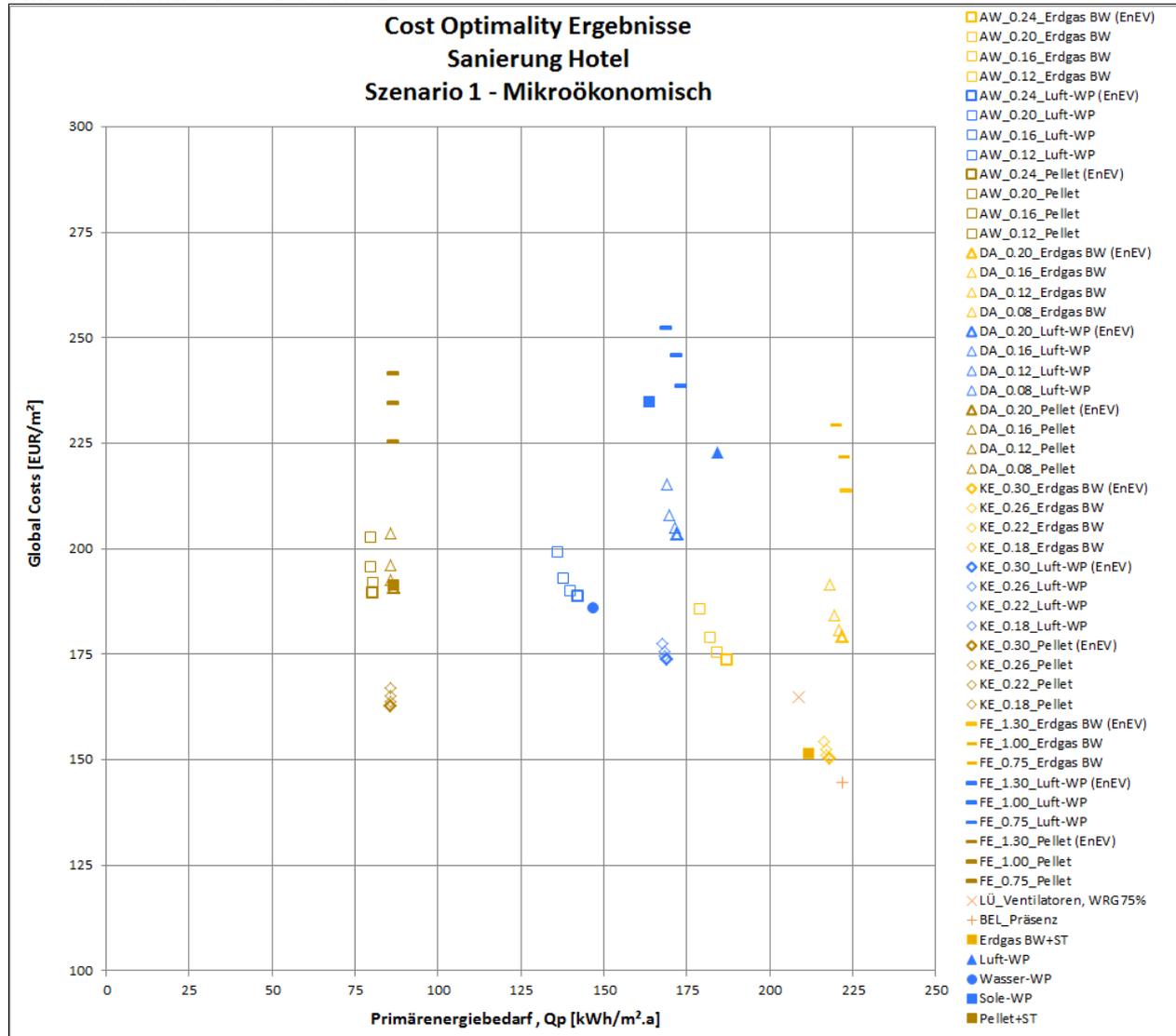


**Makroökonomisch - Szenario 2**

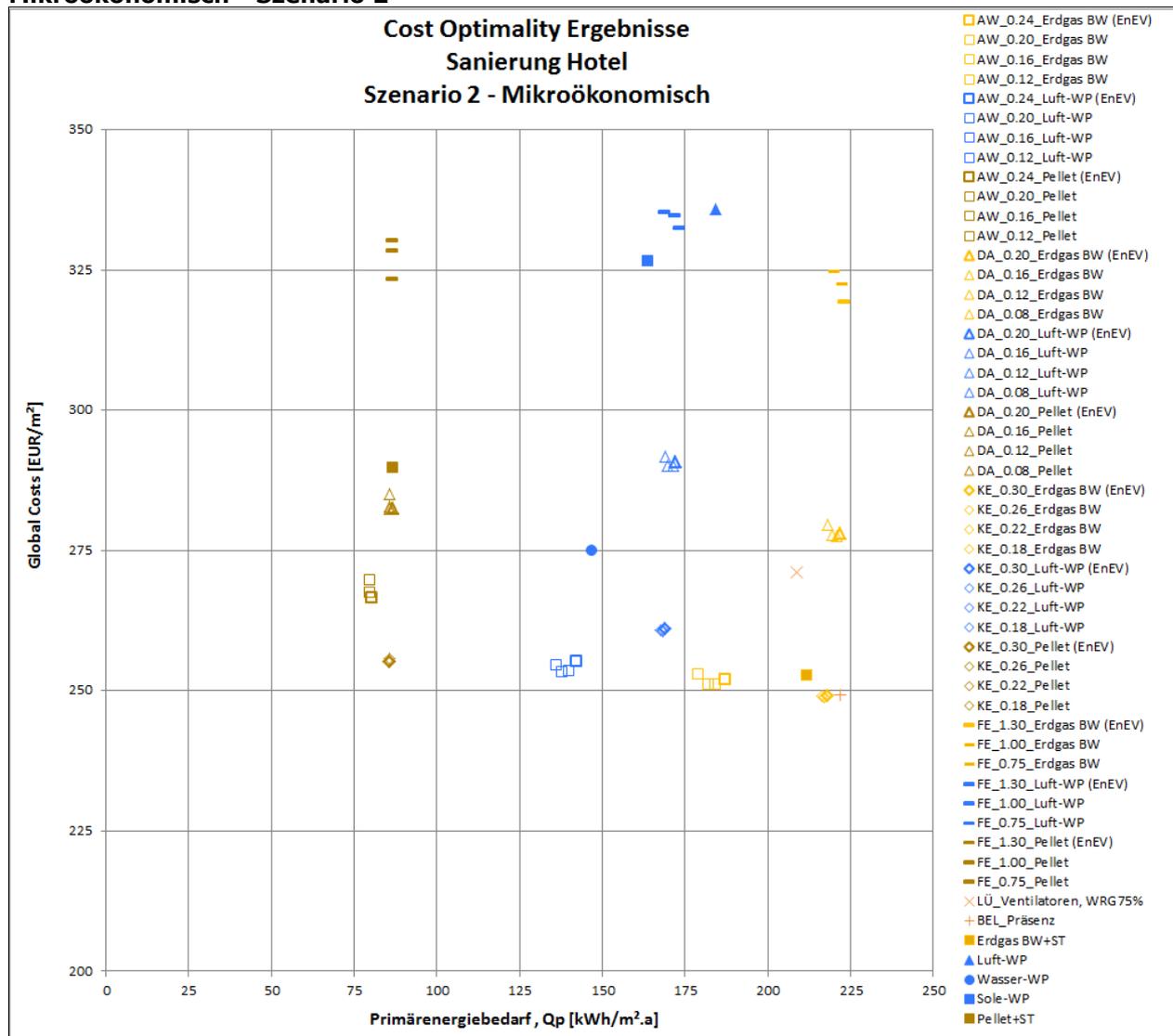


Sanierung, Hotel

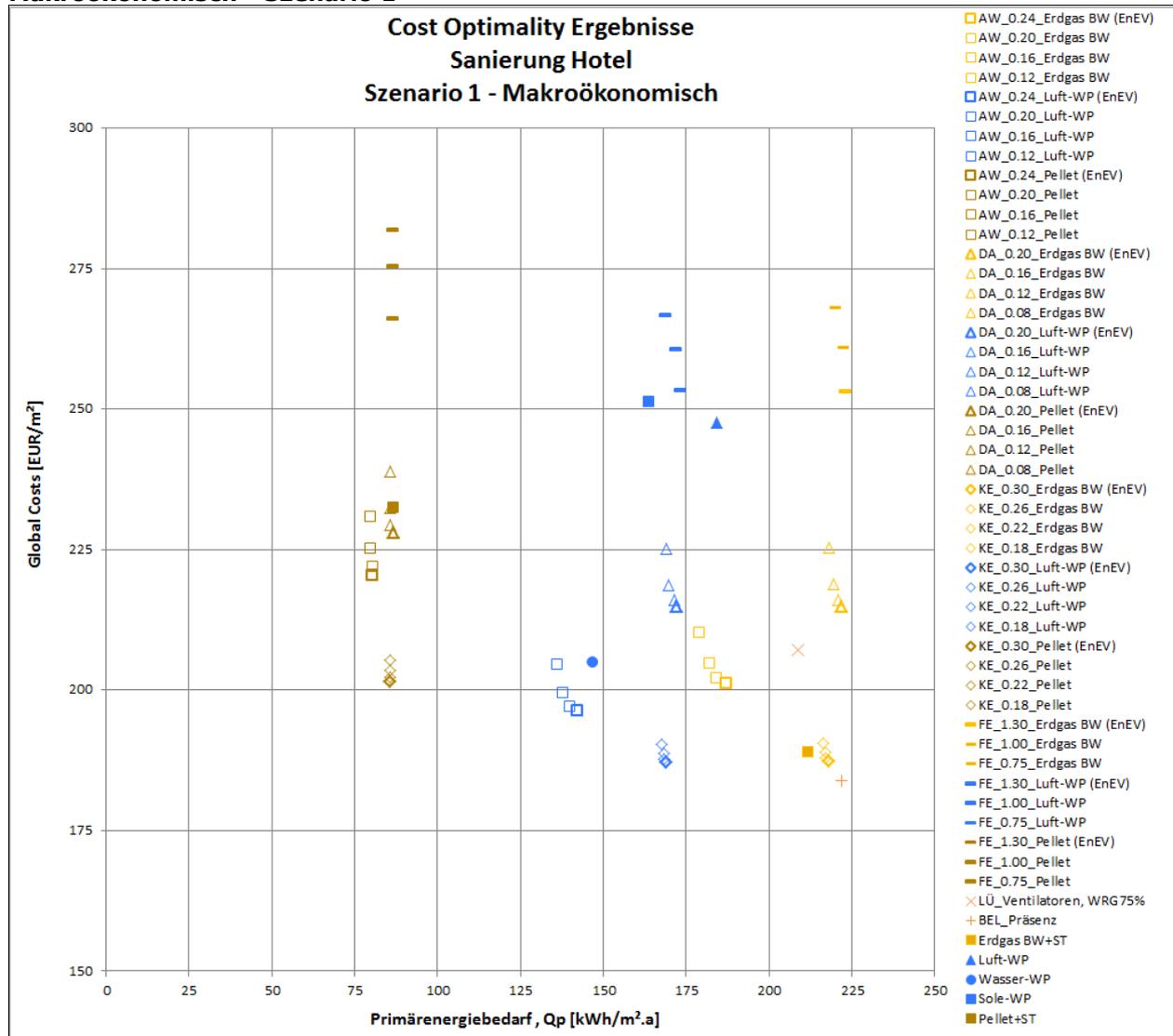
Mikroökonomisch - Szenario 1



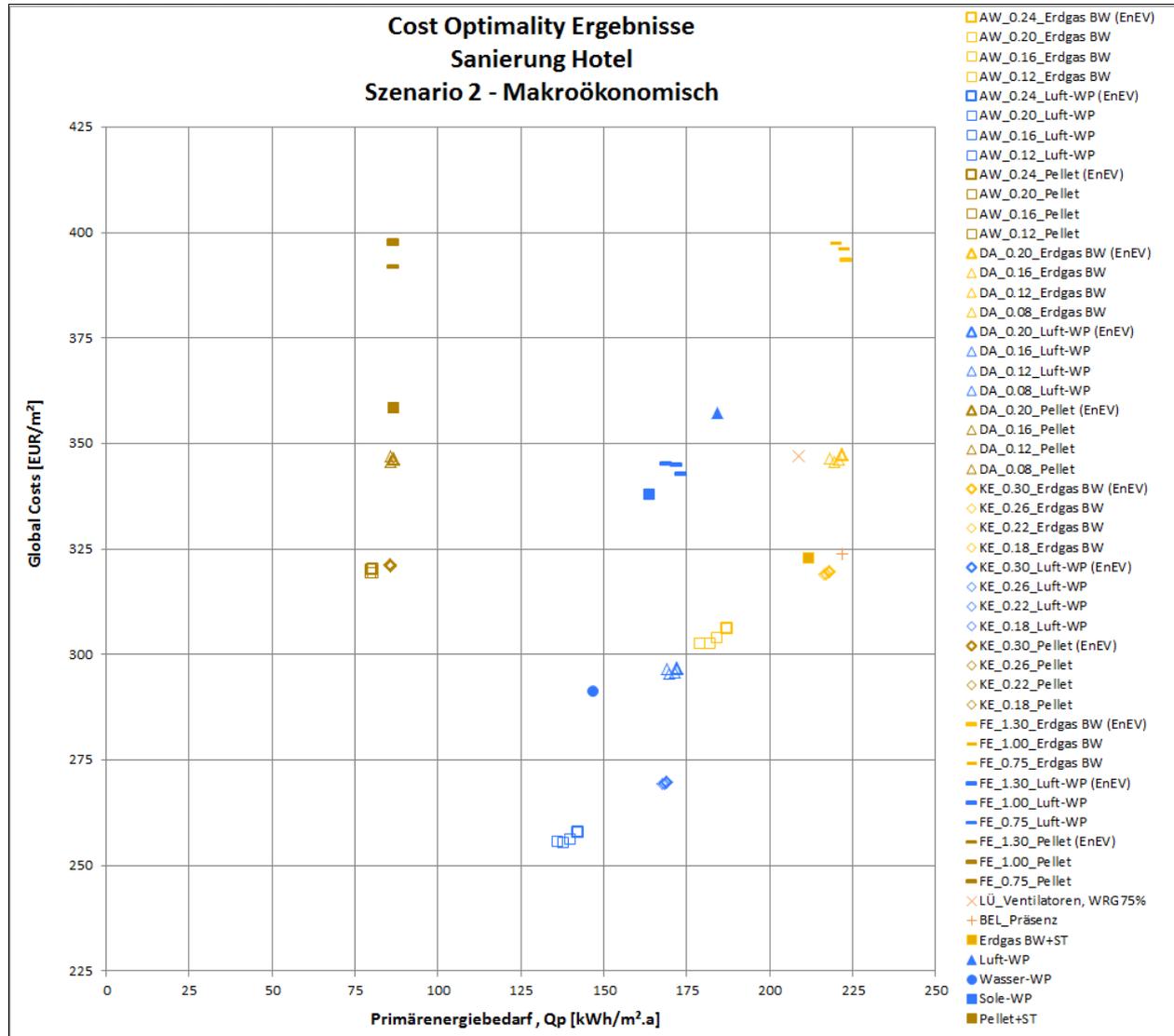
Mikroökonomisch - Szenario 2



**Makroökonomisch - Szenario 1**



**Makroökonomisch - Szenario 2**



## Literaturverzeichnis

**Agethen et al. 2008.** Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Bund Technischer Experten e.V. 2008  
<http://www.baufachinformation.de/literatur/Arbeitsblatt-der-BTE-Arbeitsgruppe/400000000576>  
(Zugriff: 12.06.2013)

**Atanasiu, Boermans et al. 2011.** Principles for nearly zero-energy buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). 2011.  
[http://www.ecofys.com/files/files/ecofys\\_bpie\\_2011\\_nearlyzeroenergybuildings.pdf](http://www.ecofys.com/files/files/ecofys_bpie_2011_nearlyzeroenergybuildings.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**Bettgenhäuser, Boermans et al. 2011.** Im Auftrag des Umweltbundesamtes: Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung  
<http://www.uba.de/uba-info-medien/3979.html> (Zugriff: 19.01.2013)

**BDEW.** Webpage. Aktuelle Daten zum Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG). 2011.  
[http://www.eeg-kwk.net/de/file/111118\\_PGHoBA\\_Info\\_Anlage3\\_KWK-Prog2012\\_Internettext\\_final.pdf](http://www.eeg-kwk.net/de/file/111118_PGHoBA_Info_Anlage3_KWK-Prog2012_Internettext_final.pdf) (Zugriff: 20.12.2012)

**BKI 2012.** Software BKI Kostenplaner 14. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH. 2012.

**BMWi Fernwärme.** Zahlen und Fakten Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung“ herausgegeben vom BMWi, Stand 2.11.2012,

**Boermans, Offermann et al. 2012.** Renovation tracks for Europe up to 2050. Building renovation in Europe – what are the choices? Ecofys. Köln. 2012.  
[http://www.eurima.org/uploads/ModuleXTender/Publications/90/Renovation\\_tracks\\_for\\_Europe\\_08\\_06\\_2012\\_FINAL.pdf](http://www.eurima.org/uploads/ModuleXTender/Publications/90/Renovation_tracks_for_Europe_08_06_2012_FINAL.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**Bundesnetzagentur.** Webpage. Bundesnetzagentur. 2012  
<http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/BNetzA/VerbrServiceEnergie/PreiseEntgelte/WieSetztSichDerGaspreisZusammen.html?nn=125442> (Zugriff: 19.12.2012)

**DEPV.** Webpage. Entwicklung des Pelletpreises in Deutschland. Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (DEPV). 2012.  
<http://www.depv.de/startseite/marktdaten/pelletspreise/> (Zugriff: 19.12.2012)

**Diefenbach, Cischinsky et al. 2010.** Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Darmstadt, 2010.  
[http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**DIN EN 15459.** Energieeffizienz von Gebäuden – Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Energieanlagen in Gebäuden; Deutsche Fassung EN 15459:2007. Deutsches Institut für Normung e.V. 2008.

**Dirlich, Gruhler et al. 2011.** Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Ingenieurbüro Petereit. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesamt für Bauwesen und Raumentwicklung (BBR), Berlin, Deutschland. 2011  
[http://www.bbsr.bund.de/nn\\_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON162011.html](http://www.bbsr.bund.de/nn_187722/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/ON162011.html) (Zugriff: 19.07.2012).

**Enseling, Diefenbach et al. 2011.** Evaluierung und Fortentwicklung der EnEV 2009: Untersuchung zu ökonomischen Rahmenbedingungen im Wohnungsbau. Endbericht. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Darmstadt, 2011.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_1174898/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2012/OekonomRahmenbed/Endbericht,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Endbericht.pdf](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_1174898/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2012/OekonomRahmenbed/Endbericht,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Endbericht.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**EUROSTAT.** Webpage. Energy Statistics. Statistikamt der Europäischen Union (EUROSTAT). 2012. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/database> (Zugriff: 15.11.2012)

**EU, 2012.** Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten. Europäische Kommission. 2012. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:115:0001:0028:DE:PDF> (Zugriff: 19.12.2012)

**Hinz 2012.** BMVBS-Online-Publikation, Nr. 07/2012. Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden. BMVBS. 2012.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL\\_ON072012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL\\_ON072012.pdf](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL_ON072012,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON072012.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**ifo 1999.** Der Gebäudebestand in Europa: Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien - "Europarc" Gemeinschaftsstudie der EUROCONSTRUCT Partnerinstitute in den fünf großen westeuropäischen Ländern. ifo Institute. 1999.

**Kah, Feist et al. 2008.** BBR-Online-Publikation, Nr. 18/2008. Bewertung energetischer Anforderungen

im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung. BMVBS, BBR. 2008.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2008/DL\\_ON182008,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL\\_ON182008.pdf](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2008/DL_ON182008,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON182008.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**Klauß et al. 2010.** Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. (ZUB). Kassel, 2010.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_117864/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2010/DatenbankModellgebäude/04\\_veroeffentlichungen.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_117864/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2010/DatenbankModellgebäude/04_veroeffentlichungen.html) (Zugriff: 19.12.2012)

**Kleberger 2011.** Erstellen der Anwendungsbilanz 2009 und 2010 für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Berlin. 2011.

**Kleemann, Hansen 2005.** Evaluierung der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich. Forschungszentrum Jülich. 2005.

[http://juwel.fz-juelich.de:8080/dspace/bitstream/2128/441/1/Umwelt\\_60.pdf](http://juwel.fz-juelich.de:8080/dspace/bitstream/2128/441/1/Umwelt_60.pdf) (Zugriff: 15.02.2012).

**Kohler, Hassler et al. 1999.** Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt des 13. Deutschen Bundestages. 1999.

**Loga et al. 2011.** Deutsche Gebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden (erarbeitet im Rahmen des EU Projektes „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“ - TABULA). Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, Germany. 2011.

[http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IWU.pdf](http://www.building-typology.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf) (Zugriff: 08.05.2012)

**Maas, Erhorn et al. 2012.** BMVBS-Online-Publikation, Nr. 05/2012. Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit. BMVBS. 2012.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL\\_ON052012\\_templateId=raw\\_property=publicationFile.pdf/DL\\_ON052012.pdf](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/DL_ON052012_templateId=raw_property=publicationFile.pdf/DL_ON052012.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**MWV.** Webpage. Zusammensetzung des Verbraucherpreises für Heizöl (bei Abgabe von 3.000 Litern). Mineralölwirtschaftsverband e.V. (MWV). 2012

[http://www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise/?loc=3%20\(inkl.%20Zusammensetzung%20Produktenpreis/Mineral%C3%B6lsteuer/MwSt./Deckungsbeitrag](http://www.mwv.de/index.php/daten/statistikenpreise/?loc=3%20(inkl.%20Zusammensetzung%20Produktenpreis/Mineral%C3%B6lsteuer/MwSt./Deckungsbeitrag) (Zugriff: 15.11.2012)

**Ornth, W. 2009.** Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäude-bestand, 30.7.2009

[http://www.bbsr.bund.de/nn\\_21976/BBSR/DE/Bauwesen/EnergieKlima/Energieausweise/energieausweise\\_node.html?nnn=true](http://www.bbsr.bund.de/nn_21976/BBSR/DE/Bauwesen/EnergieKlima/Energieausweise/energieausweise_node.html?nnn=true) (Zugriff: 21.01.2013)

**Schlomann, Gruber et al. 2011.** Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Karlsruhe/München/Nürnberg. 2011.

[http://isi.fraunhofer.de/isi-de/x/projekte/ghd\\_314889\\_sm.php](http://isi.fraunhofer.de/isi-de/x/projekte/ghd_314889_sm.php) (Zugriff: 19.03.2012)

**sirAdos.** Baudaten für Handwerker und Bauunternehmen (Online-Kostendatenbank unter [www.baupreise.de](http://www.baupreise.de)). Stand: Dezember 2012

**Stolte, Marcinek et al. 2012.** dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“. Dena. Berlin, 2012.

[http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Presse/Meldungen/2012/12-03-26\\_dena-Sanierungsstudie\\_Einfamilienhaeuser.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/Meldungen/2012/12-03-26_dena-Sanierungsstudie_Einfamilienhaeuser.pdf) (Zugriff: 19.12.2012)

**Thiel, Ehrlich 2012.** BMVBS-Online-Publikation, Nr. 08/2012. Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen bei Nichtwohngebäuden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012. BMVBS. 2012.

[http://www.bbsr.bund.de/cln\\_032/nn\\_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON082012.html](http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2012/ON082012.html) (Zugriff: 19.12.2012)