

Stadt Ulm

ulm



**Planung und Entwicklung
Gesellschaft mbH**

Schellingstraße 4/2

72072 Tübingen

Telefon 0 70 71 93 94 0

Telefax 0 70 71 93 94 99

mail@eboek.de

www.eboek.de

Städtebauliches Energie- und Wärmeversorgungskonzept für das Quartier Am Weinberg 89075 Ulm-Eselsberg



Erstellt im:	Januar 2018
im Auftrag von:	Stadt Ulm Hauptabteilung Stadtplanung, Umwelt, Baurecht Abteilung Strategische Planung Münchner Straße 2 89073 Ulm
Projektleitung:	Ulrich Rochard
Inhaltliche Bearbeitung:	Maria Hernández-Clua, Olaf Hildebrandt, Sven Kobelt, Ulrich Rochard, Holger Zimmermann



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Aufgabenstellung	9
3	Beschreibung des Quartiers Am Weinberg	10
4	Energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs	12
4.1	Planungsprinzipien	12
4.1.1	Kompaktheit	12
4.1.2	Passive Solarnutzung während Heizperiode.....	12
4.1.3	Besonnungsdauer im Winter.....	13
4.1.4	Grundrisstypen für Wohnungen	14
4.1.5	Sommerlicher Außenkomfort	14
4.2	Qualitative Analyse des städtebaulichen Rahmenplans.....	15
4.2.1	Kompaktheit der Baukörper	15
4.2.2	Ausrichtung der Baukörper	15
4.2.3	Verschattungsstudie und Bebauungsstruktur.....	16
4.2.4	Zusammenfassung und Empfehlungen	21
5	Grundsätzliche Überlegungen zur Energie- und Wärmeversorgung und im Quartier	23
5.1	Leistungsgebundene Energieträger.....	23
5.1.1	Strom.....	23
5.1.2	Erdgas.....	23
5.1.3	Fernwärme	24
5.2	Abwärme und Umweltwärme.....	24
5.2.1	Abwärmenutzung.....	24
5.2.2	Oberflächennahe Geothermie.....	24
5.2.3	Wärme aus Grundwasser	25
5.2.4	Wärme aus Siedlungs-Abwässern	26
5.2.5	Umgebungsluft als Wärmequelle	26
5.3	Biomasse	27
5.3.1	Rolle von biogenen Festbrennstoffen für die Wärmeversorgung von Gebäuden	27
5.3.2	Ökologische Kriterien für die Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung im innerstädtischen Bereich.....	28
5.4	Sonnenenergie	29
5.4.1	Solarthermie	30
5.4.2	Photovoltaik.....	30

5.5 Zusammenfassung und Empfehlungen.....	31
6 Gebäude-Energiestandards, Wärmeversorgungssysteme und Energiebedarf.....	33
6.1 Gesetzliche Mindestanforderungen und ihre Entwicklung sowie weiterführende Gebäude-Energiestandards.....	33
6.2 Voruntersuchung: Welche Gebäudeenergiestandards können mit welchen Wärmeversorgungssystemen erreicht werden?.....	36
6.2.1 Beschreibung der Mustergebäude.....	38
6.2.2 Beschreibung der betrachteten Wärmeversorgungssysteme und Technikausstattungen	40
6.2.3 Randbedingungen der Berechnungen.....	40
6.2.4 Ergebnisse.....	41
6.3 Energiebedarfsprognose.....	44
6.3.1 Wärmebedarf für das Baugebiet.....	44
6.3.2 Beurteilung des Wärmebedarfs hinsichtlich einer Fernwärmeversorgung	46
6.3.3 Strombedarf für die Gebäude im Baugebiet	46
7 Ökonomische und ökologische Bewertung von Gebäude-Energiestandards und Wärmeversorgungssystemen	49
7.1 Methodik der Bewertung und Randbedingungen.....	49
7.1.1 Ziel der Bewertungen	49
7.1.2 Methodik der Bewertung	49
7.1.3 Berechnung des voraussichtlichen Wärmebedarfs.....	50
7.1.4 Randbedingungen für die ökologische Bewertung.....	50
7.1.5 Randbedingungen für die wirtschaftliche Bewertung	51
7.2 Beschreibung der Mustergebäude und der Varianten bezüglich Energie-Standards und Wärmeversorgungssystemen	53
7.2.1 Untersuchte Mustergebäude	53
7.2.2 Untersuchte Varianten bezüglich Energie-Standards und Wärmeversorgungssystemen.....	53
7.3 Energiebilanzen und Umweltwirkungen	55
7.3.1 Nutzwärme, nutzbare Wärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie.....	55
7.3.2 Primärenergiebedarf und Treibhausgas(THG)-Emissionen	57
7.4 Vergleich der Investitionen.....	58
7.4.1 Beurteilung von Mehrkosten bei unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards	60
7.5 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht.....	61

7.6 Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten mit einer teilzentralen BHKW-Wärmeversorgung	65
7.6.1 Beschreibung der Untersuchungsvarianten	65
7.6.2 Ergebnisse der Berechnungen	68
7.7 Bewertung und Empfehlung	70
7.7.1 Gebäude-Energiestandards.....	70
7.7.2 Wärmeversorgungssysteme	71
8 Energetische Gesamtbilanz.....	73
9 Umsetzungsvorschläge	75
9.1 Textbausteine für städtebauliche oder privatrechtliche Verträge.....	75
10 Anhang	77
10.1 Glossar.....	77
10.2 Literatur	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Quartiers im Ulmer Stadtgebiet (Quelle: Google 2017)	10
Abbildung 2: Luftbild des Quartiers mit Bestandsgebäuden (Quelle: Google 2017).....	11
Abbildung 3: Städtebaulicher Rahmenplan vom Juni 2017	11
Abbildung 4: A/V Verhältnis, Beispiele. Quelle: Institut für Solare Stadtplanung Dr.-Ing. Peter Goretzki	12
Abbildung 5: Sonnenstands-Diagramm für Ulm mit den 4 Haupt-Fassadenausrichtungen. Die orangene Linie stellt den Sonnenverlauf am 17. Januar dar.	15
Abbildung 6: 3D-Modell des Baugebiets mit Blick aus Süden	16
Abbildung 7: Beispiel für Optimierung der Gebäudeform im südwestlichen Baufeld durch Reduzierung des Staffelgeschosses bzw. Verkürzung des Südflügels. Bereiche mit weniger als 1 h Besonnungsdauer am 17.1. sind orange markiert.....	17
Abbildung 8: Eignung der Fassaden für einseitig belichtete Wohnungen	17
Abbildung 9: Ost-West-orientierte Straßenabschnitte im Quartier mit beidseitig geschlossener Bebauung.....	18
Abbildung 10: Verschattung der Südfassade durch südlich stehendes Gebäude mit und ohne Staffelgeschoss.....	18
Abbildung 11: Aktueller Entwurf und Variante des Staffelgeschosses mit Auswirkung auf die Verschattungssituation	19
Abbildung 12: Eignung der Gebäude für den Passivhaus-Standard.....	20
Abbildung 13: Lage der Gasleitung (Auszug aus Netzauskunft der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm Netze GmbH).....	23

Abbildung 14: Abwasserkanals mit außenliegendem Wärmetauscher (Quelle: www.krah-pipes.com)	26
Abbildung 15: Außengerät einer Luft/ Wasser-Wärmepumpe (Quelle: swisstherm)	27
Abbildung 16: Potentielle Dachflächen für PV-Anlagen	31
Abbildung 17: Anforderungen an Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust nach EnEV-Standard und KfW-Förderstandards im Verhältnis zu den Werten des Referenzgebäudes	35
Abbildung 18: Kriterien zur Erfüllung eines geforderten Gebäude-Energiestandards und Möglichkeit der Kompensation durch verbesserte Gebäudehülle	37
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Hochhaus mit geometrischen Kennwerten	38
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Punkthaus mit geometrischen Kennwerten	39
Abbildung 21: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Blockrand-Mittelbau mit geometrischen Kennwerten	39
Abbildung 22: Darstellung der Variantenberechnungen für das Hochhaus	42
Abbildung 23: Darstellung der Variantenberechnungen für das Punkthaus	43
Abbildung 24: Darstellung der Variantenberechnungen für den Blockrand-Mittelbau	43
Abbildung 25: Stromspiegel für Deutschland 2017, Stromverbräuche nach Haushaltsgrößen. Quelle: Die Stromsparinitiative, www.diestromsparinitiative.de	47
Abbildung 26: Ablaufschema für die Wirtschaftlichkeitsbewertung	50
Abbildung 27: Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie für die Varianten des Hochhauses	55
Abbildung 28: Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie für die Varianten des Punkthaus es	56
Abbildung 29: Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie für die Varianten des Blockrand-Mittelbaus	56
Abbildung 30: Umweltwirkungen der Varianten des Hochhauses	57
Abbildung 31: Umweltwirkungen der Varianten des Punkthaus es	57
Abbildung 32: Umweltwirkungen der Varianten des Blockrand-Mittelbaus	58
Abbildung 33: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des Hochhauses	59
Abbildung 34: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des Punkthaus es	59
Abbildung 35: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des Blockrand-Mittelbaus ..	60
Abbildung 36: Baukosten (Kostengruppe 300-700) nach Gebäudeenergie-Standard in EUR/m ² Wohnfläche. Angaben incl. Mehrwertsteuer (brutto). Quelle [F+B 2016]	61
Abbildung 37: Vollkostenvergleich für die Varianten des Hochhauses	62
Abbildung 38: Vollkostenvergleich mit und ohne Förderung für die Variante Fernwärmeanschluss des Hochhauses	62
Abbildung 39: Vollkostenvergleich für die Varianten des Punkthaus es	63
Abbildung 40: Vollkostenvergleich mit und ohne Förderung für die Variante Fernwärmeanschluss des Punkthaus es	63
Abbildung 41: Vollkostenvergleich für die Varianten des Blockrand-Mittelbaus ...	64

Abbildung 42: Vollkostenvergleich mit und ohne Förderung für die Variante Fernwärmeanschluss des Blockrand-Mittelbaus	64
Abbildung 43: Mustergebäude „Blockrand-Mittelbau“ (links) und Baufeld G (rechts)	66
Abbildung 44: Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs für das Baufeld G mit Gebäuden im EnEV-Standard	67
Abbildung 45: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich Primärenergiebedarf und THG-Emissionen	68
Abbildung 46: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der erforderlichen Investitionen	69
Abbildung 47: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der annuitätischen Gesamtkosten	70
Abbildung 48: Energetische Gesamtbilanz des Quartiers für 5 Varianten unter Berücksichtigung von Wärme- und Strombedarf der Gebäude und PV-Produktion	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verwendete U-Werte der Außenbauteile bei den unterschiedlichen Energiestandards	37
Tabelle 2:	Anzahl Wohneinheiten und Bruttogeschossflächen (BGF) laut städtebaulichem Rahmenplan	45
Tabelle 3:	Gesamtwärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung bei vollständiger Bebauung des Quartiers, wenn alle Gebäude nach einem einheitlichen Energiestandard gebaut werden.	46
Tabelle 4:	Allgemeine Randbedingungen für die ökologische Bewertung	51
Tabelle 5:	Allgemeine Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen	51
Tabelle 6:	Verwendete Energietarife für Haushalte, Stand Oktober 2017	52
Tabelle 7:	Übersicht über die untersuchten Varianten (gelbe Zahlen verweisen auf obige Liste)	54
Tabelle 8:	Allgemeine Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen	65
Tabelle 9	Kennwerte für das Mustergebäude „Blockrand-Mittelbau“ und das Baufeld G	66
Tabelle 10	Kennwerte der Wärmeerzeuger	67

1 Zusammenfassung

Aufgabenstellung

Auf dem Gelände der ehemaligen Hindenburgkaserne im Stadtteil Ulm-Eselsberg soll das neue Wohnquartier „Am Weinberg“ mit teilweiser Mischnutzung entstehen. Das vorliegende Energiekonzept soll den vorliegenden städtebaulichen Rahmenplan auf mögliche energetische Optimierungen hin analysieren und untersuchen mit welchem Wärmeversorgungssystem das Quartier am besten versorgt werden kann und welcher Gebäude-Energiestandard unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll ist.

Energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs

- Die Bebauungsdichte und -struktur des Quartiers entspricht innerstädtischem Wohnen. Die Baukörper sind sehr kompakt und haben ein sehr gutes A/V-Verhältnis (0,30 – 0,40).
- Durch ein geringes A/V-Verhältnis wird die Realisierung von Passivhäusern begünstigt. Alle untersuchten Gebäudetypen erreichen den Passivhaus-Standard mit einer Gebäudehülle entsprechend dem KfW-Standard EH-40. Voraussetzung ist eine sinnvolle Orientierung und geringe Verschattung durch Nachbargebäude. Dies gilt für die Mehrzahl der Gebäude.
- Die Besonnung der Wohnungen im Winter (nach DIN 5034-1) ist in den inneren Eckbereichen von L-Bauten und bei Gebäudeabständen unter 20 m auch in den ersten beiden Wohngeschossen teilweise eingeschränkt. Hier besteht punktuell Optimierungspotential. Die Optimierungen führen jedoch in der Regel zum Verlust von Wohnfläche.
- Angesichts der wünschenswerten Dichte des Quartiers ist die Besonnung der Wohnungen gut gelöst. Ein großer Teil der Wohnungen ist sehr gut besonnt, ein weiterer großer Anteil ist ausreichend besonnt. Der Anteil von ungenügend besonnten Wohnungen ist klein.
- Die Erschließungsform und die Grundriss-Typologie der Wohnungen werden einen wichtigen Einfluss auf die Besonnung der Wohnungen haben. Durchwohnen ist zu bevorzugen. Einseitig belichtete Wohnungen sollten bevorzugt an günstigen Fassaden platziert werden. Bei nach Norden ausgerichteten Blockrand-Eckgebäuden sollten Erschließung und Wohnungsgrundrisse unter Beachtung einer möglichst günstigen Besonnung geplant werden.
- Der Quartiersplatz erhält im Winter nachmittags eine gute Besonnung. Im Sommer bietet die ehemalige Panzerhalle Schatten, der durch die Pflanzung

von entsprechenden Bäumen oder architektonischer Elemente ergänzt werden sollte.

- Zur Verbesserung des sommerlichen Klimas im Quartier ist ein großer Baumbestand wünschenswert. Bei der Pflanzung neuer Bäume sollten die genannten Empfehlungen berücksichtigt werden.

Empfehlungen:

- Das gute A/V-Verhältnis darf in der weiteren Ausgestaltung der Gebäude nicht wesentlich durch übermäßige Auskragungen, zu viel eingezogene Balkone (Loggien) oder ähnliches verschlechtert werden. Bei starker Einschränkung der Besonnung sollte eine behutsame Optimierung durch Modifizierung der verschattenden Baukörper erfolgen.
- Insgesamt sollten bevorzugt 2-seitig belichtete Wohnungen geplant werden. Bei einseitig orientierten Wohnungen ist auf Orientierung der Fassade und auf die Verschattungssituation zu achten.
- Das sommerliche Klima im Quartier sollte durch den großzügigen Einsatz von Bepflanzung, Grünflächen und architektonischen Verschattungselementen, den sinnvollen Einsatz von Wasser (Brunnen, Wasserflächen...) sowie die Vermeidung von dunklen, stark absorbierenden Oberflächen verbessert werden.

Mögliche Energieträger zur Wärmeversorgung des Quartiers

- Das Quartier kann problemlos mit den leitungsgebundenen Energieträgern Strom, Gas und Fernwärme erschlossen werden.
- Nutzbare Abwärme aus industriellen Quellen, Rechenzentren o.ä. stehen in der näheren Umgebung nicht zur Verfügung.
- Das Gebiet eignet sich zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie durch Erdsonden. Möglich sind allerdings Schwierigkeiten im Zusammenhang mit eventuellen Karst-Hohlräumen.
- Für eine dezentrale Wärmeversorgung durch Wärmepumpen wäre bei Verlegung von geeigneten Abwassersammlern auch die Abwärme aus den Siedlungs-Abwässern als Wärmequelle möglich.
- Die Nutzung von Umgebungsluft zur Wärmeversorgung über Wärmepumpen ist zwar möglich, aus energetischen und Schallschutz-Erwägungen sind Luft/Wasser-Wärmepumpen allerdings nur als schlechtere Alternativen zu Erdwärme- oder Abwasser-Wärmepumpen anzusehen und sollten vor allem

in dichten Innenstadtbereichen nicht in größerem Umfang zum Einsatz kommen.

- Um die mit der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen verbundenen Belastungen in Hinblick auf Emissionen, Verkehrsaufkommen und knappen Raumressourcen im innerstädtischen Bereich zu minimieren, sollte auf eine holzbasierte Wärmeversorgung im Quartier selbst verzichtet werden.
- Die Solarstrahlung in Ulm ist für deutsche Verhältnisse relativ hoch und durch die Lage über dem Blau- bzw. Donautal eignet sich das Quartier besonders gut für Solarenergienutzung.

Empfehlungen

- Angesichts der guten ökologischen Kennwerte der Fernwärme Ulm sowie zur Vermeidung von lokalen Emissionen durch dezentrale Wärmeversorgungssysteme wird der Anschluss des Quartiers an das Fernwärmenetz der FUG empfohlen.
- Bei einer Wärmeversorgung des Quartiers über Fernwärme wird empfohlen, die verfügbaren Dachflächen vorrangig zur Stromerzeugung mit PV-Modulen und nicht für Solarthermie zu nutzen.
- Es ist vorgesehen, dass ein Baufeld nicht an die Fernwärme angeschlossen wird und Investoren dort experimentelle Wärmeversorgungskonzepte realisieren können. Das Baufeld sollte eher am Ende der Fernwärmetrasse liegen.

Gebäude-Energiestandards und Wärmeversorgungssysteme

Um einen bestimmten Gebäude-Energiestandard zu erreichen, muss zunächst die Gebäudehülle die entsprechende Anforderung an die Dämmqualität (maximale Werte für den Transmissionswärmeverlust H'_{T}) einhalten. Dann muss das Wärmeversorgungssystem in Verbindung mit der sonstigen Haustechnik einen ausreichenden Anteil an Wärmerückgewinnung oder regenerativer Energie nutzen, damit die Anforderungen an den Primärenergiebedarf eingehalten werden können. Anhand von drei Mustergebäuden, die exemplarisch im Baugebiet vorgesehene Gebäudetypen darstellen wurde untersucht, welche Wärmeversorgungssysteme die oben genannte Forderung erfüllen und welche Kompensationen bei Gebäudehülle oder Haustechnik bei anderen Systemen erforderlich sind, um die unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards einzuhalten.

Ergebnisse:

- Allgemein reicht bei einer Erdgas-Heizung eine thermische Solaranlage nicht mehr aus, um den Mindeststandard der EnEV einzuhalten. Bei allen drei Mustergebäuden muss zusätzlich die Dämmung etwa auf Effizienzhaus-55-Standard verbessert und eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung installiert werden (Var. EH55-WRG-SOL).
- Mit elektrischen Sole/Wasser-Wärmepumpen oder Holzpellet-Kesseln kann jeder Gebäude-Energiestandard ohne Zusatzmaßnahmen eingehalten werden, solange die Gebäudehülle die dem Standard entsprechende Qualität hat.
- Eine Fernwärme-Versorgung mit einem Primärenergiefaktor von 0,5 oder kleiner (wie dies bei der Fernwärme Ulm der Fall ist) ermöglicht ebenfalls kostengünstiges Bauen, da dann für alle Energiestandards entlang der Anforderung an die Gebäudehülle und ohne zusätzliche technische Kompensationsmaßnahmen wie Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder thermische Solaranlagen gebaut werden kann.
- Der Passivhaus-Standard wird bei allen 3 Mustergebäuden mit einer Gebäudehülle in etwa entsprechend KfW-Effizienzhaus-40 und einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht (EH40-WRG).
- Bei den Mustergebäuden wurde untersucht, ob ausreichend Dachflächen zur Verfügung stehen um über PV-Anlagen den nach KfW-Effizienzhaus-40-Plus-Standard geforderten PV-Solarertrag erzeugen zu können. Dies ist nur bei den Punkthäusern am westlichen Rand des Quartiers denkbar, allerdings nur unter günstigsten Randbedingungen. Bei den Gebäuden der Blockrandbebauung stehen keine ausreichenden Dachflächen zur Verfügung.

Energiebedarfsprognose

Anhand berechneter Energiekennwerte (Wärmebedarf je m² Wohnfläche), der Flächenbilanz des städtebaulichen Rahmenplans und den Annahmen zur beheizten Wohnfläche je Gebäudetyp wurde der Wärmebedarf für das gesamte Baugebiet berechnet. **Der Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser reicht von 5.076 MWh/a beim Passivhaus-Standard bis 8.275 MWh/a für den EnEV-Standard.** Er variiert entsprechend den Unterschieden zwischen den Gebäude-Energiestandards bei der Raumheizwärme, da der Warmwasserbedarf unabhängig vom Energiestandard ist. Werden alle Gebäude nach dem EnEV-Standard gebaut, wird etwa 60% mehr Wärme benötigt als beim Passivhaus-Standard. **Die hohe Bebauungsdichte ermöglicht jedoch auch bei flächendeckender Realisierung des**

Passivhaus-Standards einen sinnvollen und wirtschaftlichen Betrieb einer Fernwärmeversorgung.

Zusätzlich zum Wärmebedarf wurde der Strombedarf im Quartier für Hilfsstrom, Lüftung, Haushaltsstrom und andere Nutzeranwendungen abgeschätzt. Insgesamt ergab sich ein **prognostizierter Strombedarf für die Gebäude** von rund **2.635 MWh/a**. Darin nicht enthalten sind Strom für die Außen- und Straßenbeleuchtung, für Elektromobilität und die Hilfsenergie für ein eventuelles Wärmenetz im Areal.

Ökonomische und ökologische Beurteilung von Energiestandards und Wärmeversorgungssystemen aus Nutzersicht

Anhand von Mustergebäuden wurden verschiedene Kombinationen von Gebäude-Energiestandards mit Wärmeversorgungssystemen miteinander zu vergleichen. Aus Sicht des Investors, Bauherrn oder Nutzers stehen zudem verschiedene dezentrale, d.h. im Gebäude betriebene Wärmeversorgungsarten in Konkurrenz zum Anschluss an die Fernwärme. Diese Alternativen wurden aus Sicht des Investors und aus Sicht zukünftiger Nutzer vergleichbar bewertet. Dabei wurden folgende Indikatoren für die Bewertung der Varianten verwendet:

- Nutz- und Endenergiebedarf als Maß für den energetischen Aufwand;
- Primärenergiebedarf und Treibhausgas(THG)-Emissionen als Maß für die Umweltwirkungen;
- Investitionen als Maß für den wirtschaftlichen Ressourceneinsatz;
- Annuitätische Gesamtkosten als Maß für die Wirtschaftlichkeit.

Bewertung des Gebäude-Energiestandards

Erwartungsgemäß sinkt der **Nutzwärmebedarf** mit steigendem Gebäude-Energiestandard. Beim Passivhausstandard liegt er um 53% unter dem EnEV-Standard.

THG-Emissionen und Primärenergiebedarf sinken ebenfalls mit steigendem Gebäude-Energiestandard. Bei ökologisch hochwertiger Wärmeversorgung wie bei der Fernwärme Ulm sind dabei die absoluten Unterschiede zwischen den Energiestandards relativ gering. Durch den höheren Strombedarf für die Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung werden beim Passivhaus-Standard keine weiteren Reduzierungen beim Primärenergiebedarf und bei THG-Emissionen gegenüber einem Effizienzhaus 40 erreicht.

Erwartungsgemäß steigen die **Investitionen** bei baugleichen Gebäuden mit dem Energiestandard. Bei gleichen Versorgungssystemen liegen die **Mehrkosten** (ohne Förderung, brutto) gegenüber EnEV-Mindeststandard bei etwa 60 EUR/m²_{WF} für ein

KfW-Effizienzhaus-55, bei ca. 125 EUR/m²_{WF} für ein KfW-Effizienzhaus-40 und bei ca. 185 EUR/m²_{WF} für ein Passivhaus.

Wird die Förderung nicht berücksichtigt hat bei allen 3 Mustergebäuden der EnEV-Standard die geringsten **annuitätischen Gesamtkosten**. Bei den Effizienzhäusern 55 und 40 gleicht die derzeitige KfW-Förderung die Mehrkosten teilweise aus, so dass diese Standards bei Inanspruchnahme der Förderung gemessen an den annuitätischen Gesamtkosten wirtschaftlicher sind als der EnEV-Mindeststandard. Das Passivhaus ist durch eine Kombination von höheren Investitionen, höheren Wartungskosten und ähnlichen Energiekosten wie das KfW-Effizienzhaus-40 deutlich unwirtschaftlicher.

Es kann angenommen werden, dass es für den KfW-Effizienzhaus-40-Standard noch einige Jahre staatliche Förderung geben wird. Unter dieser Voraussetzung schneidet dieser Standard in der **Gesamtbetrachtung von Ökologie und Ökonomie** am besten ab.

Empfehlung zum Gebäude-Energiestandard

Unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien stellt der **KfW-Effizienzhaus-40-Standard** im Geschosswohnungsbau derzeit ein Optimum für das Baugebiet dar.

Es wird empfohlen, diesen Standard für das Quartier vorzuschreiben.

Bewertung der Wärmeversorgungssysteme

Eine dezentrale Wärmeversorgung der Gebäude mit **Gas-Brennwertkessel** ist nur möglich, wenn erhebliche Mehrinvestitionen in Gebäudehülle und Gebäudetechnik getätigt werden. Trotzdem hat diese Lösung die höchsten THG-Emissionen und den höchsten Primärenergiebedarf der untersuchten Varianten. Sie stellt keine zukunftsfähige Lösung dar.

Unter ökologischen Gesichtspunkten schneidet der Anschluss an die **Fernwärme Ulm** ähnlich gut ab wie eine Wärmeversorgung über dezentrale Holzpelletkessel oder blockweise BHKW-Lösungen.

Eine dezentrale Wärmeversorgung auf Grundlage von **elektrischen Wärmepumpen** ist sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich ungünstiger. Sie erfordert durch die Erschließung von Wärmequellen die höchsten Investitionen. Der Anschluss an die Fernwärme ist ähnlich wie blockweise Heizzentralen mit BHKW-Lösungen mit den geringsten Investitionen verbunden.

Der Anschluss an die Fernwärme erreicht bei fast allen Energiestandards die geringsten annuitätischen Gesamtkosten. Nur beim Passivhaus-Standard kann eine blockweise Versorgung über BHKW günstiger sein.

Dezentrale **Holzpelletkessel** erreichen eine ähnlich gute Wirtschaftlichkeit wie die Fernwärme. Die höheren Investitionen für den Pelletkessel werden durch günstigere Energiepreise für Pellet ausgeglichen. Bei einer dezentralen Wärmeerzeugung mit Holz sind weitere ökologische Gesichtspunkte zu beachten:

- Restholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung ist eine begrenzte Ressource, die nur einen Teil unseres Wärmebedarfs decken kann. Es sollte deshalb bevorzugt unter günstigsten Bedingungen und in KWK-Anlagen eingesetzt werden.
- Holzheizungen, insbesondere bei kleinen Anlagen, sind nicht emissionsfrei (Feinstaubproblematik). Holz sollte bevorzugt in größeren Anlagen mit hochwertiger Filtertechnik verbrannt werden.
- Die Anlieferung von Holzpellet im innerstädtischen Bereich erhöht die dort schon vorhandene Belastung durch Verkehr, Lärm und Schadstoffe.
- Es ist fraglich ob die Belegung von teurem und wertvollem Raum im innerstädtischen Bereich für die erforderliche Brennstofflagerung unter städtebaulichen Gesichtspunkten erwünscht ist

Empfehlungen zur Wärmeversorgung des Quartiers

Ein Anschluss an die Fernwärme Ulm führt zu geringen Umweltauswirkungen, ist hinsichtlich der Investitionen besonders günstig und auch aus Nutzersicht sind die annuitätischen Vollkosten wirtschaftlich gleichwertig oder günstiger als andere Systeme.

Eine dezentrale, holzbasierte Wärmeversorgung, die zu vergleichbar guten ökologischen und wirtschaftlichen Ergebnissen führen würde, wird wegen den o.g. zusätzlichen Gesichtspunkten nicht empfohlen.

Es wird empfohlen, das Quartier an die Fernwärme Ulm anzuschließen und Maßnahmen zu treffen, die zu einem hohen Anschlussgrad an die Fernwärme führen.

Davon unberührt bleibt das Vorhaben ein Baublock als Experimentierfeld für innovative oder experimentelle Wärmeversorgungskonzepte zur Verfügung zu stellen. Es wird empfohlen durch geeignete Vereinbarungen in den Verträgen sicherzustellen, dass die Gebäude in diesem Baublock spezifisch nicht mehr Primärenergie benötigen oder Treibhausgase emittieren als die anderen Gebäude im Quartier.

Energetische Gesamtbilanz

Mit Effizienzhaus-40-Standard, Fernwärmeversorgung und PV-Anlagen auf den verfügbaren Dachflächen kann ein spezifischer Primärenergiebedarf von 51 kWh/(m² a) und spezifische Treibhausgas-Emissionen von 15 kg/(m² a) bezogen auf die beheizte Nutz-/Wohnfläche im Quartier erreicht werden. Gegenüber einer Bauweise nach EnEV-Standard mit Erdgas basierter Wärmeversorgung und solarer Warmwasserbereitung entspricht dies einer jährlichen Einsparung von rund 7.200 MWh Primärenergie und 1.700 Tonnen CO₂-Äquivalenten. Mit einem Gebäude-Energiestandard nach KfW-Effizienzhaus-55 liegen die Werte mit 53 kWh/(m² a) und 16 kg/(m² a) nur geringfügig über denen des Effizienzhaus-40-Standards.

Umsetzungsvorschläge

Für die Umsetzung der Empfehlungen aus dem Energiekonzept in städtebauliche oder privatrechtliche Verträge werden die Textbausteine vorgeschlagen (siehe Abschnitt 9).

2 Aufgabenstellung

Auf dem Gelände der ehemaligen Hindenburgkaserne im Stadtteil Ulm-Eselsberg soll das neue Wohnquartier „Am Weinberg“ mit teilweiser Mischnutzung entstehen. Das im städtebaulichen Rahmenplan ausgewiesene Baugebiet hat eine Größe von ca. 8,8 ha. Es sollen etwa 960 Wohnungen mit einer Bruttogeschossfläche (BGF) von etwa 100.000 m² sowie Gewerbeflächen mit etwa 11.000 m² BGF entstehen. Am östlichen Rand werden 3 ehemalige Mannschaftsgebäude, die inzwischen saniert und bewohnt sind in das Gebiet einbezogen.

Das vorliegende Energiekonzept soll den vorliegenden städtebaulichen Rahmenplan auf mögliche energetische Optimierungen hin analysieren und untersuchen, mit welchem Wärmeversorgungssystem das Quartier am besten versorgt werden kann und welcher Gebäude-Energiestandard unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll ist. Anhand möglicher Varianten, insbesondere im Vergleich von zentralen zu dezentralen Wärmeversorgungssystemen, sollen unter der Berücksichtigung der zukünftigen gesetzlichen Anforderungen Kriterien wie Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung, Investitionen und Kosten für den Nutzer untersucht werden.

3 Beschreibung des Quartiers Am Weinberg

Das Quartier befindet sich auf dem Gelände der ehemaligen Hindenburg-Kaserne auf dem Eselsberg, nordwestlich der Ulmer Innenstadt. Es wird vom Mähringer Weg im Osten und dem Weinbergweg im Norden begrenzt und weist nur geringe Höhendifferenzen auf. Im Süden befindet sich das denkmalgeschützte Fort Unterer Eselsberg mitsamt den dazugehörigen Mauern und Freiflächen. Im Westen befindet sich eine öffentliche Grünfläche, die als Naherholungsbereich für die umliegenden Wohngebiete dient.



Abbildung 1: Lage des Quartiers im Ulmer Stadtgebiet (Quelle: Google 2017)

Das Gebiet umfasst eine Fläche von 8,8 ha. Abgesehen von drei ehemaligen Mannschaftsgebäuden entlang des Mähringer Wegs werden die vorhandenen Gebäude abgerissen. Die drei Bestandsgebäude sind saniert und bewohnt.

2015 wurde ein städtebaulicher Wettbewerb ausgeschrieben, den die Arbeitsgemeinschaft Einsiedel Architekten, Stuttgart und Coqui Malachoswka Landschaftsarchitekten, Berlin gewannen. Auf Ihrem Entwurf basiert der städtebauliche Rahmenplan, der im Juli 2017 aufgestellt wurde und der Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist. 2018 soll mit der Erschließung begonnen werden, 2019 mit dem Bau der ersten Gebäude. Die Bebauung soll mit 4 bis 5 geschossigen Mehrfamilienhäusern in Form von Blockrand- sowie Zeilenbebauung und Punkthäusern erfolgen (siehe Abbildung 3).



Abbildung 2: Luftbild des Quartiers mit Bestandsgebäuden (Quelle: Google 2017)



Abbildung 3: Städtebaulicher Rahmenplan vom Juni 2017

4 Energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs

4.1 Planungsprinzipien

4.1.1 Kompaktheit

Kennzeichnend für die Kompaktheit von Gebäuden ist das **Außenflächen-Volumen-Verhältnis** (A/V-Verhältnis). Aufgrund des Bezugs der Energieeinsparverordnung (EnEV) auf ein Referenzgebäude mit derselben Geometrie erfordert der EnEV-Nachweis keine Optimierung des A/V-Verhältnisses. Gleichwohl benötigen gleich große Gebäude mit kleinerer Oberfläche bei gleicher Hüllqualität weniger Heizwärme als Gebäude mit ungünstigerem A/V-Verhältnis. Gute Kompaktheit wirkt sich nicht nur positiv auf den Energiebedarf, sondern auch kostensenkend auf Bau- und Unterhaltskosten aus.

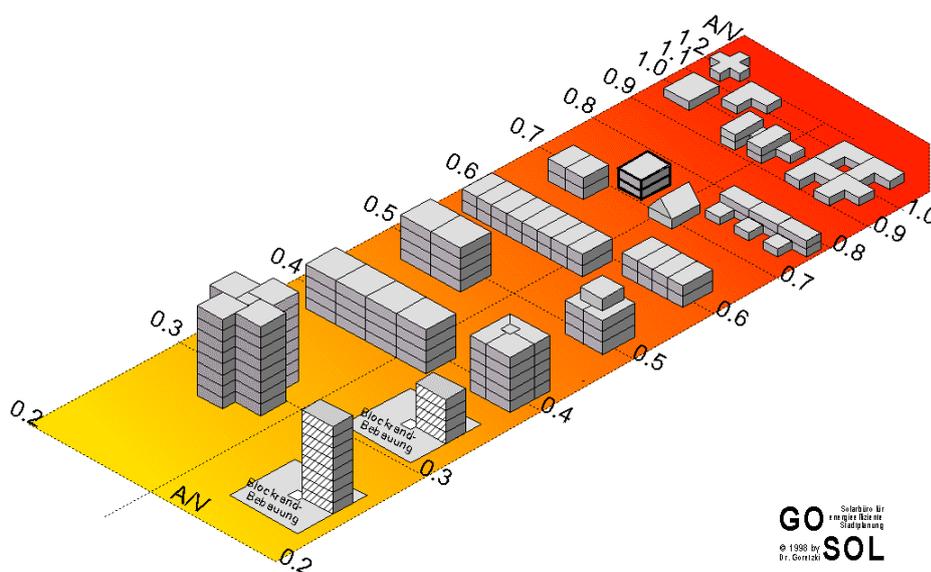


Abbildung 4: A/V Verhältnis, Beispiele. Quelle: Institut für Solare Stadtplanung Dr.-Ing. Peter Goretzki

4.1.2 Passive Solarnutzung während Heizperiode

Bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs wird ein Teil der Wärmeverluste durch Solareinstrahlung über die Fenster kompensiert. Die Einstrahlungsgewinne hängen

im Wesentlichen von der Ausrichtung der Hauptfassade¹, der Verschattungssituation und der Fensterfläche und -qualität ab.

Im solar orientierten Städtebau ist daher eine **klare Präferenz für weitgehend südorientierte Gebäude** vorhanden, um möglichst allen Wohnungen die optimale Nutzung der passiven Solargewinne zu ermöglichen. Je höher der energetische Standard eines Gebäudes (d.h. je größer der Einfluss der solaren Gewinne auf die Energiebilanz), umso stärker ist der Einfluss der Orientierung. Für Passivhäuser ist vor allem bei Einfamilienhäusern die optimale Orientierung unverzichtbar, mit zunehmender Größe und Kompaktheit des Baukörpers nimmt die Bedeutung ab.

Eine **Minimierung der gegenseitigen Verschattung** der Gebäude ist sinnvoll, vollständige Verschattungsfreiheit ist vor allem bei dichten Bebauungsstrukturen nicht möglich.

Laubabwerfende Bäume mit einer kurzen Belaubungszeit sind gut geeignet, die winterliche Verschattung gering zu halten. In der Übergangszeit (März / September) lässt sich durch solare Gewinne die Heizperiode massiv verkürzen, was die Jahresbilanz des Gebäudes entscheidend verbessert. Hocheffizienzgebäude haben in der Regel eine auf ca. drei bis vier Monate verkürzte Heizperiode.

Beim solaren Städtebau sollte die Hauptfassade von Wohngebäuden nach Süden ($\pm 30^\circ$) orientiert und der mittlere Verschattungsfaktor der Fenster (Eigenverschattung und Umgebungsverschattung) während des Winterhalbjahrs kleiner als 25% sein.

4.1.3 Besonnungsdauer im Winter

Vor allem für Wohnräume ist ein Mindestmaß an Besonnung ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Die [DIN 5034-1:2011] regelt die Mindestanforderungen an die Besonnungsdauer im Winter. Diese ist als wohnhygienische Mindestanforderung zu sehen und stellt somit eine Minimal-Anforderung dar. Eine Wohnung gilt nach der Norm als ausreichend besonnt, wenn die Besonnungsdauer zumindest eines Aufenthaltsraums der Wohnung **am 17. Januar mindestens eine Stunde** beträgt.

Um im Geschosswohnungsbau auch im Kernwinter eine Besonnung der Erdgeschosse zu erreichen, wären enorme Gebäudeabstände nötig. Diese sind in der Praxis kaum zu erreichen und stehen auch im Widerspruch zum flächensparenden, verdichteten Bauen. Bei einer Blockrandbebauung gibt es zwangsläufig im Blockinnenbereich an den Gebäudeecken unvermeidbare Verschattungspunkte.

¹ Als Hauptfassade wird hier die Fassade mit dem höchsten Fensterflächenanteil bezeichnet.

4.1.4 Grundrisstypen für Wohnungen

Passive Solarnutzung und Besonnungsdauer von Wohnungen im Geschosswohnungsbau sind immer auch im Zusammenhang mit den Wohnungsgrundrissen und -orientierungen zu sehen. Diese sind im städtebaulichen Entwurf noch nicht bekannt und können deshalb im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden. Bei der weiteren Ausgestaltung und Planung der einzelnen Gebäude sollten jedoch folgende Prinzipien berücksichtigt werden:

- Zwei- oder dreiseitig belichtete Wohnungen haben i.d.R. eine bessere Besonnung und mehr Möglichkeiten zur passiven Solarnutzung als einseitig orientierte Wohnungen.
- Insbesondere Durchwohnen (Wohnungen mit Fenstern an zwei gegenüberliegenden Fassaden) haben Vorteile beim Schutz vor Überhitzung im Sommer. Sie haben i.d.R. kühlere Räume auf der nicht sonnenbeschienenen Fassadenseite und können nachts durch effektives Querlüften besser gekühlt werden.
- Einseitig orientierte Wohnungen sollten nicht nach Norden orientiert sein oder an stark verschatteten Fassaden liegen.

4.1.5 Sommerlicher Außenkomfort

In Zeiten des Klimawandels und steigenden Temperaturen gewinnt die Berücksichtigung des sommerlichen Außenklimas in Siedlungen und Stadtquartieren zunehmend an Bedeutung. Bereits in der Stadtplanung sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, die das sommerliche Außenklima lokal positiv beeinflussen. Hierzu gehören u.a.:

- großzügiger Einsatz von Bepflanzung und Grünflächen im Quartier;
- Dachbegrünungen vorsehen oder fördern (kein Gegensatz zu Photovoltaik!);
- vor allem auf Plätzen Verschattungszonen durch Bepflanzung oder architektonische Elemente schaffen;
- sinnvollen Einsatz von Wasser planen (Brunnen, Teiche, Verdunstungsbereiche durch Wassersprüher oder befeuchtete Oberflächen...);
- dunkle und stark absorbierende Oberflächen im Außenbereich vermeiden;
- die geplante Bebauung anhand der sommerlichen Windrichtungen auf eine gute Luftdurchströmung im Sommer prüfen.

4.2 Qualitative Analyse des städtebaulichen Rahmenplans

Basis der Betrachtungen ist der städtebauliche Rahmenplan vom 18.07.2017.

4.2.1 Kompaktheit der Baukörper

Geplant ist überwiegend eine vier- bis fünfgeschossige Blockrand- bzw. Zeilenbebauung. Dadurch ergeben sich kompakte Baukörper mit geringen A/V-Verhältnissen (0,34 bis 0,40). Die freistehenden Punkthäuser im Westen sind ausreichend groß, so dass auch sie ein gutes A/V-Verhältnis haben (0,40 bis 0,42). Nur die kleinen, 2-geschossigen quadratischen Gebäude vor den Bestandsgebäuden haben ein hohes A/V-Verhältnis (ca. 0,85). Da es sich nicht um Wohngebäude handelt und die Flächen gering sind, fallen sie im Rahmen des Gesamtgebiets kaum ins Gewicht.

Mit wenigen Ausnahmen haben die Baukörper im städtebaulichen Rahmenplan eine sehr gute Gebäude-Kompaktheit mit niedrigen A/V-Verhältnissen. Dies begünstigt niedrige Heizwärmeverbräuche und niedrige Baukosten.

4.2.2 Ausrichtung der Baukörper

Die vier Hauptorientierungen der Gebäudefassaden ergeben sich aus den 2 Hauptachsen des Quartiers, die von den beiden begrenzenden Straßen vorgegeben sind und die von Ost-Nordost nach West-Südwest und von Nord-Nordwest nach Süd-Südost verlaufen. Die beiden südlichen Schenkel der L-förmigen Baukörper am Südrand sind aus dieser Orientierung leicht nach Süden gedreht, so dass sie fast genau nach Süden ausgerichtet sind.

- Selbst unverschattete Nord-Nordwest-Fassaden bekommen von Mitte Oktober bis Ende Februar keine direkte Sonnenstrahlung. Sie sind ungeeignet für einseitig orientierte Wohnungen.
- Unverschattete Ost-Nordost-Fassaden bekommen vom 21. November bis zum 21. Januar nur morgens

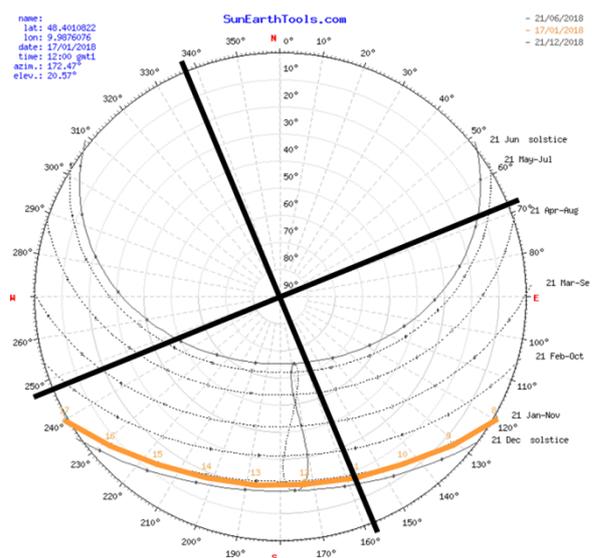


Abbildung 5: Sonnenstands-Diagramm für Ulm mit den 4 Haupt-Fassadenausrichtungen. Die orangene Linie stellt den Sonnenverlauf am 17. Januar dar.

während zwei bis drei Stunden direkte Sonne aus spitzem Winkel. Dies ist nachteilig für einseitig orientierte Wohnungen.

- Die West-Südwest-Fassaden bekommen ab etwa 12 Uhr direktes Sonnenlicht und sind – sofern keine Verschattung durch Nachbargebäude vorliegt – gut besonnt.
- Unverschattete Süd-Südost-Fassaden bekommen im Winter ganztägig direkte Sonne.

4.2.3 Verschattungsstudie und Bebauungsstruktur

Anhand des städtebaulichen Entwurfs wurde ein 3D-Modell der Gebäude erstellt und Verschattungsstudien durchgeführt. Die Einflüsse von Gebäudeorientierung und -höhe sowie von Staffelgeschossen auf die Besonnung der Gebäude wurden qualitativ geprüft und Vorschläge zur Optimierung der Bebauungsstruktur gemacht, z.B. durch Änderung der Gebäudestellungen oder Vergrößerung von Abständen.



Abbildung 6: 3D-Modell des Baugebiets mit Blick aus Süden

Die geplante Bebauung entspricht einer dichten, innerstädtischen Bebauung, bei der es zwangsweise zu gegenseitigen Verschattungen unter den Gebäuden kommt. Ziel der Verschattungsstudie ist es, trotz hoher Baudichte eine gute Besonnung möglichst vieler Wohnungen zu erreichen.

Besonnung und passiv-solare Energiegewinne

Die Besonnung der Wohnungen wurde anhand von 3 Baufeldern im Detail untersucht. Dabei wurde geprüft, ob am 17. Januar alle Geschosse der Gebäude mindestens für eine Stunde direktes Sonnenlicht erhalten. Für einige Baukörper wurden Optimierungsvorschläge gemacht, die allerdings alle mit einer Reduzierung der Geschossfläche „erkaufte“ werden.

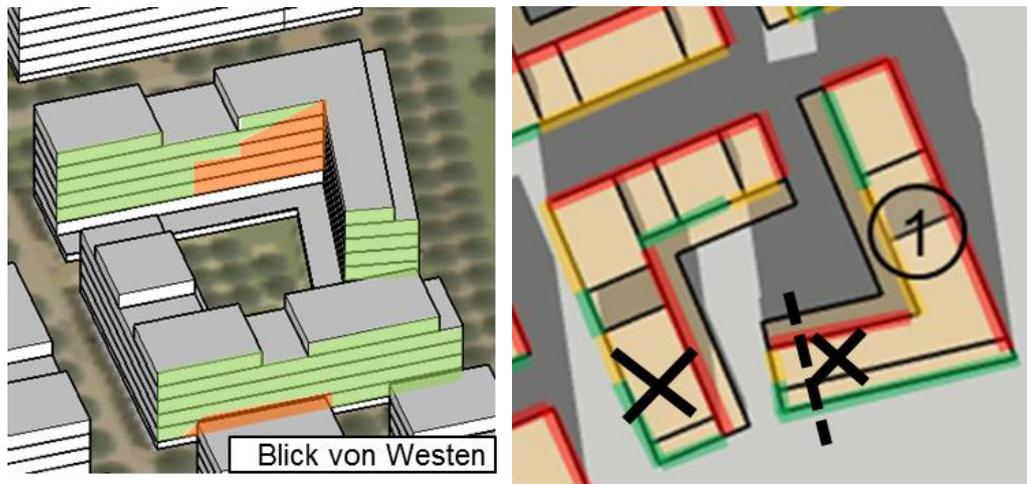


Abbildung 7: Beispiel für Optimierung der Gebäudeform im südwestlichen Baufeld durch Reduzierung des Staffelgeschosses bzw. Verkürzung des Südflügels. Bereiche mit weniger als 1 h Besonnungsdauer am 17.1. sind orange markiert.

Bei einseitig orientierten Wohnungen sollte darauf geachtet werden, dass sie nicht an ungeeigneten Fassaden oder Fassadenbereiche liegen. Eventuell muss mit entsprechenden Grundrisstypen reagiert werden.



Abbildung 8: Eignung der Fassaden für einseitig belichtete Wohnungen

Optimierung der Besonnung durch Anpassung der Staffelgeschosse

Ein spezielles Problem bei der Besonnung stellen in dichter innenstädtischer Bebauung beidseitig bebaute Straßen mit Ost-West-Orientierung dar. Je nach Abstand und Höhe der südlichen Bebauung werden die unteren Geschosse der nördlichen Gebäude nicht belichtet.

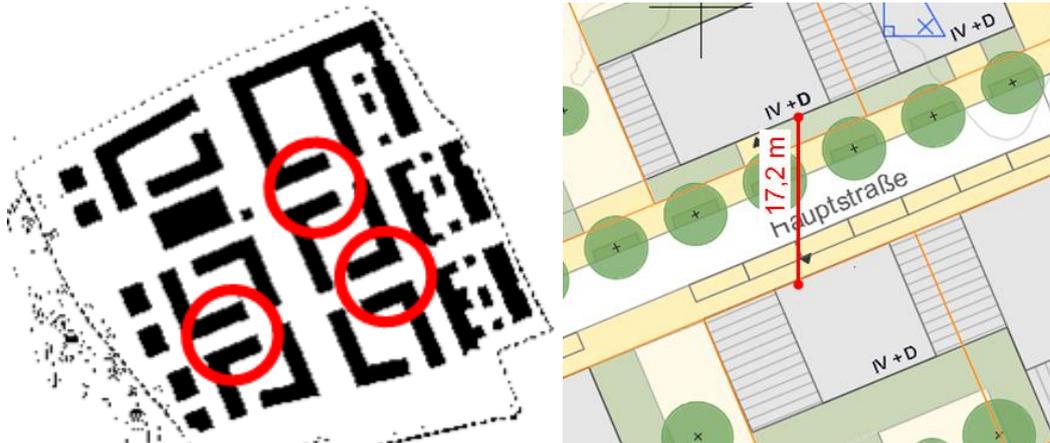


Abbildung 9: Ost-West-orientierte Straßenabschnitte im Quartier mit beidseitig geschlossener Bebauung.

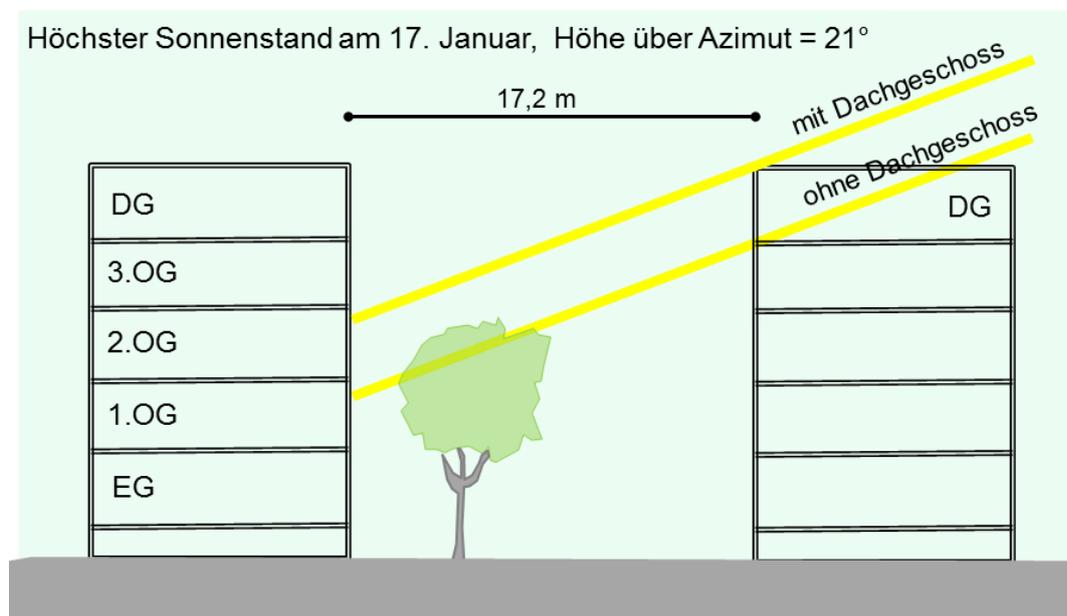


Abbildung 10: Verschattung der Südfassade durch südlich stehendes Gebäude mit und ohne Staffelgeschoss

Im vorliegenden städtebaulichen Entwurf führen die Gebäudehöhe und der Gebäudeabstand am 17. Januar zu einer Verschattung der 3 untersten Geschosse des nördlichen Gebäudes. Mögliche Lösungsansätze sind:

- Den Abstand zwischen den Gebäuden vergrößern.
Um des EG im vorliegenden Fall verschattungsfrei zu halten, müsste der Gebäudeabstand in etwa verdoppelt werden. Dies ist im vorliegenden städtebaulichen Entwurf mit der gewünschten baulichen Dichte nicht möglich.
- Das Staffelgeschoss des südlichen Gebäudes verschieben:
Durch die geringe Sonnenstandshöhe (21°) ist die Wirkung allerdings begrenzt.
- Die Gebäude auf der Südseite der Straße um ein Geschoss reduzieren.
Dies führt zu deutlichem Wohnflächenverlust und geringer Bebauungsdichte. Gleichzeitig wird nur eins von drei Geschossen zusätzlich verschattungsfrei.
- Mit Nutzungstypologie reagieren und im EG andere Nutzungen als Wohnen vorsehen.
Dies ist im vorliegenden Fall nur in begrenztem Umfang möglich.

Anhand von zwei Beispielen wurde das Optimierungspotential mit einer Besonnungsstudie untersucht. In beiden Fällen wird deutlich, dass die Situation durch eine Änderung der Staffelgeschosse im südlich liegenden Gebäude nicht spürbar verbessert werden kann. Die Besonnung verbessert sich nur geringfügig und die anderweitigen Nachteile überwiegen. Die stellenweise Durchbrechung des Staffelgeschosses von Süd nach Nord ist bereits eine gute Lösung.

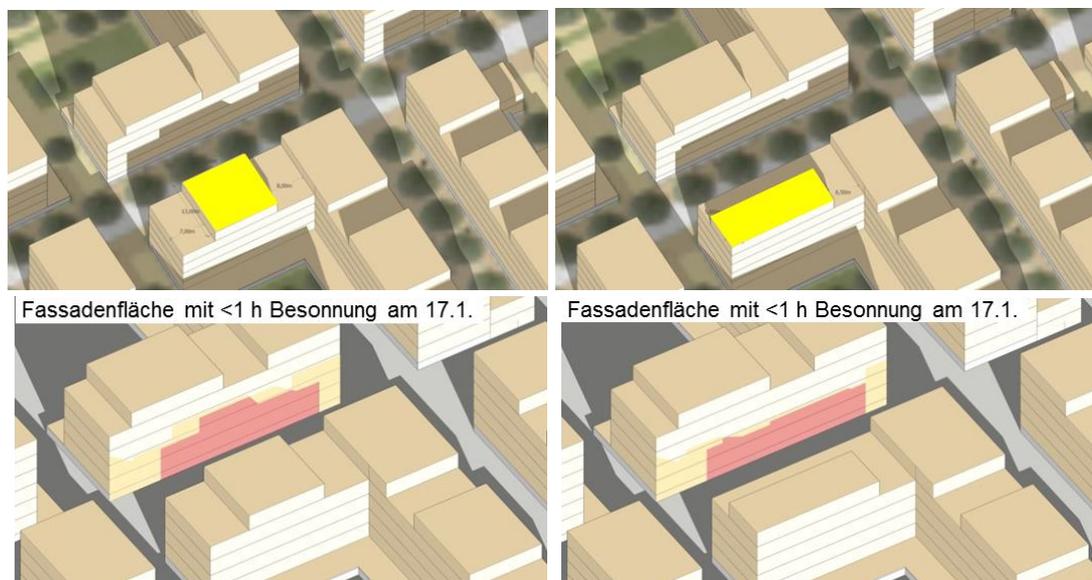


Abbildung 11: Aktueller Entwurf und Variante des Staffelgeschosses mit Auswirkung auf die Verschattungssituation

Potential für passiv-solare Wärmegewinne

Bei der Beurteilung des Potenzials für passiv-solare Wärmegewinne wurde neben der Orientierung der Gebäude auch die Verschattungssituation am 17. Januar um

12 Uhr berücksichtigt. Aus diesen Kriterien wurde die Eignung der Gebäude für den Passivhausstandard untersucht. Folgende Problembereiche wurden identifiziert:

- Die nach Ost-Nordost und Nord-Nordwest orientierten Fassaden haben generell ein minimales Potential an solaren Gewinnen.
- Die nach West-Südwest orientierten Fassaden zu Blockinnenhöfen sind im Eck durch südliche Gebäudeflügel verschattet.
- Die Süd-Südost orientierten Fassaden werden in den unteren Geschossen durch südliche Gebäude verschattet.

Die Untersuchung zeigt, dass sich mehr als die Hälfte der Baukörper gut für den Passivhausstandard eignet. Nur wenige Baukörper eignen sich aufgrund ihrer Orientierung oder Verschattungssituation nur bedingt für Passivhäuser. In Abbildung 12 ist die Eignung für den Passivhaus-Standard nach Gebäude markiert. Zum Teil eignen sich nur Teile eines Baukörpers besonders gut – in der Regel aber wird ein Baukörper natürlich im selben Energiestandard ausgeführt.

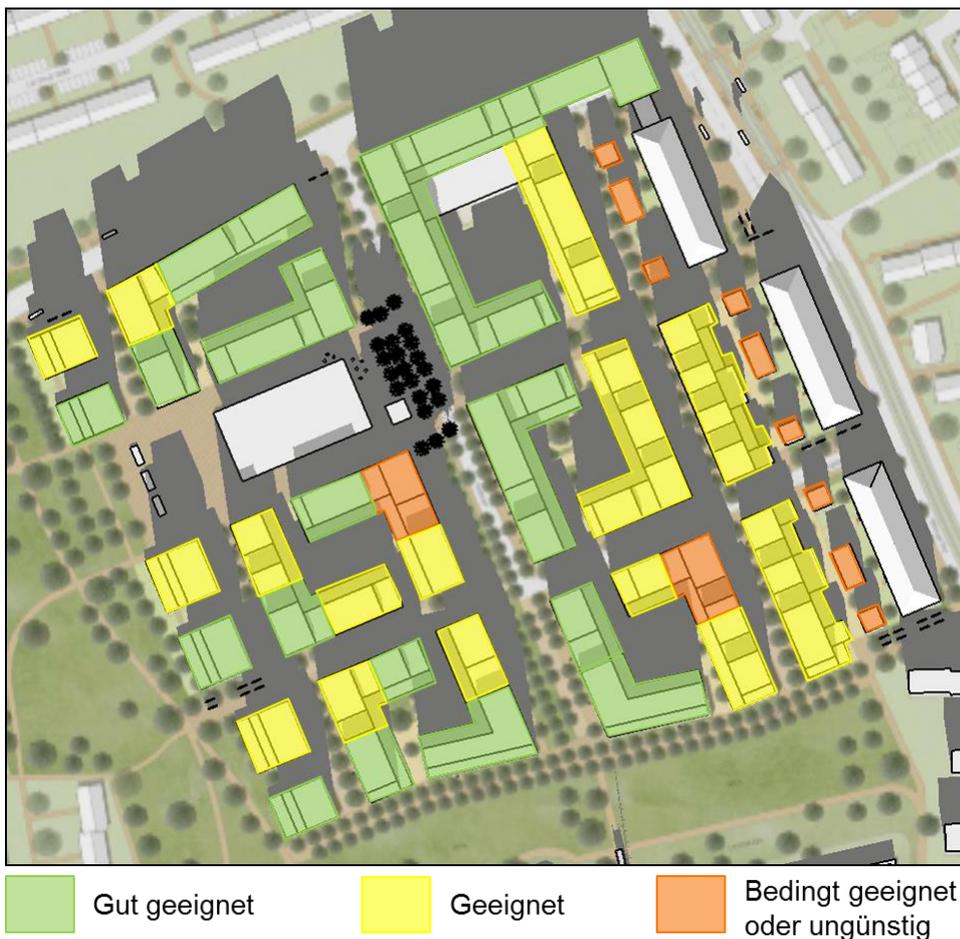


Abbildung 12: Eignung der Gebäude für den Passivhaus-Standard

Verschattung durch Bäume während der Heizperiode

Verschattung der Gebäude durch Bäume entlang der Straßen oder auf den zentralen Grünflächen ist im Winter unkritisch, insbesondere wenn folgende Punkte beachtet werden:

- wenn möglich **Laubbäume** mit frühem Laubabwurf pflanzen;
- die Baumhöhe in Hauptstraßen auf mittelgroße Bäume (10 – 15 m) und in den Nebenstraßen auf kleine Bäume (<10 m) beschränken;
- auf genügend Abstand zwischen den Bäumen achten.

4.2.4 Zusammenfassung und Empfehlungen

- Die Bebauungsdichte und -struktur des Quartiers entspricht innerstädtischem Wohnen. Die Baukörper sind sehr kompakt und haben ein sehr gutes A/V-Verhältnis (0,30 – 0,40).
- Durch ein geringes A/V-Verhältnis wird die Realisierung von Passivhäusern begünstigt. Alle untersuchten Gebäudetypen erreichen den Passivhaus-Standard mit einer Gebäudehülle entsprechend dem KfW-Standard EH-40. Voraussetzung ist eine sinnvolle Orientierung und geringe Verschattung durch Nachbargebäude. Dies gilt für die Mehrzahl der Gebäude.
- Die Besonnung der Wohnungen im Winter (nach DIN 5034-1) ist in den inneren Eckbereichen von L-Bauten und bei Gebäudeabständen unter 20 m auch in den ersten beiden Wohngeschossen teilweise eingeschränkt. Hier besteht punktuell Optimierungspotential. Die Optimierungen führen jedoch in der Regel zu Verlust von Wohnfläche.
- Angesichts der wünschenswerten Dichte des Quartiers ist die Besonnung der Wohnungen gut gelöst. Ein großer Teil der Wohnungen ist sehr gut besonnt, ein weiterer großer Anteil ist ausreichend besonnt. Der Anteil von ungenügend besonnten Wohnungen ist klein.
- Die Erschließungsform und die Grundriss-Typologie der Wohnungen werden einen wichtigen Einfluss auf die Besonnung der Wohnungen haben. Durchwohnen ist zu bevorzugen. Einseitig belichtete Wohnungen sollten bevorzugt an günstigen Fassaden platziert werden. Bei nach Norden ausgerichteten Blockrand-Eckgebäuden sollten Erschließung und Wohnungsgrundrisse unter Beachtung einer möglichst günstigen Besonnung geplant werden.
- Der Quartiersplatz erhält im Winter nachmittags eine gute Besonnung. Im Sommer bietet die ehemalige Panzerhalle Schatten, der durch die Pflanzung

von entsprechenden Bäumen oder architektonischer Elemente ergänzt werden sollte.

- Zur Verbesserung des sommerlichen Klimas im Quartier ist ein großer Baumbestand wünschenswert. Bei der Pflanzung neuer Bäume sollten die genannten Empfehlungen berücksichtigt werden.

Empfehlungen:

- Das gute A/V-Verhältnis darf in der weiteren Ausgestaltung der Gebäude nicht wesentlich durch übermäßige Auskragungen, zu viel eingezogene Balkone (Loggien) oder ähnliches verschlechtert werden. Bei starker Einschränkung der Besonnung sollte eine behutsame Optimierung durch Modifizierung der verschattenden Baukörper erfolgen.
- Insgesamt sollten bevorzugt 2-seitig belichtete Wohnungen geplant werden. Bei einseitig orientierten Wohnungen ist auf Orientierung der Fassade und auf die Verschattungssituation zu achten.
- Das sommerliche Klima im Quartier sollte durch den großzügigen Einsatz von Bepflanzung, Grünflächen und architektonischen Verschattungselementen, den sinnvollen Einsatz von Wasser (Brunnen, Wasserflächen...) sowie die Vermeidung von dunklen, stark absorbierenden Oberflächen verbessert werden.

5 Grundsätzliche Überlegungen zur Energie- und Wärmeversorgung und im Quartier

5.1 Leitungsgebundene Energieträger

5.1.1 Strom

Das Quartier wird mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt werden, Strom steht in ausreichender Leistung auch für eventuell elektrisch betriebene Wärmeerzeuger (z.B. Wärmepumpen) zur Verfügung.

5.1.2 Erdgas

Entsprechend der Netzauskunft der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm Netze GmbH liegen im Bereich des Quartiers folgende Erdgasleitungen:

- Weinbergweg: Erdgasleitung DN 150
- Mähringer Weg: Erdgasleitung DN 150



Abbildung 13: Lage der Gasleitung (Auszug aus Netzauskunft der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm Netze GmbH)

Die Gasleitung zum ehemaligen Heizwerk der Kaserne wird demontiert.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass ausreichend Gasleitungskapazitäten vorhanden sind, um eine gasbasierte Wärmeversorgung im Gebiet zu versorgen.

5.1.3 Fernwärme

Die Fernwärme Ulm GmbH (FUG) betreibt das Ulmer Fernwärmenetz. Das Gebiet Stifterweg südwestlich des Quartiers wird bereits mit Fernwärme versorgt. Es besteht also die Möglichkeit, das neue Quartier von Westen her mit Fernwärme zu erschließen. Die Fernwärmeversorgung des Stifterwegs erfolgt aus dem Rücklauf der bestehenden Versorgungsleitung zur Universität. Die Universität wird mit einer Hochtemperaturleitung versorgt, da dort hohe Temperaturen für Sterilisationszwecke erforderlich sind. Der Rücklauf dieser Versorgungsstrasse hat im Winter eine Temperatur von etwa 90°C, im Sommer ist sie etwas höher, da im Wesentlichen nur die Sterilisation im Betrieb ist. Das Quartier „Am Weinberg“ würde ebenfalls über diesen Rücklauf versorgt werden. Eine Nutzung von noch niedrigeren Rücklauftemperaturen (LowEx-Prinzip) ist auf Grund der Lage des Quartiers am Ende des Strangs nicht möglich.

Die Fernwärme der FUG hat einen zertifizierten Primärenergie-Faktor von 0,26 und einen zertifizierten spezifischen CO₂-Emissionsfaktor von 73 kg CO₂/MWh².

5.2 Abwärme und Umweltwärme

5.2.1 Abwärmenutzung

Als Abwärme kann vor allem Wärme aus Produktions- oder Kühlprozessen (z.B. Rechenzentren) genutzt werden, die nicht anderweitig verwendet werden kann. Nicht betrachtet wird hier die Abwärmenutzung innerhalb der geplanten Gebäude, z.B. in Form von Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen.

In der näheren Umgebung des Quartiers gibt es keine Betriebe oder andere Einrichtungen bei denen „Abfallwärme“ anfällt, die in nennenswertem Umfang im Baugebiet genutzt werden könnte.

5.2.2 Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie ist die Nutzung von Wärme, die in den obersten Schichten des Untergrunds (bis etwa 400 m Tiefe) enthalten ist. Diese Wärme

² Laut Bescheinigungen vom 12. Und 14.12.2016

kommt teilweise aus dem heißen Erdinneren (Erdwärme) zum Teil handelt es sich jedoch – vor allem im oberen Bereich – um gespeicherte Sonnenenergie. Bis in eine Tiefe von etwa 10 Metern schwankt die Erdreichtemperatur stark mit den Jahreszeiten um die jahresmittlere Außenlufttemperatur am Standort. Bis etwa 100 m Tiefe hat das Erdreich dann ziemlich konstant diese Temperatur bevor diese dann in größeren Tiefen ansteigt. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus kann oberflächennahe Geothermie i.d.R. nicht direkt für die Wärmeversorgung genutzt werden, sondern muss mit Hilfe von Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden.

Zur Erschließung der oberflächennahen Geothermie sind geeignete Wärmetauscher im Erdreich zu installieren. Diese können in Form von Erdwärmesonden, Energiepfählen, Bodenplatten oder erdberührten Wänden von Tiefgaragen, Spiralkollektoren (Erdwärmekörbe) oder Flachkollektoren realisiert werden.

Dabei ist zu prüfen, ob sich die Erdreichtemperatur langfristig allein durch Sonneneinstrahlung regeneriert oder ob Maßnahmen zur Regenerierung getroffen werden müssen. Die Planung und Begleitung durch ein geologisches Planungsbüro ist in allen Varianten unerlässlich.

Laut dem Informationssystem Oberflächennahe Geothermie des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB) liegt das untersuchte Gebiet außerhalb von Wasser- und Quellenschutzgebieten. Bohrungen für Erdwärmesonden können aus hydrologischer Sicht im untersuchten Gebiet durchgeführt werden. Es kann zu bohr- oder ausbautechnischen Schwierigkeiten und/oder Baugrundschäden auf Grund von möglichen Karst-Hohlräumen und/oder größerer Spalten im Untergrund kommen. Bei einer Bohrtiefe von 100 m liegt die prognostizierte kumulative Wärmeentzugsleistung bei etwa 6.200 W (1.800 h Betrieb pro Jahr).

5.2.3 Wärme aus Grundwasser

Grundwasserwärmenutzung stellt eine besondere Form der oberflächennahen Geothermie dar. Statt eines Erdwärmetauschers wird direkt Grundwasser über einen Brunnen aus dem Erdreich entnommen und der Wärmepumpe zugeführt, wo ihm über einen Wärmetauscher Wärme entzogen wird. Neben dem Förderbrunnen muss ein Schluckbrunnen eingerichtet werden, über den das Grundwasser wieder ins Erdreich eingebracht wird. Wirtschaftlich sinnvoll sind solche Anlagen gewöhnlich erst ab einer Mindestgröße (ca. 20 bis 25 kW Leistungsbedarf).

Zu beachten sind die wasserrechtlichen Genehmigungen, die Chemie des geförderten Wassers, die zur Verfügung stehenden Grundwasser-Quellstärken am Standort sowie eventuelle weitere Nutzer im Zu- oder Abstrom des Grundwassers. Auch hier ist die Planung und Begleitung durch ein geologisches Planungsbüro unerlässlich.

Aufgrund der Lage des Quartiers auf dem Eselsberg und der Beschaffenheit des Untergrunds gibt es keine geeigneten Grundwasserleiter, die sich für eine thermische Nutzung eignen.

5.2.4 Wärme aus Siedlungs-Abwässern

Bei der Nutzung von Abwasserwärme werden Abwasserkanäle und -sammler als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt. Dabei handelt es sich um eine Mischung von oberflächennaher Geothermie und Abwärmenutzung aus Abwasser. Die Anteile variieren je nach Wärmetauschersystem. Typisch sind Abwassertemperaturen von ca. 10°C bis 15°C. Zur Wärmeversorgung muss die Wärme mit Hilfe von Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden. Nicht betrachtet wird hier die Abwasserwärmenutzung innerhalb der geplanten Gebäude, z.B. in Form von Wärmetauschern in Duschwannen oder Abwasserleitungen.

Durch die Verlegung von Abwasserkanälen mit außenliegendem Wärmetauscher (siehe Abbildung 14) kann die Wärme des Abwassers genutzt werden, ohne dass der Abfluss behindert wird oder Wartungsarbeiten im Kanal anfallen. Nutzbar ist diese Wärmequelle in Verbindung mit einer Wärmepumpe sowohl in Einzelgebäuden als auch in Heizzentralen z.B. für einen ganzen Baublock falls ein entsprechend großer Abwasserkanal in räumlicher Nähe zur Heizzentrale liegt.

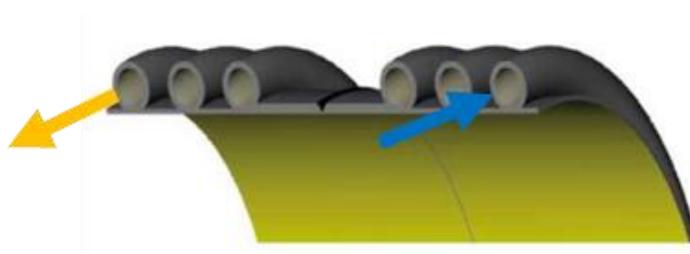


Abbildung 14: Abwasserkanals mit außenliegendem Wärmetauscher (Quelle: www.krah-pipes.com)

5.2.5 Umgebungsluft als Wärmequelle

Wärmepumpen können auch die Umgebungsluft als Wärmequelle nutzen. Es handelt sich dabei um sogenannte Luft/Wasser-Wärmepumpen. Für die Wärmeversorgung von Wohngebäuden, insbesondere wenn sie neben der Raumheizung auch die Warmwasserbereitung sicherstellen sollen, haben diese Wärmepumpen folgende Nachteile:

- Da Luft aufgrund der geringen Dichte nur einen geringen Energieinhalt hat, muss verhältnismäßig viel Luft über einen Wärmetauscher geführt werden, um die erforderlichen Wärmeleistungen zu erreichen. Da diese Wärmetauscher i.d.R. im

Freien aufgestellt werden, können die Schallemissionen der Ventilatoren vor allem in Wohngebieten zu Lärmbelastigungen führen.

- Die energetische Effizienz von Wärmepumpen hängt stark vom Temperaturniveau der Wärmequelle ab, je niedriger die Temperatur, umso niedriger die Effizienz. An kalten Wintertagen, wenn die Wärmepumpe am meisten Wärme liefern soll, arbeitet die Luft/Wasser-Wärmepumpe am ungünstigsten. Bei sehr kalten Außentemperaturen wird sie oftmals sogar abgeschaltet und es muss über einen elektrischen Heizstab geheizt werden. In der Praxis erreichen Luft/Wasser-Wärmepumpe deshalb oft nur Jahresarbeitszahlen³ von 3 und weniger während Wärmepumpen die Erdwärme oder Abwasser nutzen auf 4 und mehr kommen.



Abbildung 15: Außengerät einer Luft/ Wasser-Wärmepumpe (Quelle: swisstherm)

5.3 Biomasse

5.3.1 Rolle von biogenen Festbrennstoffen für die Wärmeversorgung von Gebäuden

2015 wurde der Wärmeverbrauch in Deutschland von 1.197 TWh/a zu etwa 9 % (rd. 106 TWh/a) durch den Einsatz biogenen Festbrennstoffen⁴ gedeckt [BMWE2016]. Davon entfielen etwa 62 TWh/a auf Haushalte.

Im ersten Quartal 2017 wurden 5,5 % der neu gebauten Wohngebäude mit Holz beheizt. Im Wohnungsbestand werden etwa 6,1 % der Gebäude mit Holz beheizt [AGEB2017]. Holz wird in Deutschland in Form von Scheitholz, Holzpellets, Holzhackschnitzeln, Hobelspänen oder Sägemehl verfeuert.

Dem Einsatz von Biomasse wird in den meisten Szenarien für die Energie- und Wärmewende eine wichtige Rolle zugeschrieben. Die Potenziale der Energieerzeugung sind jedoch auf Grund des großen Flächenbedarfs, der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und anderen ökologischen Nutzungskriterien begrenzt. In der Leitstudie zum Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland von 2012 [DLR2012] wird davon ausgegangen, dass der Einsatz biogener Festbrennstoffe bis

³ Die Jahresarbeitszahl ist das Verhältnis von nutzbarer Wärme aus einer Wärmepumpe und dem dafür notwendigen Stromeinsatz für Verdichter, Ventilator usw.

⁴ Dazu gehören neben Holz auch Stroh und Getreide.

2030 noch auf etwa 136 TWh/a gesteigert werden kann. Damit sei aber wahrscheinlich das nachhaltig verfügbare Potential ausgeschöpft.

5.3.2 Ökologische Kriterien für die Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung im innerstädtischen Bereich

Emissionen und Feinstaubproblematik

Die Verbrennung von fester Biomasse (Holz oder anderen Festbrennstoffen) ist auch bei neuester Filtertechnik nicht emissionsfrei. Der Grenzwert für Kessel bis 1 MW liegt nach der 1. BImSchV bei 20 mg/Nm³ Staub. Größere Kessel unterliegen der TA Luft, auch hier gilt ein Emissions-Grenzwert von 20 mg/Nm³. Die tatsächlichen Emissionen der Anlagen sind sehr stark von der verwendeten Filtertechnik abhängig. In der Regel kommt bei großen Anlagen ein mehrstufiges Filter- und Abscheidesystem aus Multizyklon, Elektroabscheider und ggf. Textilfilter zum Einsatz, mit dem Schadstoffemissionen für Feinstaub und Stickoxid erreicht werden, die deutlich unter den Grenzwerten der TA-Luft liegen. Im Vergleich mit Erdgaskesseln zeigen Holzkessel vor allem beim Einsatz in Gebäuden sowohl bei Staub und Kohlenmonoxid als auch bei Stickoxyden (NO_x) höhere Emissionen auf. In bereits stark durch Verkehr und Industrie belasteten Stadtgebieten sind zusätzliche Schadstoffemissionen, insbesondere Stickoxide und Feinstaub, durch die Wärmeerzeugung für die Gebäudebeheizung kritisch zu bewerten.

Erhöhung des innerstädtischen Verkehrsaufkommens

Bei Holzhackschnitzeln, die bei großen Feuerungsanlagen i.d.R. zum Einsatz kommen, hängt der Heizwert je Schüttraummeter (SRm) von der Holzart und dem Wassergehalt ab. In erster Näherung kann von einem Gewicht von 200 bis 250 kg/SRm und einem Heizwert von 0,75 bis 1,0 MWh/SRm ausgegangen werden. Holzhackschnitzel werden meist mit LKWs in Ladungen zwischen 60 und 100 SRm angeliefert. Die Anlieferung des Brennstoffs Holz und der Abtransport der Asche verursacht LKW-Verkehr und damit verbundene Lärm- und Schadstoffbelastungen, die im innerstädtischen Bereich nicht erwünscht sind.

Großer Lagerbedarf bei knappen Flächenressourcen in der Stadt

Die relativ geringe Energiedichte von Holz sowie die Schüttdichte von Holzhackschnitzeln oder Pellets führen zu großen vorzuhaltenden Brennstoffvolumen. Die Verfeuerung von biogenen Festbrennstoffen erfordert demnach großräumige Brennstofflager mit oftmals großflächigen Einbringöffnungen und befestigte Zufahrtswege für hohe Lasten. All dies belegt teuren und wertvollen Raum im innerstädtischen Bereich und kann auch im städtebaulichen Umfeld und im Kontext der Freiraumplanung problematisch sein.

Zusammenfassung

Das in Deutschland nachhaltig verfügbare Potenzial von biogenen Festbrennstoffen ist begrenzt und reicht nur teilweise für die Deckung des Wärmebedarfs von Gebäuden aus. Deshalb müssen bei ihrem Einsatz Prioritäten gesetzt werden. Generell sollte Biomasse überwiegend in großen KWK-Anlagen mit hochwertigen Filteranlagen eingesetzt werden. Um die mit der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen verbundenen Belastungen in Hinblick auf Emissionen, Verkehrsaufkommen und knappen Raumressourcen im innerstädtischen Bereich zu minimieren, empfiehlt sich der Einsatz vorrangig in ländlichen Regionen. Es wird deshalb empfohlen, keine holzbasierte Wärmeversorgung im Quartier selbst zu realisieren.

5.4 Sonnenenergie

Die jährliche, solare Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche beträgt in Ulm etwa 1.160 kWh/(m² a) und liegt damit über dem deutschen Mittelwert von 1.079 kWh/(m² a). Die Lage auf dem Eselsberg ist weniger von Nebel-Wetterlagen betroffen wie sie im Donautal häufig sind und eignet sich deshalb gut für die Nutzung von Solarenergie.

Bei der energetischen Nutzung der Solarstrahlung ist zu beachten, dass

- bezogen auf die relativ geringe Energiedichte verhältnismäßig große Empfangsflächen erforderlich sind;
- die Sonnenenergie nur tagsüber zur Verfügung steht und zudem jahreszeitlichen und witterungsbedingten Schwankungen unterliegt.

Die direkte Sonneneinstrahlung kann technisch mit drei unterschiedlichen Verfahren nutzbar gemacht werden:

- thermische Solarkollektoren,
- Photovoltaik-Module zur Stromerzeugung,
- Stromerzeugung mit solarthermischen Kraftwerken
(wird nicht weiter behandelt, da im Rahmen des Baugebiets nicht relevant).

Im städtebaulichen Entwurf sind für das Quartier Am Weinberg nutzbare Dachflächen von insgesamt ca. 15.600 m² als Flachdächer vorgesehen. Diese Fläche kann wegen des erforderlichen Abstands zum Dachrand, Dachaufbauten und Wartungsgängen nicht vollständig für Solaranlagen genutzt werden. Zusätzlich bieten insbesondere unverschattete, nach Süden ausgerichtete Fassaden Potenzial für die solarenergetische Nutzung. Die hohe Bebauungsdichte im Baugebiet lässt beim Ein-

satz von aktiver Solarenergienutzung je nach Gebäude-Energiestandard nur einen begrenzten solaren Deckungsanteil am Gesamtenergiebedarf erwarten.

5.4.1 Solarthermie

Thermische Solarkollektoren wandeln Solarstrahlung in Wärme um, die dann für Heizung, Warmwasserbereitung, Prozesswärme oder zur Regeneration von Wärmequellen genutzt werden kann. Im Wohnungsbau werden überwiegend Solaranlagen zur Warmwasserbereitung eingesetzt. Darüber hinaus können kombinierte Solaranlagen auch einen Beitrag zur Heizungsunterstützung liefern. Thermische Solaranlagen können je nach Auslegung und Anwendung zwischen 25 und 40 % der Sonnenstrahlung in Wärme umwandeln.

Sinnvoll dimensionierte Solaranlagen für die Warmwasserbereitung liefern in Wohngebäuden über das Jahr etwa 50 % bis 65 % der notwendigen Wärme. Bei kombinierten Anlagen hängt der Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf stark vom Energiestandard und der Auslegung der Solaranlage ab. Er liegt bei Bestandsgebäuden bei 10 % bis 20 % und kann bei sehr energieeffizienten Neubauten 50 % und mehr erreichen.

Dezentrale **thermische Solarnutzung** steht allerdings in Konkurrenz zur Fernwärme, die in Ulm einen hohen Anteil an Kraft-Wärme-Kopplung hat. Das Fernwärmenetz muss ganzjährig betrieben werden. Thermische Solaranlagen reduzieren die Wärmeabnahme im Sommer und verschlechtern damit die wirtschaftliche und ökologische Bilanz der Kraft-Wärme-Kopplung. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass in Kombination insgesamt ökologische oder ökonomische Vorteile entstehen.

5.4.2 Photovoltaik

Photovoltaik-Zellen wandeln Solarstrahlung direkt in Strom um. Die Zellen werden zu Modulen zusammengesetzt. Sie erzeugen eine Gleichspannung, die entweder direkt genutzt werden kann, i.d.R. aber über sogenannte Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird, so dass der Strom in das allgemeine Stromnetz eingespeist werden kann.

Je nach Halbleitermaterial in den PV-Zellen unterscheidet man drei verschiedene Technologien: Dünnschichtzellen, mono- und polykristalline Siliziumzellen. Module mit polykristallinen Zellen sind am weitesten verbreitet und erreichen i.d.R. das beste Preis-Leistungs-Verhältnis. Sie erreichen Wirkungsgrade von 14 % bis 17 %.

Potential für regenerative Stromerzeugung mit PV im Quartier Am Weinberg

Die potentielle Dachfläche (Bruttofläche) für PV-Nutzung beträgt ca. 15.600 m².

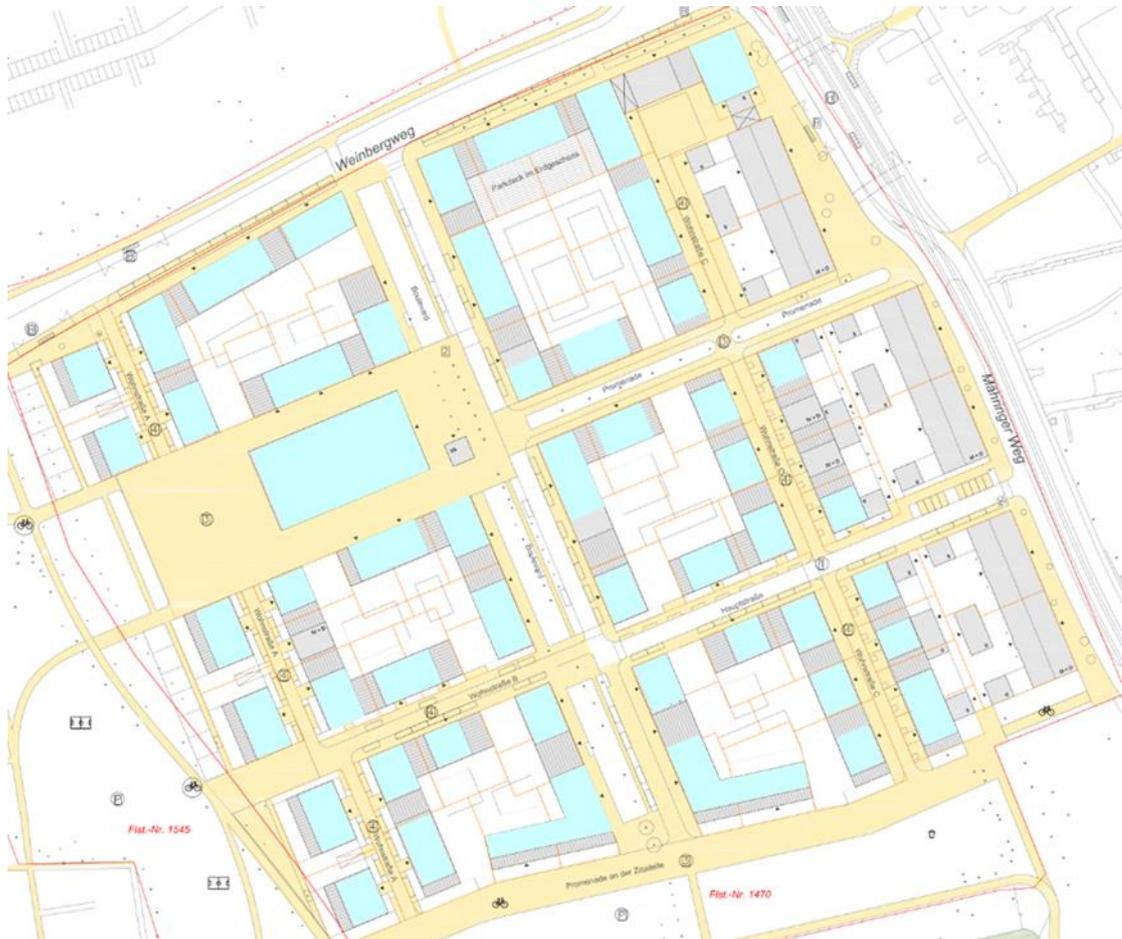


Abbildung 16: Potentielle Dachflächen für PV-Anlagen

Ausgegangen wird von aufgeständerten PV-Modulen mit polykristallinen Zellen, die auf den Flachdächern jeweils mit 15° Neigung nach Osten und Westen ausgerichtet sind. Berücksichtigt man nicht nutzbare Flächen (Dachaufbauten etc.) ergibt sich eine **maximale Modulfläche von ca. 7.780 m², mit der etwa 1.050 MWh/a Strom erzeugt werden können.**

5.5 Zusammenfassung und Empfehlungen

- Das Quartier kann problemlos mit den leitungsgebundenen Energieträgern Strom, Gas und Fernwärme erschlossen werden.
- Nutzbare Abwärme aus industriellen Quellen, Rechenzentren o.ä. stehen in der näheren Umgebung nicht zur Verfügung.

- Das Gebiet eignet sich zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie durch Erdsonden. Möglich sind allerdings Schwierigkeiten im Zusammenhang mit eventuellen Karst-Hohlräumen.
- Für eine dezentrale Wärmeversorgung durch Wärmepumpen wäre bei Verlegung von geeigneten Abwassersammlern auch die Abwärme aus den Siedlungs-Abwässern als Wärmequelle möglich.
- Die Nutzung von Umgebungsluft zur Wärmeversorgung über Wärmepumpen ist zwar möglich, aus energetischen und Schallschutz-Erwägungen sind Luft/Wasser-Wärmepumpen allerdings nur als schlechtere Alternativen zu Erdwärme- oder Abwasser-Wärmepumpen anzusehen und sollten vor allem in dichten Innenstadtbereichen nicht in größerem Umfang zum Einsatz kommen.
- Um die mit der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen verbundenen Belastungen in Hinblick auf Emissionen, Verkehrsaufkommen und knappen Raumressourcen im innerstädtischen Bereich zu minimieren, sollte auf eine holzbasierte Wärmeversorgung im Quartier selbst verzichtet werden.
- Die Solarstrahlung in Ulm ist für deutsche Verhältnisse relativ hoch und durch die Lage über dem Blau- bzw. Donautal eignet sich das Quartier besonders gut für Solarenergienutzung.

Empfehlungen

- Angesichts der guten ökologischen Kennwerte der Fernwärme Ulm sowie zur Vermeidung von lokalen Emissionen durch dezentrale Wärmeversorgungssysteme wird der Anschluss des Quartiers an das Fernwärmenetz der FUG empfohlen.
- Bei einer Wärmeversorgung des Quartiers über Fernwärme wird empfohlen, die verfügbaren Dachflächen vorrangig zur Stromerzeugung mit PV-Modulen und nicht für Solarthermie zu nutzen.
- Es ist vorgesehen, dass ein Baufeld nicht an die Fernwärme angeschlossen wird und Investoren dort experimentelle Wärmeversorgungskonzepte realisieren können. Das Baufeld sollte eher am Ende der Fernwärmetrasse liegen.

6 Gebäude-Energiestandards, Wärmeversorgungssysteme und Energiebedarf

6.1 Gesetzliche Mindestanforderungen und ihre Entwicklung sowie weiterführende Gebäude-Energiestandards

Energie-Einsparverordnung (EnEV)

Der gesetzliche Mindest-Energiestandard für Gebäude wird durch die Energie-Einsparverordnung (EnEV) in ihrer aktuellen Fassung von 2014 [EnEV 2014] festgelegt. Der Nachweis, dass dieser Mindeststandard eingehalten wird, erfolgt rechnerisch anhand des Vergleichs mit einem Referenzgebäude gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das zu errichtende Gebäude, jedoch mit Vorgabewerten für die Qualität der Außenhülle und der Anlagentechnik.

Bereits in der Fassung von 2014 waren die zum 1. Januar 2016 in Kraft getretenen Verschärfungen der Anforderungen für Neubauten enthalten:

- Der spezifische Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle H'_T darf den Wert des jeweiligen Referenzgebäudes nicht überschreiten. Dabei sind die Höchstwerte nach Tabelle 2 im Anhang 1 zur EnEV wie bisher einzuhalten.
- Der Primärenergiebedarf eines zu errichtenden Wohngebäudes darf nicht mehr als 75% des Primärenergiebedarfs des entsprechenden Referenzgebäudes betragen.

Erneuerbares-Energie-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Neben der EnEV muss ein Neubau das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EE-WärmeG) von 2009 einhalten. Dieses Gesetz regelt die Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteversorgung von Neubauten. Je nach verwendeter Energieart muss der Wärme- (oder Kälte-)Energiebedarf in unterschiedlichem Umfang aus erneuerbaren Energien gedeckt werden:

- zu mindestens 15% durch thermische Solaranlagen,
- zu mindestens 30% durch gasförmige Biomasse (nur in Verbindung mit KWK-Anlage),
- zu mindestens 50% durch flüssige oder feste Biomasse,
- zu mindestens 50% durch Geothermie oder Umweltwärme (z.B. in Verbindung mit WP und Mindest-JAZ).

Die Nutzungspflicht kann alternativ auch durch Ersatzmaßnahmen erfüllt werden. Dabei muss der Wärme- (oder Kälte-)Energiebedarf gedeckt werden:

- zu mindestens 50% durch Abwärme (in Verbindung mit WP und Mindest-JAZ oder Lüftungsanlagen mit WRG und Mindestanforderungen),
- zu mindestens 50% durch hocheffiziente KWK-Anlagen,
- aus Fern- oder Nahwärmenetzen (mit wesentlichem Anteil EE, mindestens 50% Abwärme, mindestens 50% KWK-Anlagen oder mindestens 50% durch Kombination dieser Maßnahmen),
- oder die Anforderungen der EnEV an den PE-Bedarf und die Wärmedämmung der Gebäudehülle müssen um mindesten 15% unterschritten werden.

Die Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen können untereinander kombiniert werden.

Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Für das Jahr 2018 ist die Verabschiedung einer Neufassung der EnEV geplant, bei der u.a. auch die bisherige EnEV und das EEWärmeG im neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) zusammengefasst werden sollen. Der Referentenentwurf zum GEG [GEG RefE 2017] wurde am 23.01.2017 veröffentlicht.

In diesem Entwurf wird das Anforderungsniveau „Niedrigstenergiegebäude“ für die Errichtung von Nichtwohngebäuden der öffentlichen Hand festgelegt. Dieser Energiestandard muss nach der Europäischen Gebäuderichtlinie 2010 [EPBD 2010] ab 2019 eingehalten werden. Die Definition „Niedrigstenergiegebäude“ für Neubauten privater Wohn- und Nichtwohngebäude soll später erfolgen, da die EU den Niedrigstenergiestandard für diese Gebäude erst ab 2021 fordert.

Nach dem Entwurf zum GEG wird der Niedrigstenergiestandard für öffentliche Nichtwohngebäude in etwa auf dem Niveau eines KfW-Effizienzhaus-55 liegen. Da die Klimaschutzziele der Bundesregierung anders kaum zu erreichen sind, ist anzunehmen, dass das Anforderungsniveau für Wohngebäude ab 2021 im gleichen Bereich liegen wird. Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung von November 2016 [Klima 2050] ist vorgesehen, dass „...der ab 2021 geltende Niedrigstenergiegebäudestandard schrittweise weiterentwickelt (wird)“ und „...dass spätestens zum Jahr 2030 der energetische Standard von Gebäuden schrittweise auf einen Wert deutlich unterhalb des heute geförderten ‚Effizienzhaus 55‘-Standards weiter zu entwickeln ist.“

Auf diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, für neu zu entwickelnde Baugebiete bereits jetzt von einem Mindest-Energiestandard auf dem Niveau des Effizienzhaus-55 auszugehen.

KfW-Effizienzhäuser: die Förderstandards im Neubau

Derzeit gibt es im Neubaubereich drei Gebäude-Energiestandards, die über die KfW-Bank gefördert werden: das KfW-Effizienzhaus-55, das KfW-Effizienzhaus-40

und das KfW-Effizienzhaus-40-Plus. Je höher der Standard, umso mehr müssen die Referenzwerte für Primärenergiebedarf und Hüllflächenverluste unterschritten werden (siehe Abbildung 17).

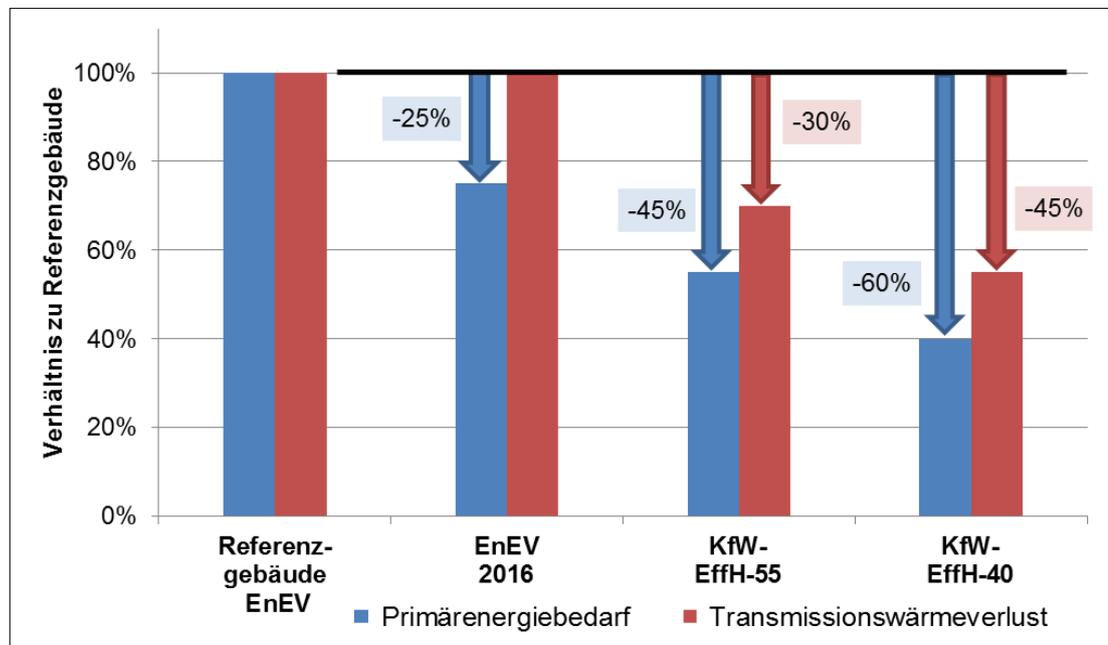


Abbildung 17: Anforderungen an Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust nach EnEV-Standard und KfW-Förderstandards im Verhältnis zu den Werten des Referenzgebäudes

Beim KfW-Effizienzhaus-40-Plus gelten die Werte für das Effizienzhaus-40. Zusätzlich müssen bestimmte technische Maßnahmen realisiert werden, das sogenannte „Plus-Paket“:

- Eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien.
- Der jährlicher Stromertrag beträgt mindestens die Summe aus 500 kWh/a je Wohneinheit und 10 kWh/(m²·a).
- Ein stationäres Batteriespeichersystem (Stromspeicher).
- Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.
- Eine Visualisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch über ein entsprechendes Benutzerinterface.

Passivhaus-Standard

Der Passivhaus-Standard hat insofern eine Sonderstellung, als dass der Nachweis nicht über die Berechnungsverfahren der EnEV erfolgt, sondern anhand des Passivhaus-Projektierungs-Pakets [PHPP] des Passivhausinstituts Darmstadt. Gebäude nach Passivhaus-Standard müssen einen Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m² a) und einen Primärenergiebedarf von 95 kWh_{PE}/(m² a) einhalten.

Da im Gegensatz zur EnEV und den KfW-Förderstandards bei den Anforderungen absolute Werte eingehalten werden müssen und nicht ein Verhältnis gegenüber einem Referenzgebäude gleicher Geometrie und Orientierung, spielen beim Passivhaus-Standard die Klimadaten am Baustandort, das A/V-Verhältnis, die Ausrichtung der Hauptfassade, der Fensterflächenanteil und die Verteilung der Fenster eine wichtige Rolle. Unter günstigen Klimabedingungen und entsprechender Optimierung kann ein Passivhaus mit einer Hülle entsprechend einem Effizienzhaus-55 gebaut werden. Bei großem A/V-Verhältnis, ungünstiger Verschattung oder kalten Klimaregionen muss die Dämmung u.U. besser sein als beim Effizienzhaus-40. Im Gegensatz zu den KfW-Standards EffH55 und EffH40 ist beim Passivhaus immer eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich.

Ein Passivhaus kann entsprechend KfW-Effizienzhaus-55, 40 oder 40-Plus gefördert werden, je nach Ergebnis der zusätzlich erforderlichen EnEV-Berechnung.

6.2 Voruntersuchung: Welche Gebäudeenergiestandards können mit welchen Wärmeversorgungssystemen erreicht werden?

Um einen bestimmten Gebäude-Energiestandard zu erreichen, muss zunächst die Gebäudehülle die entsprechende Anforderung an die Dämmqualität (maximale Werte für den Transmissionswärmeverlust H'_{T}) einhalten. Dann muss das Wärmeversorgungssystem in Verbindung mit der sonstigen Haustechnik einen ausreichenden Anteil an Wärmerückgewinnung oder regenerativer Energie nutzen, damit die Anforderungen an den Primärenergiebedarf eingehalten werden können. Wird kein ausreichender Anteil erreicht, muss die Dämmung der Gebäudehülle über die Mindestanforderungen hinaus erhöht werden, bis die Primärenergie-Anforderung eingehalten wird.

Ein Ausgleich von zu niedrigem Regenerativanteil der Wärmeversorgung durch Verbesserungen der Gebäudehülle ist meist möglich, wird aber schnell unverhältnismäßig teuer – die Verbesserung der Wärmeversorgung durch höhere Regenerativanteile ist meistens die bessere Wahl. Um kostengünstiges Bauen zu ermöglichen, wird heute i.d.R. eine primärenergetische Qualität der Wärmeversorgung angestrebt, die keine Kompensationsmaßnahmen an der Gebäudehülle oder durch zusätzliche Anlagentechnik wie Lüftung mit Wärmerückgewinnung oder thermische Solaranlagen erforderlich macht, um den geforderten Energiestandard einzuhalten.

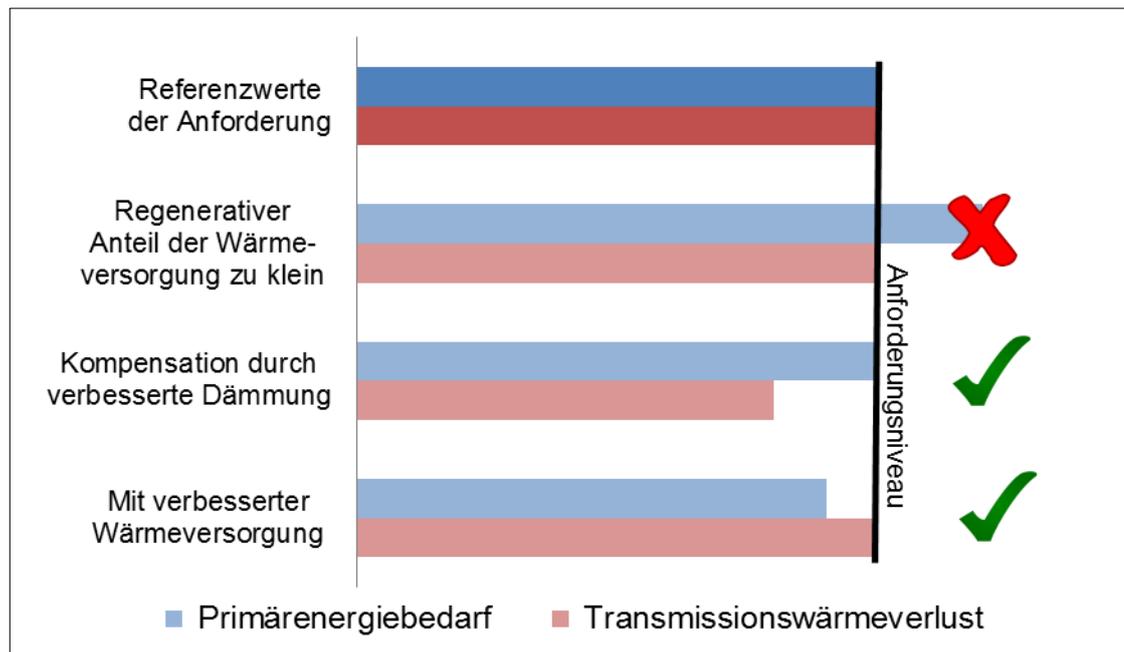


Abbildung 18: Kriterien zur Erfüllung eines geforderten Gebäude-Energiestandards und Möglichkeit der Kompensation durch verbesserte Gebäudehülle

Anhand von drei Mustergebäuden, die exemplarisch im Baugebiet vorgesehene Gebäudetypen darstellen, wurde untersucht, welche Wärmeversorgungssysteme die oben genannte Forderung erfüllen und welche Kompensationen bei Gebäudehülle oder Haustechnik bei anderen Systemen erforderlich sind, um die unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards einzuhalten.

Zur Einhaltung der Anforderungen an die Gebäudehülle wurde dabei bei den einzelnen Energiestandards von folgenden U-Werten für die Außenbauteile ausgegangen:

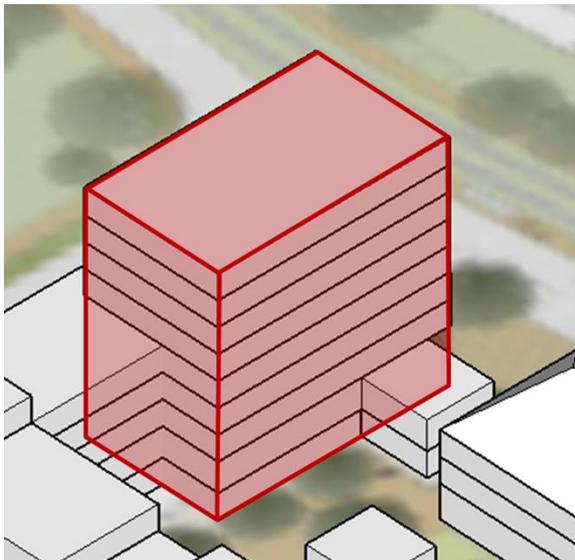
Tabelle 1: Verwendete U-Werte der Außenbauteile bei den unterschiedlichen Energiestandards

U-Werte in W/m ² K	Referenz EnEV ($H'_T = H'_{T,ref}$)	KfW EH 55 ($H'_T = 0,70 * H'_{T,ref}$)	KfW EH 40 ($H'_T = 0,55 * H'_{T,ref}$)
Außenwand	0,28	0,18	0,13
Dach	0,20	0,13	0,10
Boden	0,35	0,25	0,20
Fenster	1,30	0,95	0,80
Außentür	1,80	1,20	1,00
Wärmebrücken (ΔU_{WB})	0,05	0,05	0,03

6.2.1 Beschreibung der Mustergebäude

Mustergebäude 1: Großer Geschosswohnungsbau, Hochhaus

Das Gebäude hat neun Vollgeschosse und gilt trotz geringfügiger Anschlussflächen an Nachbargebäude als freistehend. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,28 und die Bruttogeschosfläche (BGF) 3.370 m². Mit einem BGF/WF-Faktor von 1,25 wurde die beheizte Wohnfläche (WF) mit rund 2.700 m² abgeschätzt. Es wird von einem Fensterflächenanteil von 25 % bezogen auf die Wohnfläche ausgegangen. Das Gebäude steht über einer Tiefgarage.



Beheizte Wohnfläche	2.693	m ²
Nutzfläche A _N nach EnEV	3.231	m ²
Fensterflächenanteil	25%	Bezug WF
Fensterfläche	673	m ²

Nettoluftvolumen	7.674	m ³
Bruttovolumen	10.098	m ³
Hüllfläche	2.854	m ²
A/V-Verhältnis	0,28	

Hüllfläche

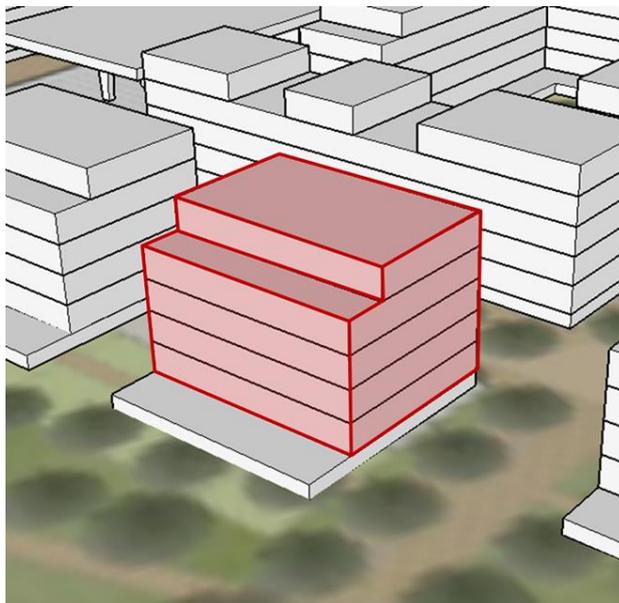
Außenwand	1.428,4	m ²
Außenwand gg. Erdreich	0,0	m ²
Dach, Decke oben	374,0	m ²
Boden gg. Erdreich	0,0	m ²
Boden gg. unbeheizt	0,0	m ²
Boden gg. Außenluft	374,0	m ²
Fensterfläche Süd	134,7	m ²
Fensterfläche West	235,6	m ²
Fensterfläche Nord	67,3	m ²
Fensterfläche Ost	235,6	m ²
Eingangstüre	4,4	m ²
Summe Hüllfläche	2.854,0	m ²

Abbildung 19: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Hochhaus mit geometrischen Kennwerten

Um die Anforderungen der EnEV, Anhang 1 Tabelle 2 und damit den Mindeststandard nach EnEV einzuhalten, muss bei diesem Gebäude die opake Außenwand und das Flachdach wie beim KfW-Effizienzhaus 55 (U-Wert = 0,18 W/m²K) ausgeführt werden.

Mustergebäude 2: Geschosswohnungsbau als Punkthaus

Das Gebäude ist freistehend und hat vier Vollgeschosse und ein Staffelgeschoss. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,40 und die Bruttogeschosfläche 1.740 m². Mit einem BGF/WF-Faktor von 1,25 wurde die beheizte Wohnfläche mit rund 1.400 m² abgeschätzt. Es wird von einem Fensterflächenanteil von 20 % bezogen auf die Wohnfläche ausgegangen. Das Gebäude steht über einer Tiefgarage.



Beheizte Wohnfläche	1.394 m ²
Nutzfläche A _N nach EnEV	1.673 m ²
Fensterflächenanteil	20% Bezug WF
Fensterfläche	279 m ²

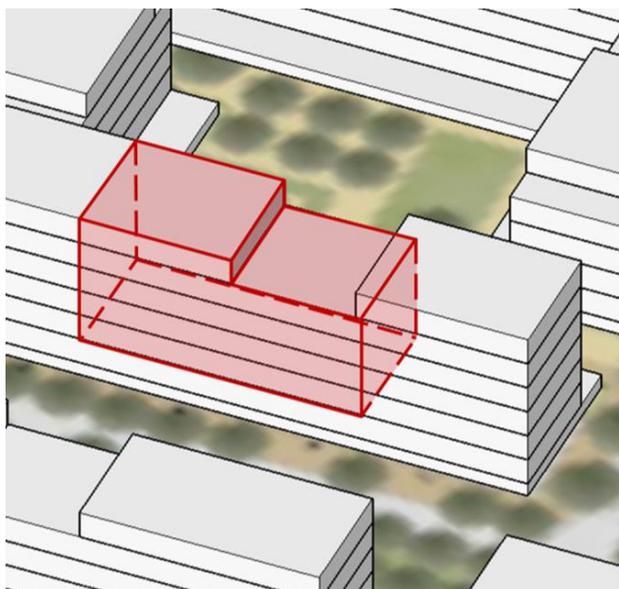
Nettoluftvolumen	3.974 m ³
Bruttovolumen	5.229 m ³
Hüllfläche	2.072 m ²
A/V-Verhältnis	0,40

Hüllfläche	
Außenwand	965,7 m ²
Außenwand gg. Erdreich	0,0 m ²
Dach, Decke oben	411,4 m ²
Boden gg. Erdreich	0,0 m ²
Boden gg. unbeheizt	0,0 m ²
Boden gg. Außenluft	411,4 m ²
Fensterfläche Süd	97,6 m ²
Fensterfläche West	55,8 m ²
Fensterfläche Nord	69,7 m ²
Fensterfläche Ost	55,8 m ²
Eingangstüre	4,4 m ²
Summe Hüllfläche	2.071,7 m ²

Abbildung 20: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Punkthaus mit geometrischen Kennwerten

Mustergebäude 3: Geschosswohnungsbau als Blockrand-Mittelbau

Das Gebäude hat vier Vollgeschosse und ein Staffelgeschoss und ist zweiseitig angebaut. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,34 und die Bruttogeschosfläche 1.400 m². Mit einem BGF/WF-Faktor von 1,25 wurde die beheizte Wohnfläche mit 1.170 m² abgeschätzt. Es wird von einem Fensterflächenanteil von 20 % bezogen auf die Wohnfläche ausgegangen. Das Gebäude steht über einer Tiefgarage.



Beheizte Wohnfläche	1.170 m ²
Nutzfläche A _N nach EnEV	1.348 m ²
Fensterflächenanteil	20% Bezug WF
Fensterfläche	234 m ²

Nettoluftvolumen	3.201 m ³
Bruttovolumen	4.212 m ³
Hüllfläche	1.442 m ²
A/V-Verhältnis	0,34

Hüllfläche	
Außenwand	517,3 m ²
Außenwand gg. Erdreich	0,0 m ²
Dach, Decke oben	343,2 m ²
Boden gg. Erdreich	0,0 m ²
Boden gg. unbeheizt	0,0 m ²
Boden gg. Außenluft	343,2 m ²
Fensterfläche Süd	18,7 m ²
Fensterfläche West	86,6 m ²
Fensterfläche Nord	0,0 m ²
Fensterfläche Ost	128,7 m ²
Eingangstüre	4,4 m ²
Summe Hüllfläche	1.442,1 m ²

Abbildung 21: Schematische Darstellung des Mustergebäudes Blockrand-Mittelbau mit geometrischen Kennwerten

6.2.2 Beschreibung der betrachteten Wärmeversorgungssysteme und Technikausstattungen

In der Voruntersuchung wurden folgende Wärmeversorgungssysteme verglichen:

- Wärmeübergabestation mit Anschluss an das Fernwärmenetz. Es wurden alternativ zwei Werte für den Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung untersucht: 0,50 als möglicher Wert für ein Nahwärmesystem und 0,26 als zertifizierter Wert der FUG-Fernwärme. Warmwasserbereitung im indirekt über die Übergabestation beheizten Warmwasserspeicher, Heizsystem mit Heizkörpern.
- Gas-Brennwertkessel, Energieträger Erdgas mit einem Primärenergiefaktor von 1,1. Warmwasserbereitung im indirekt vom Gaskessel beheizten Warmwasserspeicher, Heizsystem mit Heizkörpern.
- Elektrische Sole/Wasser-Wärmepumpe, Energieträger Strom mit einem Primärenergiefaktor von 1,8. Als Wärmequellen für die Wärmepumpe kommen Erdsonden, Spiralkollektoren oder Abwasserkanäle in Frage. Betrieb der Wärmepumpe in Verbindung mit einem Heizungspufferspeicher, Warmwasserbereitung im indirekt von der Wärmepumpe beheizten Warmwasserspeicher, Heizsystem mit Fußbodenheizung.
- Holzpellet-Kessel, Energieträger Holz mit einem Primärenergiefaktor von 0,2. Betrieb des Holzkessels in Verbindung mit einem Heizungspufferspeicher. Warmwasserbereitung im indirekt vom Holzkessel beheizten Warmwasserspeicher, Heizsystem mit Heizkörpern.

In Verbindung mit den Wärmeversorgungssystemen wurden folgende technische Anlagen als zusätzliche Kompensationsmaßnahmen oder als Erfüllungsoptionen für die Einhaltung des EEWärmeG untersucht:

- Mechanische Wohnungslüftung als Zu/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) mit einem effektiven Wärmerückgewinnungsgrad von 75%.
- Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung, Kollektorfläche nach Standardberechnung DIN V 18599 entsprechend EnEV-Referenzgebäude.

In allen Grundvarianten wird bereits eine mechanische Abluftanlage entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude angesetzt.

6.2.3 Randbedingungen der Berechnungen

Die Berechnungen wurden nach der DIN V 18599 Ausgabe 2011 [DIN V 18599-1-11:2011] mit dem Rechenprogramm „Dämmwerk“ [DW 2017] durchgeführt. Dabei

wurden die Randbedingungen nach EnEV berücksichtigt. Abgesehen von den unterschiedlichen U-Werten je nach Dämmstandards der Gebäudehülle (siehe Tabelle 1) und den Kennwerten für die unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme wurden alle anderen Parameter wie beim EnEV-Referenzgebäude gewählt. Ob die gewählte Variante den Passivhaus-Standard einhält, wurde anhand einer Berechnung mit dem Passivhaus-Projektierungs-Pakets [PHPP] überprüft.

6.2.4 Ergebnisse

Allgemeine Erläuterungen zum Verständnis der Ergebnis-Diagramme

Das Diagramm stellt die Ergebnisse für jedes Mustergebäude in 5 Dimensionen dar.

1. Die unterschiedlich grauen Hintergrundfelder entsprechen den unterschiedlichen Dämmstandards der Gebäudehülle.
2. Horizontal sind vier unterschiedliche Technikausstattungen des Gebäudes jeweils in Verbindung mit einem Dämmstandard aufgetragen:
AB: mit Abluftanlage
WRG: mit Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)
AB-SOL: mit Abluftanlage und thermischer Solaranlage
WRG-SOL: mit Zu-/Abluftanlage mit WRG und thermischer Solaranlage.
3. Jede Technikausstattung wird mit fünf verschiedenen Wärmeerzeugern mit unterschiedlichen Energieträgern dargestellt:
gelb: Gas-Brennwertkessel, Energieträger Erdgas mit PE-Faktor 1,1
orange: Übergabestation, Nahwärmesystem mit PE-Faktor 0,5
rot: Übergabestation, FUG-Fernwärme mit PE-Faktor 0,26
blau: Sole/Wasser-WP, Energieträger Strom mit PE-Faktor 1,8
grün: Pelletkessel, Energieträger Holz mit PE-Faktor 0,2.
4. Die horizontalen Linien stellen die verschiedenen Anforderungsniveaus an den Primärenergiebedarf dar:
rot: Anforderung der EnEV seit 1.1.2016 (75% von $q_{PE,ref}$)
blau: Anforderung KfW-Effizienzhaus 55 (KfW-EH55), (55% von $q_{PE,ref}$)
grün: Anforderung KfW-Effizienzhaus 40 (KfW-EH40), (40% von $q_{PE,ref}$).
5. Die roten Punkte markieren Varianten, die das EEWärmeG nicht einhalten. Die orangenen Punkte markieren Varianten, bei denen das Nahwärmesystem die besonderen Anforderungen des Gesetzes an Nah- oder Fernwärmenetze einhalten muss.

Insgesamt sind in den Diagrammen 60 Varianten durch senkrechte Säulen dargestellt. Eine Variante hält einen bestimmten Gebäude-Energiestandard nur ein, wenn

die Säule sich im Feld des entsprechenden Dämmstandards befindet und nicht über die Linie des entsprechenden Anforderungsniveaus hinausragt. Dazuhin darf sie nicht mit einem roten Punkt markiert sein.

Beispiele:

- In einem Gebäude mit einer Hülle entsprechend EnEV-Referenzgebäude reicht ein Erdgas-Brennwertkessel mit thermischer Solaranlage (Var. EnEV-AB-SOL) nicht aus, um den Mindeststandard der EnEV einzuhalten. Die gelbe Säule ragt über die rote Linie für EnEV 2016⁵ hinaus.
- Mit einem Nahwärmesystem, das einen PE-Faktor von 0,5 hat, kann der Effizienzhaus-40-Standard gerade noch mit einer Abluftanlage eingehalten werden (EH40-AB). Die orange Säule erreicht dann gerade die grüne Linie für KfW-EH40.

Ergebnisse für das Musterhaus 1: Hochhaus

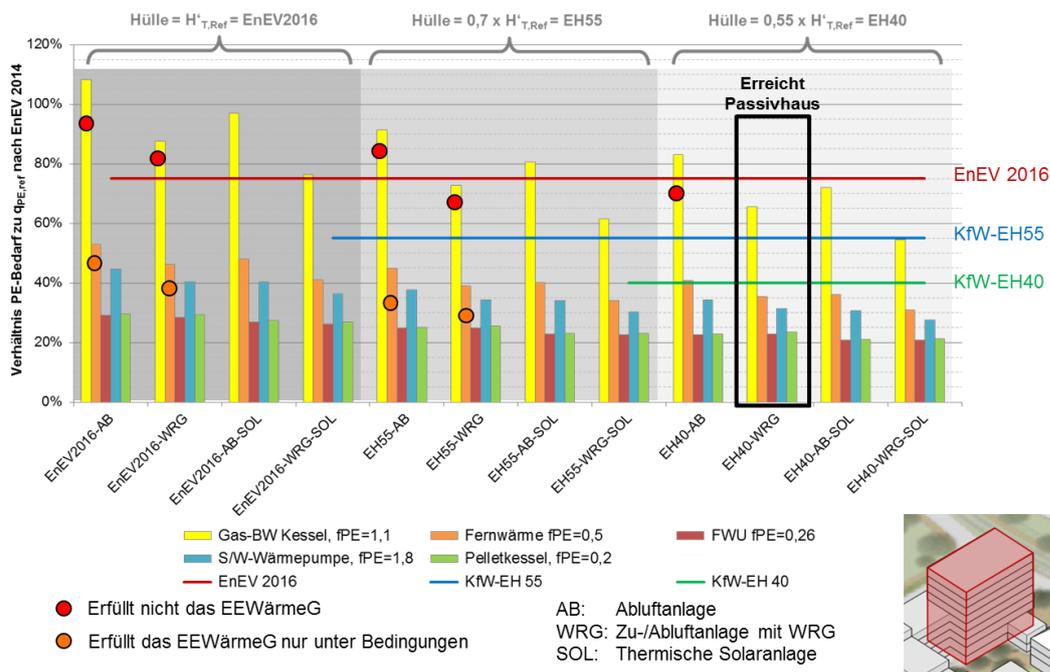


Abbildung 22: Darstellung der Variantenberechnungen für das Hochhaus

⁵ Mit EnEV 2016 ist hier das seit 1.1.2016 gültige Anforderungsniveau der EnEV 2014 gemeint.

Ergebnisse für das Musterhaus 2: Punkthaus

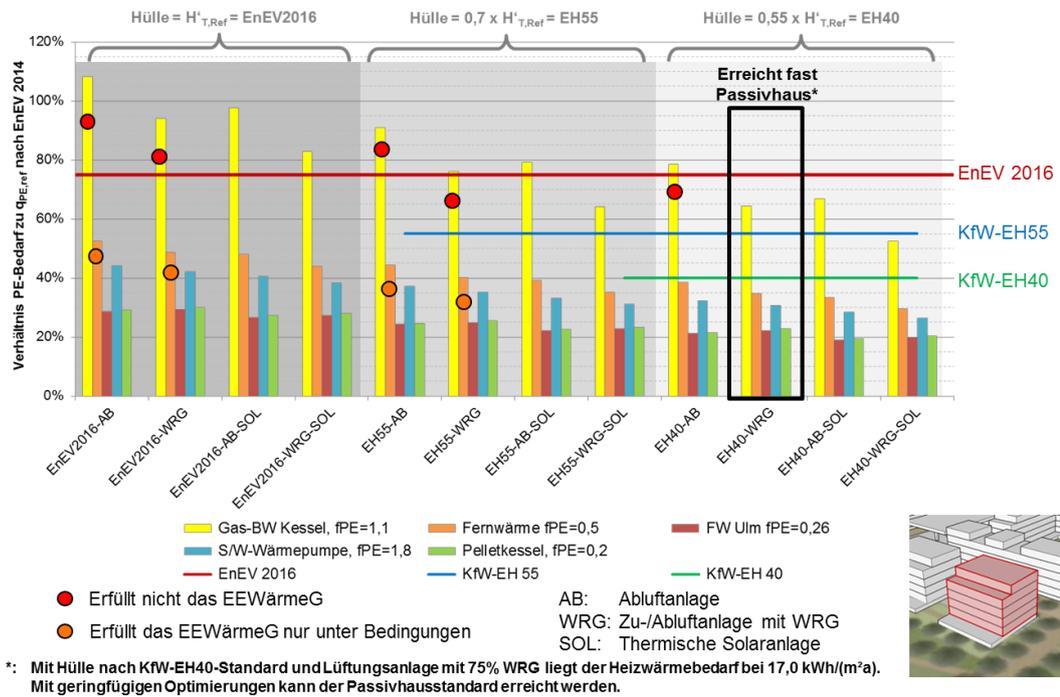


Abbildung 23: Darstellung der Variantenberechnungen für das Punkthaus

Ergebnisse für das Musterhaus 3: Blockrand-Mittelbau

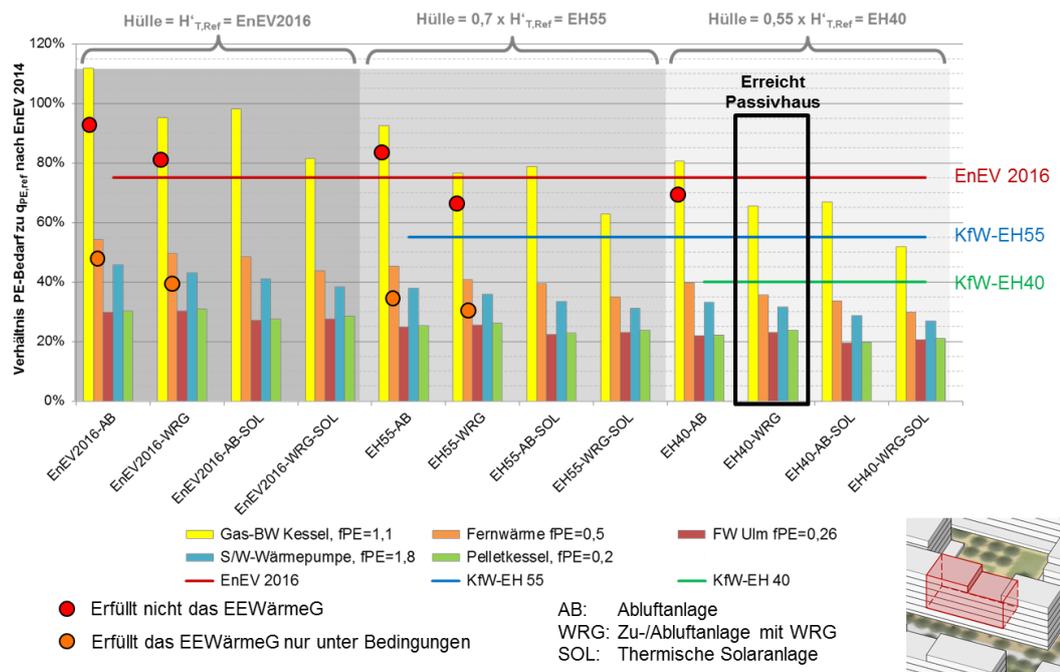


Abbildung 24: Darstellung der Variantenberechnungen für den Blockrand-Mittelbau

Schlussfolgerungen:

- Allgemein reicht bei einer Erdgas-Heizung eine thermische Solaranlage nicht mehr aus, um den Mindeststandard der EnEV einzuhalten. Bei allen drei Mustergebäuden muss zusätzlich die Dämmung etwa auf Effizienzhaus-55-Standard verbessert und eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung installiert werden (Var. EH55-WRG-SOL).
- Mit elektrischen S/W-Wärmepumpen oder Holzpellet-Kesseln kann jeder Gebäude-Energiestandard ohne Zusatzmaßnahmen eingehalten werden, solange die Gebäudehülle die dem Standard entsprechende Qualität hat.
- Eine Fernwärme-Versorgung mit einem Primärenergiefaktor von 0,5 oder kleiner ermöglicht ebenfalls kostengünstiges Bauen, da dann für alle Energiestandards entlang der Anforderung an die Gebäudehülle und ohne zusätzliche technische Kompensationsmaßnahmen wie Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung oder thermische Solaranlagen gebaut werden kann.
- Der Passivhaus-Standard wird bei allen 3 Mustergebäuden mit einer Gebäudehülle in etwa entsprechend KfW-Effizienzhaus-40 und einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht (EH40-WRG).
- Bei den Mustergebäuden wurde untersucht, ob ausreichend Dachflächen zur Verfügung stehen um über PV-Anlagen den nach KfW-Effizienzhaus-40-Plus-Standard geforderten PV-Solarertrag erzeugen zu können. Dies ist nur bei den Punkthäusern am westlichen Rand des Quartiers denkbar, allerdings nur unter günstigsten Randbedingungen. Bei den Gebäuden der Blockrandbebauung stehen keine ausreichenden Dachflächen zur Verfügung.

Auf Grundlage dieser Voruntersuchung wurden die Varianten definiert, die detailliert auf Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung anhand von Mustergebäuden untersucht werden (siehe Abschnitt 7).

6.3 Energiebedarfsprognose

6.3.1 Wärmebedarf für das Baugebiet

Während das Nachweisverfahren der EnEV immer die Energie-Bedarfswerte unter standardisierten Randbedingungen und Potsdamer Klima abbilden, können reale Verbrauchswerte teilweise erheblich davon abweichen, da diese dem Einfluss des Nutzerverhaltens und den realen Wetterbedingungen unterliegen.

Mit dem Rechenprogramm „Dämmwerk“ wurden für die untersuchten Mustergebäude Berechnungen nach DIN V 18599 zur **Ermittlung eines voraussichtlichen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser** durchgeführt. Dazu wurden anders als bei den EnEV-Berechnungen die Wetterdaten des Standorts (hier Klimadaten für Zone 13 Passau) verwendet und andere Berechnungsparameter an Erfahrungswerte des Ingenieurbüros ebök angepasst. Es kann angenommen werden, dass die so berechneten Ergebnisse einen „mittleren Nutzer“ gut repräsentieren und somit belastbare Durchschnittswerte darstellen. Die realen Verbräuche werden dennoch je nach Nutzerverhalten stark um diesen Durchschnitt schwanken.

Anhand der berechneten Energiekennwerte (Wärmebedarf je m² Wohnfläche), der Flächenbilanz des städtebaulichen Rahmenplans (siehe Tabelle 2) und den Annahmen zur beheizten Wohnfläche je Gebäudetyp wurde der Wärmebedarf auf das gesamte Baugebiet hochgerechnet. Das Ergebnis geht von einer vollständigen Bebauung des Gebiets aus.

Tabelle 2: Anzahl Wohneinheiten und Bruttogeschossflächen (BGF) laut städtebaulichem Rahmenplan

	Wohneinheiten	BGF [m ²]
Bestandsgebäude	116	10.567
Neubau Gemeinbedarf	0	1.026
Neubau Gewerbeflächen	0	11.000
Neubau Wohnungen	844	89.772
Summe	960	112.365

Berechnet wurde die **erforderliche Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers im Gebäude**. Darin sind alle gebäudeseitigen Verluste bis auf die Verluste des Wärmeerzeugers enthalten. Das Ergebnis eignet sich insbesondere für die Vordimensionierung einer Fernwärmeversorgung, da der Wirkungsgrad einer Wärmeübergabestation nahe 100 % liegt. Zur Ermittlung des voraussichtlichen Endenergiebedarfs bei dezentraler Wärmeversorgung müssen die Werte mit den Aufwandszahlen der jeweiligen Wärmeerzeuger multipliziert werden.

Bei den Berechnungen zum Vergleich unterschiedlicher Energiestandards wurde angenommen, dass die Gebäudehülle jeweils den Mindestanforderungen des entsprechenden Gebäude-Standards entspricht und außer beim Passivhaus-Standard, der zwingend eine Zu-/Abluftanlage mit WRG benötigt, nur eine Abluftanlage installiert wird. Der Passivhaus-Standard kann mit einer Hülle wie beim Effizienzhaus-40 erreicht werden.

Tabelle 3: Gesamtwärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung bei vollständiger Bebauung des Quartiers, wenn alle Gebäude nach einem einheitlichen Energiestandard gebaut werden.

Erforderliche, nutzbare Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers	EnEV	KfW-EH-55	KfW-EH-40	Passivhaus
	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a
für Warmwasser	2.253	2.253	2.253	2.253
für Raumheizung	6.022	5.086	4.343	2.823
Summe	8.275	7.339	6.596	5.076
Verhältnis	100%	89%	80%	61%

Der Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser reicht von 5.076 MWh/a beim Passivhaus-Standard bis 8.275 MWh/a für den EnEV-Standard. Er variiert entsprechend den Unterschieden zwischen den Gebäude-Energiestandards bei der Raumheizwärme, da der Warmwasserbedarf unabhängig vom Energiestandard ist. Werden alle Gebäude nach dem EnEV-Standard gebaut, wird etwa 60% mehr Wärme benötigt als beim Passivhaus-Standard.

6.3.2 Beurteilung des Wärmebedarfs hinsichtlich einer Fernwärmeversorgung

Der wirtschaftliche Betrieb einer Fernwärmeversorgung hängt zum Teil von der sogenannten Wärmebedarfsdichte des Versorgungsgebiets ab. Die Wärmebedarfsdichte wird entweder je Meter Trassenlänge oder je Hektar versorgte Fläche angegeben. Je geringer die Wärmebedarfsdichte ist, umso mehr schlagen die Netzverluste zu Buche, die ab einer gewissen Größe den Betrieb wirtschaftlich und ökologisch fragwürdig machen.

Im vorliegenden Fall liegt die flächenspezifische Wärmebedarfsdichte je nach Gebäude-Energiestandard zwischen 580 und 940 MWh/(ha a) und damit auch im kritischsten Fall (geringste Wärmedichte bei einheitlichem Passivhaus-Standard) deutlich über dem kritischen Wert von 300 MWh/(ha a). Geht man von einer Trassenlänge des Wärmenetzes im Quartier von etwa 1.400 m aus, liegt auch die minimale Linien-Wärmebedarfsdichte mit 3,6 MWh/(m a) in einem unkritischen Bereich. **Die hohe Bebauungsdichte ermöglicht auch bei flächendeckender Realisierung des Passivhaus-Standards einen sinnvollen und wirtschaftlichen Betrieb einer Fernwärmeversorgung.**

6.3.3 Strombedarf für die Gebäude im Baugebiet

Der Stromverbrauch in Privathaushalten (Sektor Wohnen) ist sehr stark von der Geräteausstattung, der Haushaltsgröße und dem Nutzerverhalten abhängig (siehe

Abbildung 25). Zur Abschätzung des vermutlichen Haushaltsstromverbrauchs im Baugebiet wurde ein mittlerer, aktueller Stromverbrauch mit einer mittleren Wohnungsbelegung von 2,2 Personen je Haushalt nach dem Stromspiegel 2017 und eine mittlere Wohnfläche von 36 m²/Pers angesetzt.

Mit diesen Annahmen ergibt sich ein **prognostizierter Haushaltsstrombedarf von 2.117 MWh/a**. Bezogen auf die angenommene beheizte Wohnfläche des gesamten Baugebiets ergibt dies einen mittleren spezifischen Haushaltsstrombedarf von etwa 26,5 kWh_{Strom}/(m² a).

Je nach dezentralem Wärmeversorgungssystem und abhängig von der Installation weiterer Haustechnikanlagen wie Lüftungsanlage oder Solaranlage kommt zu diesem Strombedarf noch der zusätzliche Hilfsstrom und bei elektrischen Wärmepumpen deren Antriebsstrom hinzu.

Im Falle einer Wärmeversorgung durch Fernwärme und einer Ausstattung der Wohnungen mit Abluftanlagen kann der **Hilfsstrombedarf** für Heizung, Warmwasser und Lüftung in den Gebäuden mit rund **125 MWh/a** abgeschätzt werden.

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering					Sehr hoch	
			A	B	C	D	E	F	G
Ein- oder Zweifamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 1.300	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	über 4.000
		2 Personen	bis 2.100	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.200	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
		3 Personen	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.200	über 5.200
		4 Personen	bis 2.900	bis 3.500	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.900	über 5.900
	mit Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.600	bis 5.000	über 5.000
		2 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.800	über 5.800
		3 Personen	bis 3.000	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.700	bis 7.300	über 7.300
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.800	bis 5.500	bis 6.300	bis 8.000	über 8.000
Wohnung im Mehrfamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.000	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.200	über 2.200
		2 Personen	bis 1.300	bis 1.600	bis 2.000	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.100	über 3.100
		3 Personen	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.900	über 3.900
		4 Personen	bis 1.900	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.500	über 4.500
	mit Strom	1 Person	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.000	bis 2.400	bis 3.000	über 3.000
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
		3 Personen	bis 2.600	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.100	bis 4.700	bis 5.600	über 5.600
		4 Personen	bis 2.800	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.600	bis 5.400	bis 6.500	über 6.500

Die Spannweite des Stromverbrauchs ist groß – je nach Geräteausstattung und Nutzung. Sie erfordert eine detaillierte Differenzierung der Verbrauchsdaten.
Die Klassen A bis G bilden jeweils 14,3 Prozent der Haushalte ab. Grundlage für die Vergleichswerte sind 161.000 Verbrauchsdaten und aktuelle Studien der Projektpartner.

Abbildung 25: Stromspiegel für Deutschland 2017, Stromverbräuche nach Haushaltsgrößen. Quelle: Die Stromsparinitiative, www.die-stromsparinitiative.de

Bei den Nichtwohngebäuden schwanken die spezifischen Stromverbräuche sehr stark je nach Nutzung. Für Gewerbe wurde ein mittlerer Strombedarf von 40 kWh/(m² a) angesetzt. Mit dieser Annahme ergibt sich ein jährlicher **Strombedarf für die Nichtwohngebäude von rund 335 MWh/a**.

Insgesamt kann somit der **prognostizierte Strombedarf für die Gebäude** mit rund **2.635 MWh/a** abgeschätzt werden. Darin nicht enthalten sind Strom für die Außen- und Straßenbeleuchtung, für Elektromobilität und die Hilfsenergie für ein eventuelles Wärmenetz im Areal.

7 Ökonomische und ökologische Bewertung von Gebäude-Energiestandards und Wärmeversorgungssystemen

7.1 Methodik der Bewertung und Randbedingungen

7.1.1 Ziel der Bewertungen

Gebäude-Energiestandards

Je nachdem, mit welchen Wärmeversorgungssystemen ein Gebäude-Energiestandard kombiniert wird, ergeben sich unterschiedliche Umweltwirkungen und Beeinflussung der Wirtschaftlichkeit. Ziel der Untersuchung ist, verschiedene Gebäude-Energiestandards miteinander zu vergleichen.

Bewertung der Wärmeversorgungssysteme

Aus Sicht des Investors, Bauherrn oder Nutzers stehen zudem verschiedene dezentrale, d.h. im Gebäude betriebene Wärmeversorgungsarten in Konkurrenz zum Anschluss an die Fernwärme. Ziel der Untersuchung ist, dezentrale und zentrale Versorgungssysteme vergleichbar zu bewerten. Zum Nachweis, dass die Fernwärme für die Nutzer nicht teurer ist als übliche dezentrale Wärmeversorgungssysteme und somit ein eventueller Anschlusszwang nicht unbillig ist, wird im Rahmen des Energiekonzepts anhand der Mustergebäude ein Gesamtkostenvergleich (Vollkosten) zwischen den Systemen erstellt.

7.1.2 Methodik der Bewertung

Insgesamt werden vier Indikatoren für die Bewertung der Varianten verwendet:

- Nutz- und Endenergiebedarf als Maß für den energetischen Aufwand;
- Primärenergiebedarf und Treibhausgas(THG)-Emissionen als Maß für die Umweltwirkungen;
- Investitionen als Maß für den wirtschaftlichen Ressourceneinsatz;
- Annuitätische Gesamtkosten als Maß für die Wirtschaftlichkeit.

Die Gesamtkosten werden anhand einer Wirtschaftlichkeitsberechnung in Anlehnung an die VDI 2067 ermittelt. Die erforderlichen Investitionen für die unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme werden grob abgeschätzt. Außerdem werden erforderliche Mehrinvestitionen für verbesserte Dämmstandards im Vergleich zum EnEV-Referenzgebäude und der erhöhte Planungsaufwand bei besseren Energiestandards berücksichtigt.

Die ökologische Bewertung erfolgt anhand der Indikatoren Primärenergiebedarf als Maß für den Ressourcenverbrauch und THG-Emissionen als Maß für die Klimarelevanz.

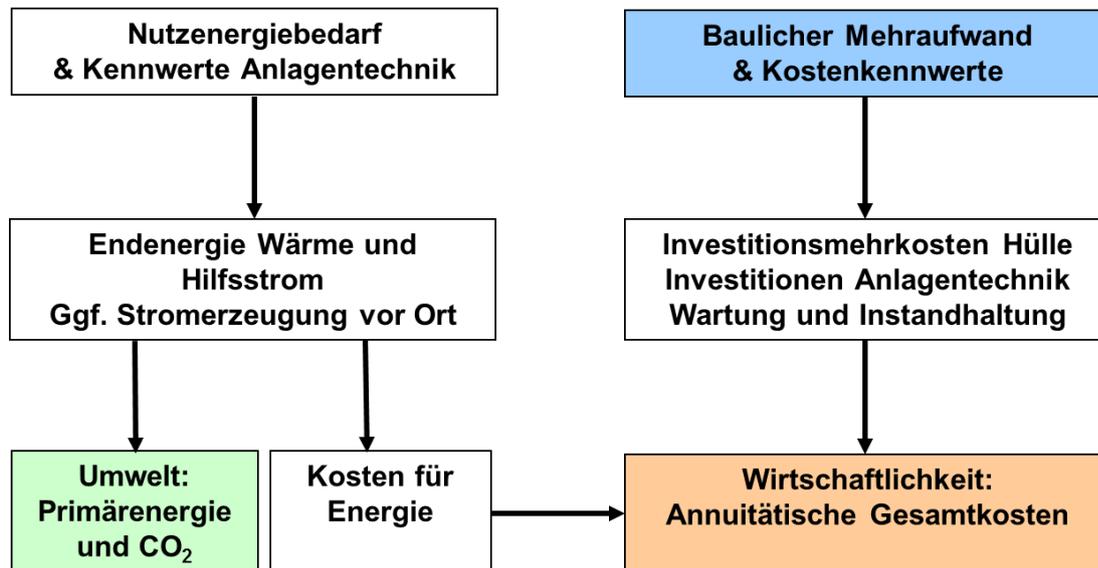


Abbildung 26: Ablaufschema für die Wirtschaftlichkeitsbewertung

7.1.3 Berechnung des voraussichtlichen Wärmebedarfs

Für die ökologische und wirtschaftliche Untersuchung wird der voraussichtliche Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser verwendet, der anhand angepasster Randbedingungen berechnet wird und nicht mit den Standard-Randbedingungen nach EnEV. Folgende Randbedingungen wurden geändert:

- Der Heizwärmebedarf wird mit Klimadaten für die Klimaregion 13 (Passau) nach DIN V 18599 berechnet und nicht für das Referenzklima Potsdam der EnEV.
- Die inneren Wärmequellen durch Personen wurden angepasst.
- Es wurde mit einer mittleren Verschattung der Fenster von 80% gerechnet.
- Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Gebäude wurde von 50 auf 90 Wh/(m²K) erhöht.
- Der Warmwasserbedarf wurde mit 600 kWh/a je Person angesetzt, wobei im Mittel von einer Belegung mit 2,2 Personen je Wohneinheit (36 m²/Person) ausgegangen wird.

7.1.4 Randbedingungen für die ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung werden folgende Werte verwendet:

Tabelle 4: Allgemeine Randbedingungen für die ökologische Bewertung

Primärenergie-Faktoren (nicht erneuerbarer Anteil)		
Erdgas	1,10	(DIN V 18599)
Holzpellet	0,20	(DIN V 18599)
Strom	1,80	(EnEV 2014)
Strom Verdrängung KWK	2,80	(EnEV 2014)
Fernwärme Ulm	0,26	(FUG)
CO₂-Äquivalente zur Berechnung der Treibhausgas-Emissionen		
Erdgas	0,250 kg/kWh	(GEMIS 4.95 – 01/2017)
Holzpellet	0,029 kg/kWh	(GEMIS 4.95 – 01/2017)
Strom, Stromnetz lokal, 2015	0,565 kg/kWh	(GEMIS 4.95 – 01/2017)
Fernwärme Ulm	0,073 kg/kWh	(FUG)

7.1.5 Randbedingungen für die wirtschaftliche Bewertung

Folgende allgemeinen Randbedingungen werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verwendet.

Tabelle 5: Allgemeine Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Allgemeine Randbedingungen			
Ermittlung Investitionen	Kostenprognose ebök		
Berücksichtigung Förderung	mit und ohne Förderung		
Kalkulationszinssatz	3%		
Betrachtungszeitraum	20 Jahre		
Berücksichtigung Restwert	ja		
Betriebsgebundene Kosten	nach VDI 2067		
Rechnerische Nutzungsdauer	nach VDI 2067		
Allgemeine Teuerungsrate	2,26%	2,94%	pro Jahr
Mittlere Energiepreissteigerung zwischen 2017 und 2037 (nominal)	Grund- variante	Hochpreis Variante	
Heizöl Haushalte	3,79%	4,93%	pro Jahr
Arbeitspreis Erdgas Haushalte	3,39%	4,41%	pro Jahr
Arbeitspreis Strom/WP-Strom Haushalte	2,23%	2,89%	pro Jahr
Holzpellet Haushalte	3,42%	4,45%	pro Jahr
Arbeits- + Emissionspreis Fernwärme	3,09%	4,02%	pro Jahr

Dabei beruhen die mittleren Energiepreissteigerungen während der nächsten 20 Jahre auf den Annahmen der Energierferenzprognose [BMWT 2014] für die Refe-

renzprognose/Trendszenario, die von Prognos AG, GWS⁶ und EWI⁷ 2014 für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie erstellt wurde. Mit diesen Werten wurde auch die mittlere Preissteigerung der FUG berechnet. Für Holzpellet wurde die mittlere Preissteigerung von Erdöl, Erdgas und Fernwärme verwendet, da die Studie für diese keine Werte nennt.

Als Endkunden-Energiepreise für Strom und Erdgas werden die Tarifpreise der Stadtwerke Ulm (SWU) für Privatkunden und für Fernwärme die Preise der Fernwärme Ulm GmbH (FUG) mit Tarifstand September 2017 verwendet. Für Holzpellet wird der mittlere Preis in Deutschland bei Lieferung von 5 Tonnen Pellets nach C.A.R.M.E.N für September 2017 verwendet. Dieser liegt nahe am mittleren Preis für 2017.

Tabelle 6: Verwendete Energietarife für Haushalte, Stand Oktober 2017

Energietarife	
Erdgas-Tarif, ohne MwSt. (SWU SchwabenGas Online)	
Grundpreis, netto	120,00 EUR/a
Arbeitspreis, netto	38,99 EUR/MWh
Verrechnungspreis	0,00 EUR/a
Fernwärme Ulm FUG, ohne MwSt.	
Grundpreis, netto	50,42 EUR/(kW a)
Arbeitspreis, netto	49,66 EUR/MWh
Verrechnungspreis	61,36 EUR/a
Wärmepumpenstrom inkl. Umlagen, ohne MwSt. (SWU Energie GmbH)	
Grundpreis, netto	49,00 EUR/a
Arbeitspreis, netto	180,43 EUR/MWh
Haushaltsstrom inkl. Umlagen, ohne MwSt. (SWU NaturStrom Online)	
Grundpreis, netto	96,81 EUR/a
Arbeitspreis, netto	204,62 EUR/MWh
Bezugspreis Holzpellet ohne MwSt., bezogen auf Heizwert (C.A.R.M.E.N. e.V.)	
bei Lieferung von 5 Tonnen	40,78 EUR/MWh

⁶ Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung, Osnabrück

⁷ Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln

7.2 Beschreibung der Mustergebäude und der Varianten bezüglich Energie-Standards und Wärmeversorgungssystemen

7.2.1 Untersuchte Mustergebäude

Die Untersuchungen wurden auf Grundlage der bereits im Abschnitt 6.2.1 beschriebenen Mustergebäude durchgeführt. Zum einen wurde das Mustergebäude 3 (Blockrand-Eckbau) untersucht, zum anderen der U-förmige Baukörper im Baufeld F, der aus 2 Zeilen-Endbauten, 2 Blockrand-Eckbauten und 1 Zeilen-Mittelbau besteht.

Mustergebäude 1: Großer Geschosswohnungsbau, Hochhaus

9 Vollgeschosse, 2.700 m² WF, 36 Wohneinheiten

Mustergebäude 2: Geschosswohnungsbau als Punkthaus

4 Vollgeschosse mit Staffelgeschoss, 1.400 m² WF,
18 Wohneinheiten

Mustergebäude 3: Geschosswohnungsbau als Blockrand-Mittelbau

4 Vollgeschosse mit Staffelgeschoss, 1.170 m² WF
14 Wohneinheiten

7.2.2 Untersuchte Varianten bezüglich Energie-Standards und Wärmeversorgungssystemen

Aus den Voruntersuchungen zu verfügbaren Energieträgern und zu den Kombinationen von Gebäude-Energiestandard und Wärmeversorgungssystemen wurden in Absprache mit dem Auftraggeber folgende 13 Varianten für die vergleichenden ökonomischen und ökologischen Untersuchungen ausgewählt:

- 1 Referenzvariante: EnEV-Standard, Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage, Abluftanlage
- 2 EnEV-Fernwärme: Gebäudehülle entsprechend EnEV, Anschluss an Fernwärme, Abluftanlage
- 3 EnEV-WP: Gebäudehülle entsprechend EnEV, Wärmepumpe (Geothermie), Abluftanlage
- 4 EnEV-Pelletkessel: Gebäudehülle entsprechend EnEV, Pelletkessel, Abluftanlage
- 5 EH55-Fernwärme: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH55, Anschluss an Fernwärme, Abluftanlage

- 6 EH55-WP: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH55, Wärmepumpe (Geothermie), Abluftanlage
- 7 EH55-Pelletkessel: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH55, Pelletkessel, Abluftanlage
- 8 EH40-Fernwärme: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Anschluss an Fernwärme, Abluftanlage
- 9 EH40-WP: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Wärmepumpe (Geothermie), Abluftanlage
- 10 EH40-Pelletkessel: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Pelletkessel, Abluftanlage
- 11 PH-Fernwärme: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Anschluss an Fernwärme, Zu-/Abluftanlage mit WRG
- 12 PH-WP: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Wärmepumpe (Geothermie), Zu-/Abluftanlage mit WRG
- 13 PH-Pelletkessel: Gebäudehülle entsprechend KfW-EH40, Pelletkessel, Zu-/Abluftanlage mit WRG

Tabelle 7: Übersicht über die untersuchten Varianten (gelbe Zahlen verweisen auf obige Liste)

Untersuchte Kombinationen mit entsprechendem Gebäude-Energiestandard in GRÜN		Qualität Gebäudehülle		
Wärmeversorgungssystem	Sonstige Haustechnik	EnEV 2016	KfW-EH55	KfW-EH40
Dezentral mit Gas-BW-Kessel, Solaranlage	Abluftanlage			EnEV 1
Fernwärme Ulm	Abluftanlage	EnEV 2	EH55 5	EH40 8
	Zu-Abluft+WRG			PH 11
Dezentral mit S/W-Wärmepumpe	Abluftanlage	EnEV 3	EH55 6	EH40 9
	Zu-Abluft+WRG			PH 12
Dezentral mit Pelletkessel	Abluftanlage	EnEV 4	EH55 7	EH40 10
	Zu-Abluft+WRG			PH 13

Bei den Wärmeversorgungssystemen handelt es sich um die in Abschnitt 6.2.2 beschriebenen Systeme:

- Gas-BW-Kessel in Verbindung mit thermischer Solaranlage zur Warmwasserbereitung (erforderlich zur Erfüllung des EEWärmeG);
- Anschluss mit Wärmeübergabestation an die Fernwärme Ulm;
- Elektrische Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Wärmequelle Erdsonden oder Abwasserkanal;
- Pelletkessel.

7.3 Energiebilanzen und Umweltwirkungen

7.3.1 Nutzwärme, nutzbare Wärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie

Bei der Nutzenergie handelt es sich um die erforderliche Energie für eine bestimmte „Energie-Dienstleistung“, hier im Besonderen um die Wärme, die erforderlich ist um die gewünschte Raumtemperatur einzuhalten (Heizwärmebedarf) bzw. die Wärme, die im Warmwasser beim Austritt aus Wasserhahn oder Duschkopf enthalten ist.

Die Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung bezieht sich auf die vom jeweiligen Wärmeerzeuger abgegebene nutzbare Wärme. Sie enthält zusätzlich zur Nutzenergie die Verluste von Wärme- und Warmwasserverteilung und Speicherung. Die Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung ist ein Maß dafür, wieviel Energie für ein bestimmtes Gebäude unabhängig von der Wärmeerzeugung bereitgestellt werden muss.

Bei der Endenergie handelt es sich um den abgerechneten Energiebezug, d.h. hier sind zusätzlich noch die Verluste der Erzeugung enthalten, jedoch nicht mehr der Anteil, der von Solaranlagen oder durch Umweltwärme in Verbindung mit Wärmepumpen gedeckt wird. Die Endenergie ist immer an einen bestimmten Energieträger gebunden und bestimmt somit die Energiekosten. Gleichzeitig ist die Endenergie die Ausgangsgröße, mit der in Verbindung mit Primärenergiefaktoren und THG-Faktoren die Umweltwirkungen berechnet werden.

Mustergebäude 1: Hochhaus

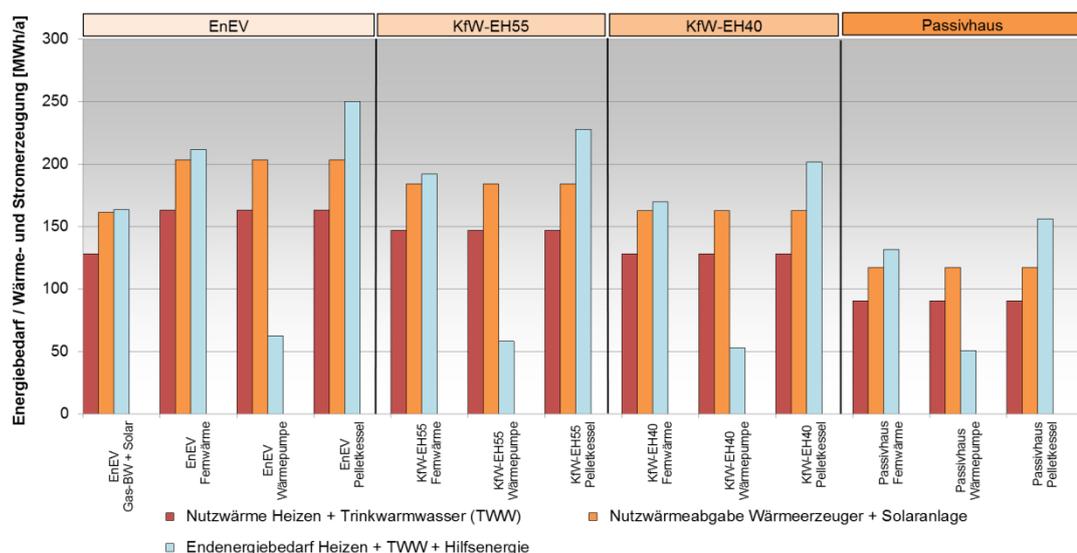


Abbildung 27: Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeugung und Endenergie für die Varianten des **Hochhauses**

Mustergebäude 2: Punkthaus

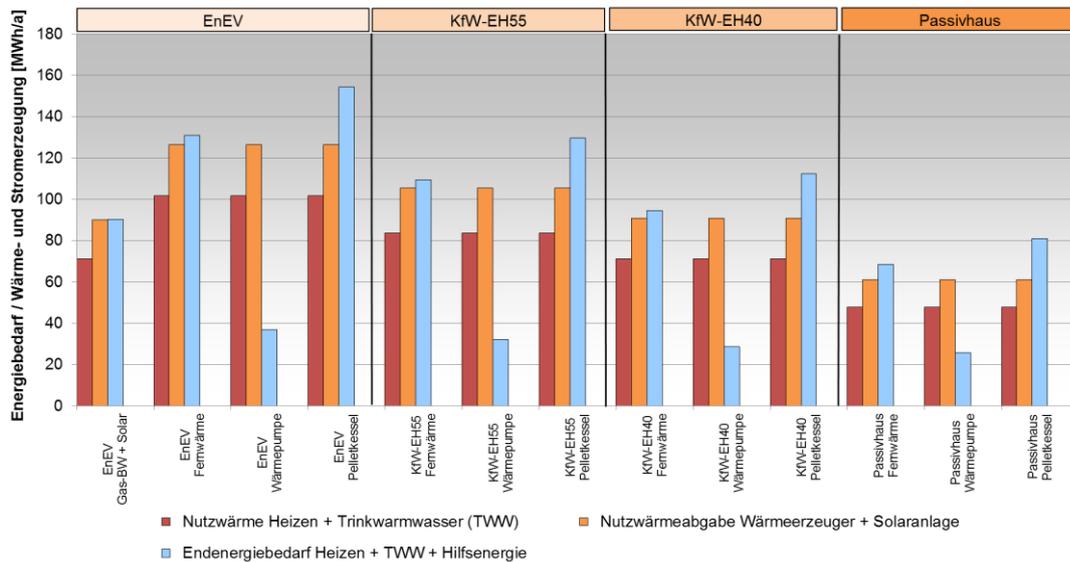


Abbildung 28: Nutzwärmeabgabe der Wärmereizerzeugung und Endenergie für die Varianten des **Punkt-hauses**

Mustergebäude 3: Blockrand-Mittelbau

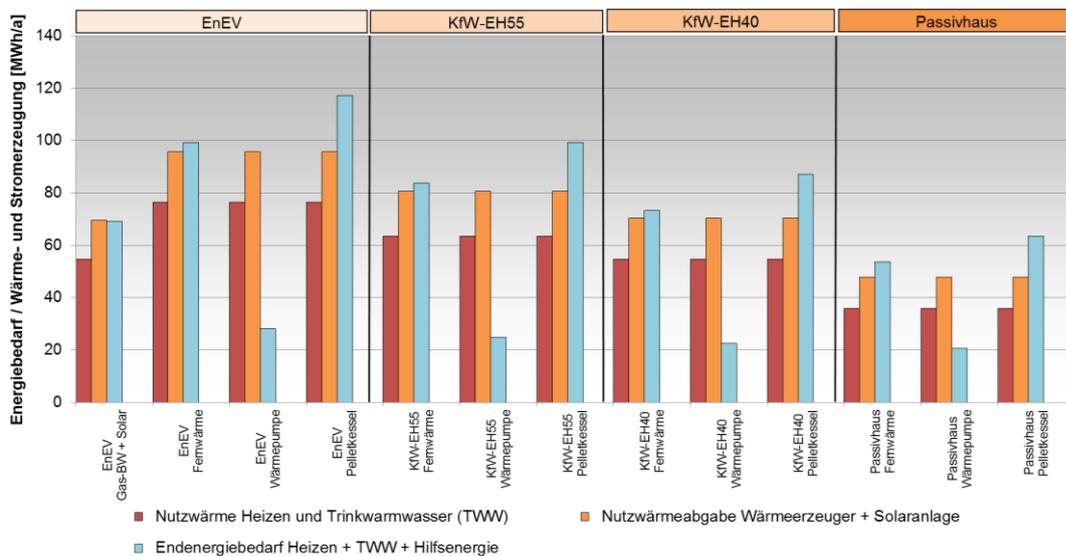


Abbildung 29: Nutzwärmeabgabe der Wärmereizerzeugung und Endenergie für die Varianten des **Blockrand-Mittelbaus**

Bei allen Varianten ist die Nutzwärme für Warmwasser identisch, sie unterscheiden sich nur durch unterschiedlichen Heizwärmebedarf. Bei der Variante **EnEV-Gas-BW+Solar** ist der Heizwärmebedarf kleiner als bei den anderen EnEV-Varianten, da das Gebäude eine Hülle entsprechend Effizienzhaus-40 hat. Die Verluste der Wärmereizerzeugung werden durch den Beitrag der thermischen Solaranlage kompensiert,

so dass die Endenergie Erdgas in etwa gleich hoch ist wie die Nutzwärmeabgabe des Gaskessels. Bei den Varianten mit Wärmepumpe handelt es sich bei der Endenergie um Strom. Die Differenz zur Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers wird durch Umweltwärme gedeckt.

7.3.2 Primärenergiebedarf und Treibhausgas(THG)-Emissionen

Die Umweltwirkungen werden ausgehend von der Endenergie mit den von den Energieträgern abhängigen Faktoren für Primärenergie und THG berechnet.

Mustergebäude 1: Hochhaus

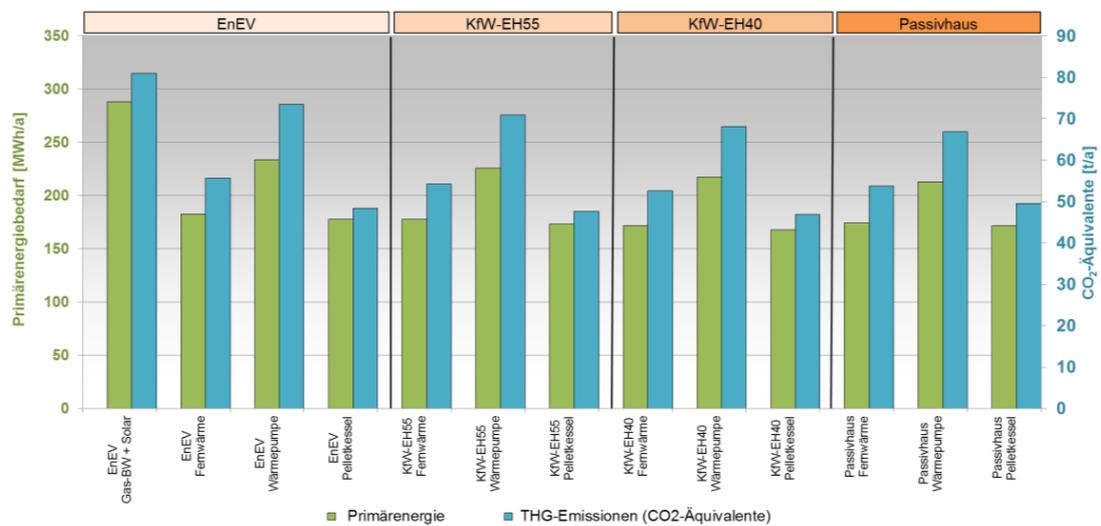


Abbildung 30: Umweltwirkungen der Varianten des **Hochhauses**

Mustergebäude 2: Punkthaus

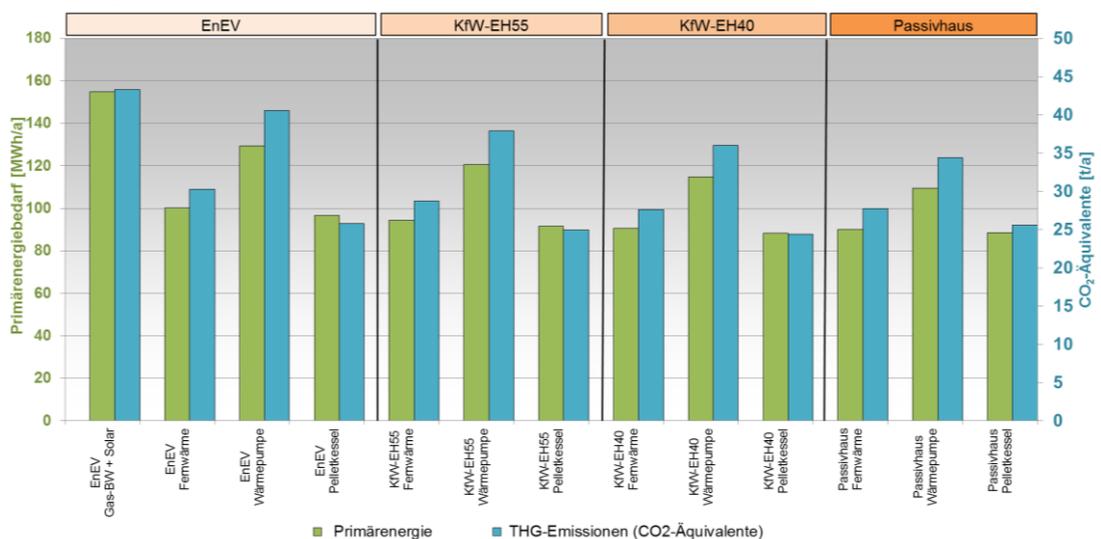


Abbildung 31: Umweltwirkungen der Varianten des **Punkthauses**

Mustergebäude 3: Blockrand-Mittelbau

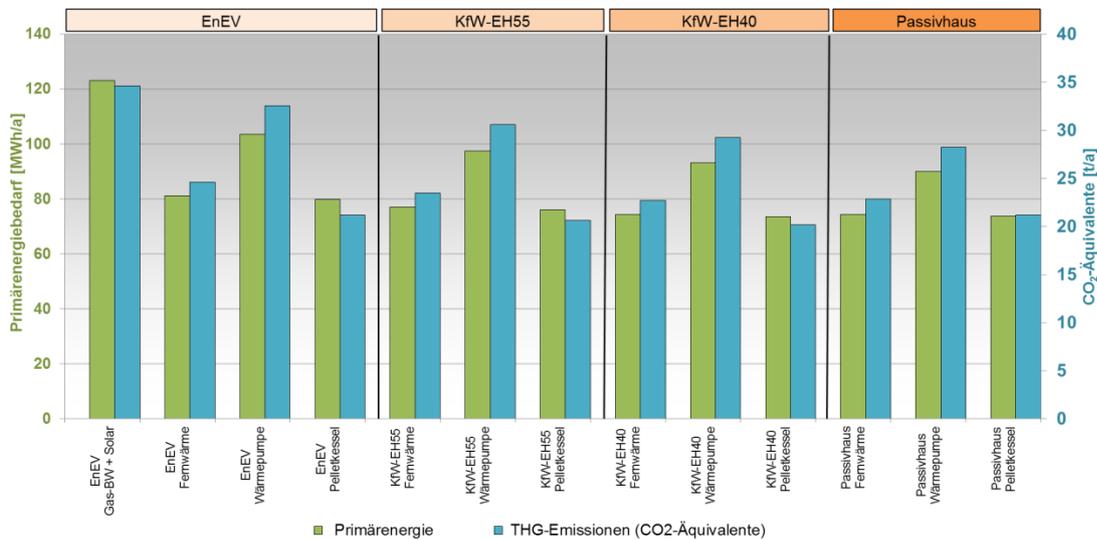


Abbildung 32: Umweltwirkungen der Varianten des **Blockrand-Mittelbaus**

Die 3 Mustergebäude verhalten sich bezüglich der Umweltindikatoren sehr ähnlich. Primärenergiebedarf und THG-Emissionen nehmen mit steigendem Gebäude-Energiestandard ab, wobei der Unterschied zwischen Effizienzhaus-40 und Passivhaus nur noch minimal ist.

Bei den Wärmeversorgungssystemen schneidet die gasversorgte Variante trotz Kompensationsmaßnahmen am Schlechtesten ab. Dezentrale Wärmeerzeugung mit Pelletkesseln erreicht die niedrigsten Werte. Ein Anschluss an die Fernwärme Ulm führt zu geringfügig höheren Werten. Dagegen ist die Lösung mit Wärmepumpen deutlich schlechter.

7.4 Vergleich der Investitionen

Für den Vergleich der erforderlichen Investitionen je Variante wurden bei den baulichen Maßnahmen nur die **Mehrkosten** gegenüber dem EnEV-Referenzgebäude berücksichtigt, die für die Erfüllung des entsprechenden Energiestandards notwendig sind. Dabei wurden auch höhere Planungskosten z.B. für den detaillierten Nachweis von Wärmebrücken berücksichtigt. So hat z.B. beim Hochhaus bereits die EnEV-Variante Mehrkosten, da Außenwand und Dach besser gedämmt werden müssen als das Referenzgebäude, um die Anforderungen von Tabelle 2 im Anhang 1 zur EnEV einzuhalten. Die Variante **EnEV-Gas-BW+Solar** hat noch höhere Mehrkosten, da das Gebäude eine Hülle entsprechend Effizienzhaus-40 benötigt, um die EnEV einzuhalten.

Bei den Wärmeversorgungssystemen wurden die Vollkosten von den Komponenten angesetzt, die sich von einer zur anderen Variante unterscheiden können. Dabei handelt sich insbesondere um Medienanschluss, eventuelle Brennstofflager, Wärmeerzeuger, Abgasanlagen, Erschließung von Wärmequellen für Wärmepumpen, Speicher, Installationen in der Heizzentrale, Wärmeübergabesystem (i.d.R. Heizkörper, bei Wärmepumpen Fußbodenheizung), Lüftungsanlage und eventuelle thermische Solaranlagen oder PV-Anlagen. Bei diesen Investitionen wurden jeweils 20% Planungshonorar berücksichtigt.

Bei dem Vergleich der Investitionen wurden keine Förderungen berücksichtigt.

Mustergebäude 1: Hochhaus

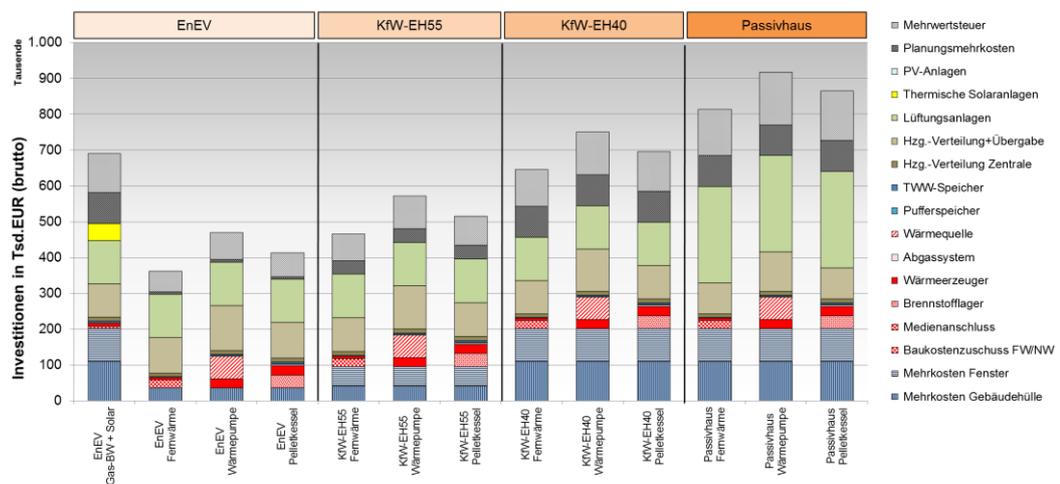


Abbildung 33: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des **Hochhauses**

Mustergebäude 2: Punkthaus

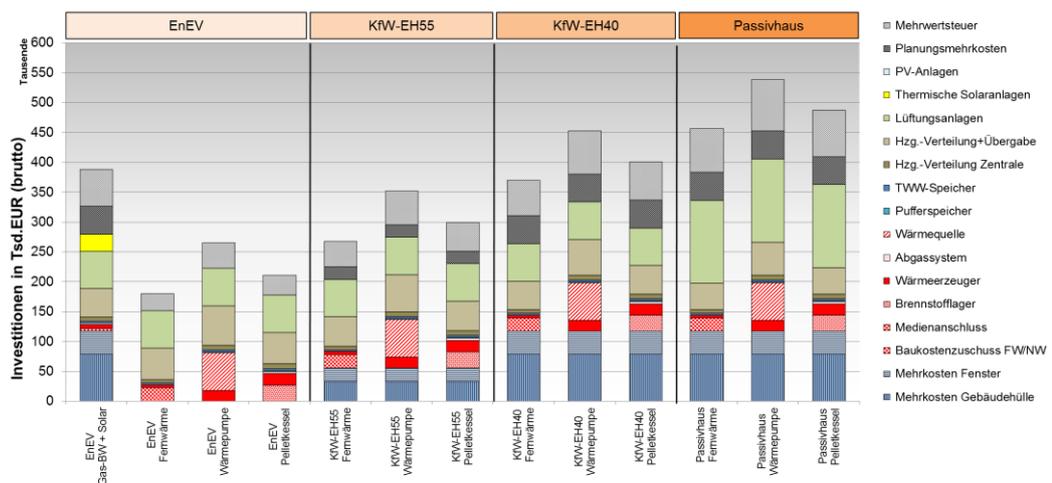


Abbildung 34: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des **Punkthauses**

Mustergebäude 3: Blockrand-Mittelbau

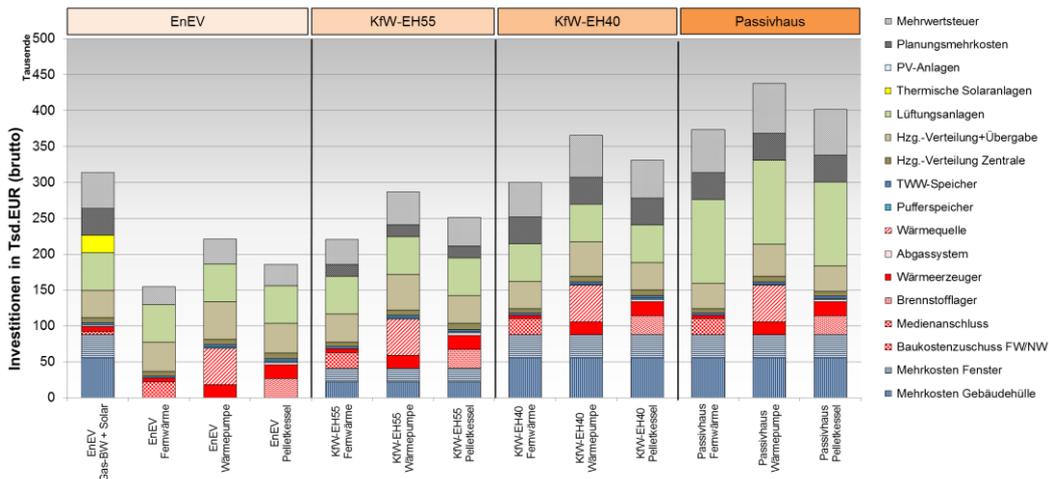


Abbildung 35: (Mehr-)Investitionen für die Varianten des **Blockrand-Mittelbaus**

Die 3 Mustergebäude verhalten sich bei den Investitionen ähnlich. Diese steigen deutlich mit höheren Energiestandards. Ausnahme bildet die gasversorgte Variante, bei der die erforderlichen Kompensationsmaßnahmen zur Einhaltung des EnEV-Standards deutlich ins Gewicht fallen. Bei den Wärmeversorgungssystemen ist ein Fernwärmeanschluss mit den geringsten Investitionen verbunden. Wärmepumpenanlagen sind vor allem durch die erforderliche Erschließung der Wärmequelle deutlich teurer.

7.4.1 Beurteilung von Mehrkosten bei unterschiedlichen Gebäude-Energiestandards

Der in Verbindung mit der zunehmenden Wohnungsnachfrage in den letzten Jahren festgestellte Anstieg der Baukosten hat zu einer lebhaften Diskussion über den Zusammenhang zwischen erhöhten energetischen Anforderungen und steigenden Baukosten geführt. Verschiedene Studien haben sich mit dieser Frage beschäftigt. **Dabei wurde weitgehend übereinstimmend festgestellt, dass eine Erhöhung von Energiestandards zu höheren Baukosten führt.** Dies ist insbesondere einleuchtend, wenn – wie in der vorliegenden Untersuchung – die Mehrkosten von Dämmmaßnahmen oder effizienterer Haustechnik anhand von Muster- oder Typengebäuden untersucht werden. Wenn sich ansonsten nichts am Gebäude ändert, müssen mehr Dämmung, bessere Fenster oder zusätzliche Wärmerückgewinnung zwangsweise zu höheren Investitionen führen.

Andererseits wird in einigen Studien oder Untersuchungen auch festgestellt, dass bei der Auswertung von realisierten Projekten kein statistisch signifikanter Zusam-

menhang zwischen Energiestandard und Höhe der Baukosten festgestellt werden kann (siehe dazu z.B. [F+B 2016]. Der Effekt wird von anderen Faktoren überlagert.

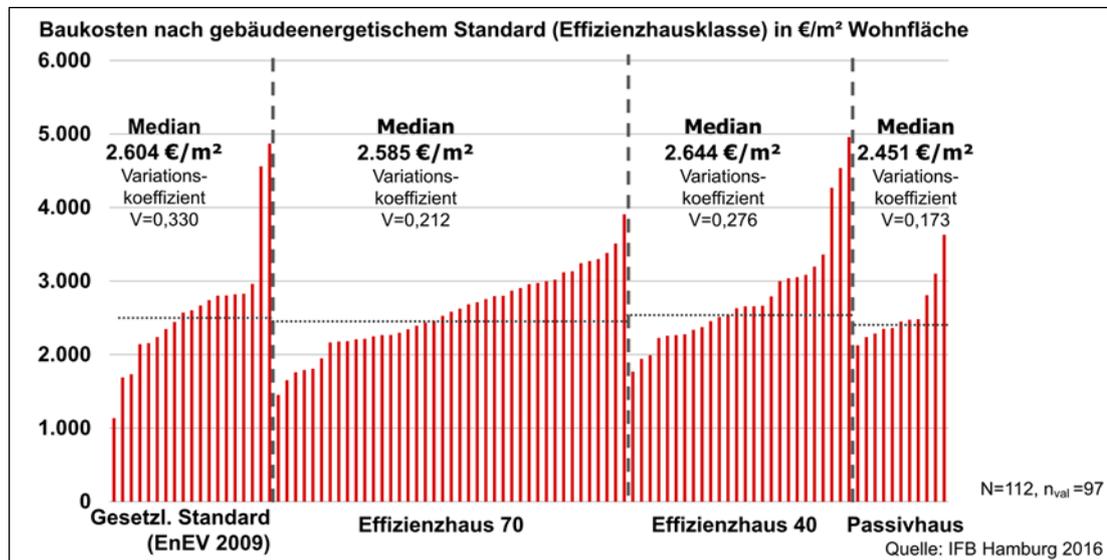


Abbildung 36: Baukosten (Kostengruppe 300-700) nach Gebäudeenergie-Standard in EUR/m² Wohnfläche. Angaben incl. Mehrwertsteuer (brutto). Quelle [F+B 2016]

Dies führt zu der Hypothese, dass kostengünstige Lösungen wesentlich an der gestellten Aufgabe und dem verfügbaren Budget orientiert ist. Dort müssen die entscheidenden Prioritätssetzungen erfolgen. Die Deklination von Mustergebäuden in verschiedenen Energiestandards kann hierauf nur eine begrenzte Antwort geben.

7.5 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht

Die Wirtschaftlichkeit von Gebäude-Energiestandard und Wärmeversorgungssystem wurde anhand von annuitätischen Gesamtkosten geprüft, die nach einer Wirtschaftlichkeitsberechnung in Anlehnung an die VDI 2067 ermittelt wurden.

Dabei werden folgende Annuitäten unterschieden:

- Annuität für die Mehrinvestition in die Gebäudehülle aufgrund energetischer Anforderungen;
- Annuität für die Investition in das Wärmeversorgungssystem und die Lüftungstechnik;
- Annuität für Wartung und Instandhaltung der Gebäudetechnik;
- Annuität der Energiekosten.

Im Vergleich aller Varianten wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung keine Förderung berücksichtigt. In die mittleren jährlichen Gesamtkosten werden allerdings

eventuelle Vergütungen für eingespeisten Strom aus PV- oder KWK-Anlagen eingerechnet. Im vorliegenden Vergleich war dies bei keiner Variante der Fall.

Mustergebäude 1: Hochhaus

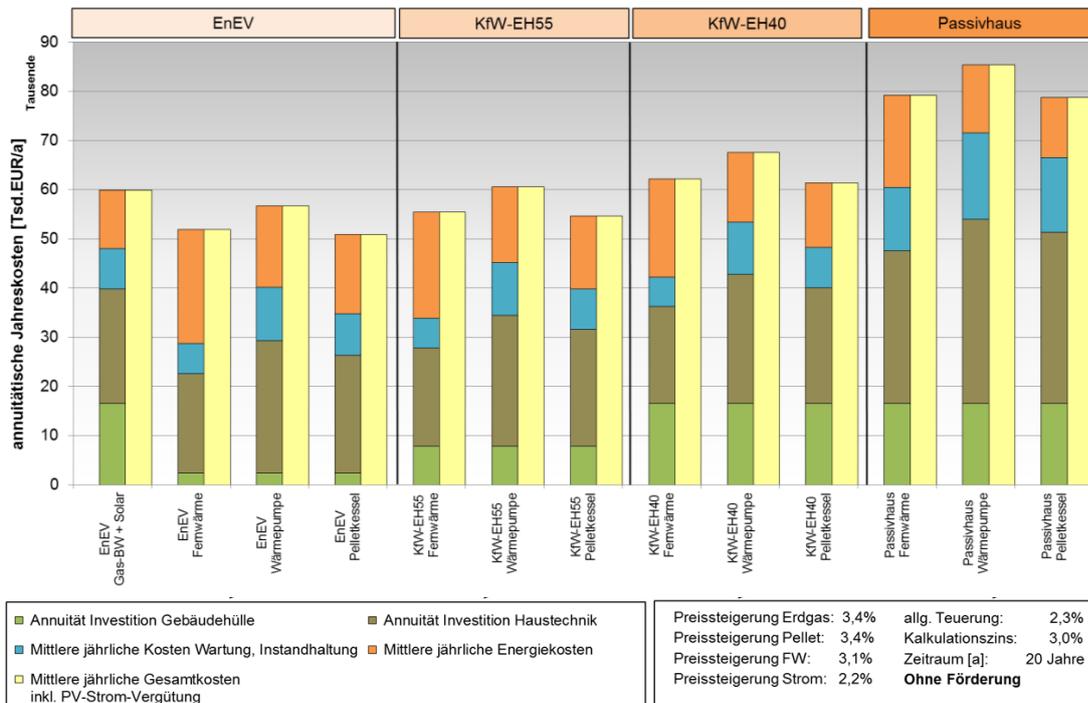


Abbildung 37: Vollkostenvergleich für die Varianten des **Hochhauses**

Wird die öffentliche KfW-Förderung für Effizienz- und Passivhäuser berücksichtigt, ergeben sich für die Variante mit Fernwärmeanschluss folgende Gesamtkosten:

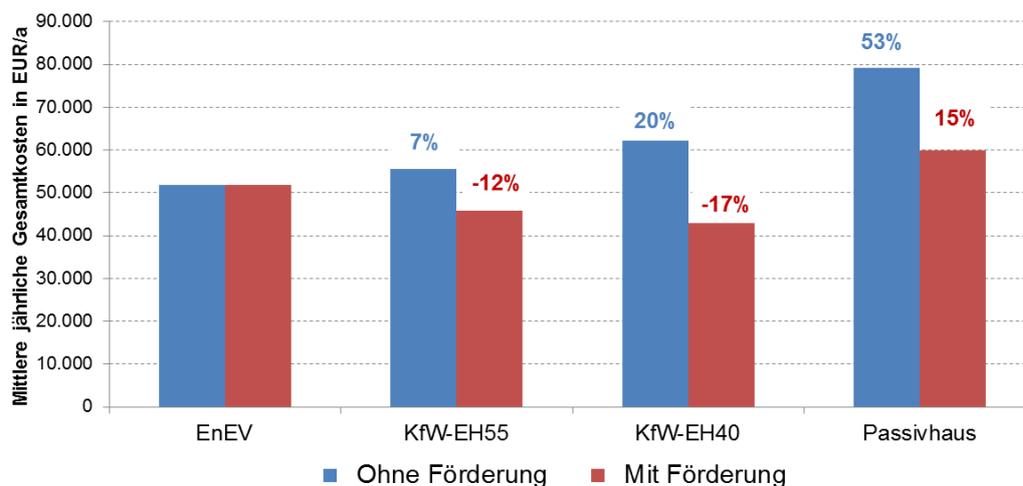


Abbildung 38: Vollkostenvergleich **mit und ohne Förderung** für die Variante **Fernwärmeanschluss** des **Hochhauses**

Mustergebäude 2: Punkthaus

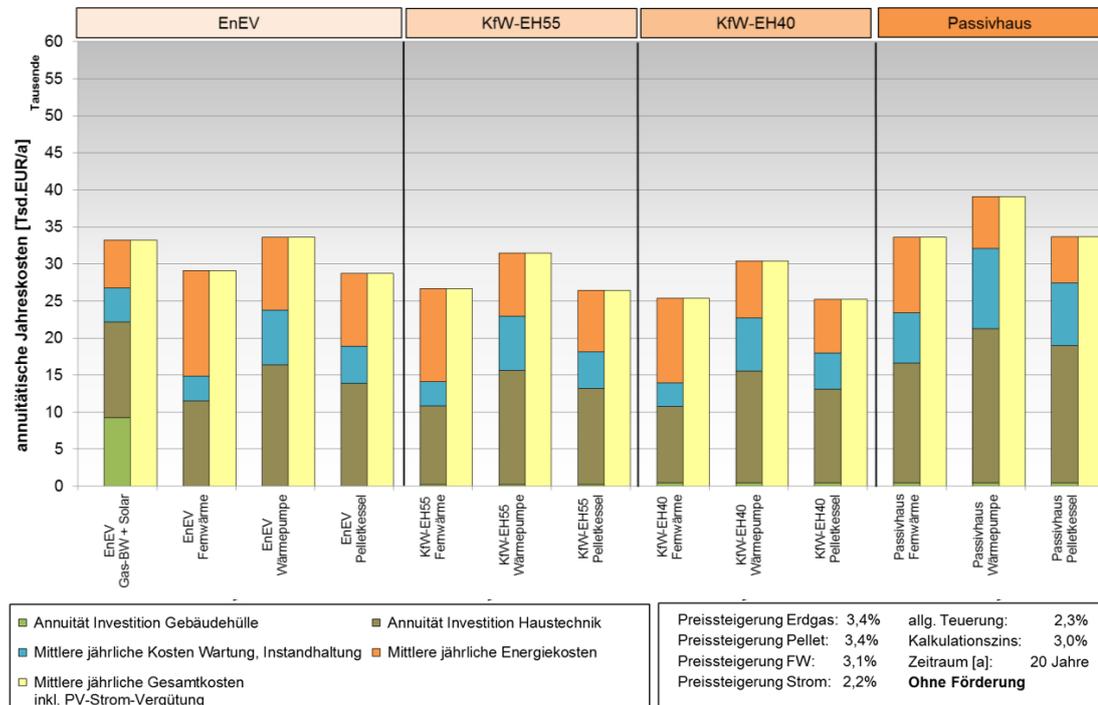


Abbildung 39: Vollkostenvergleich für die Varianten des Punkthauses

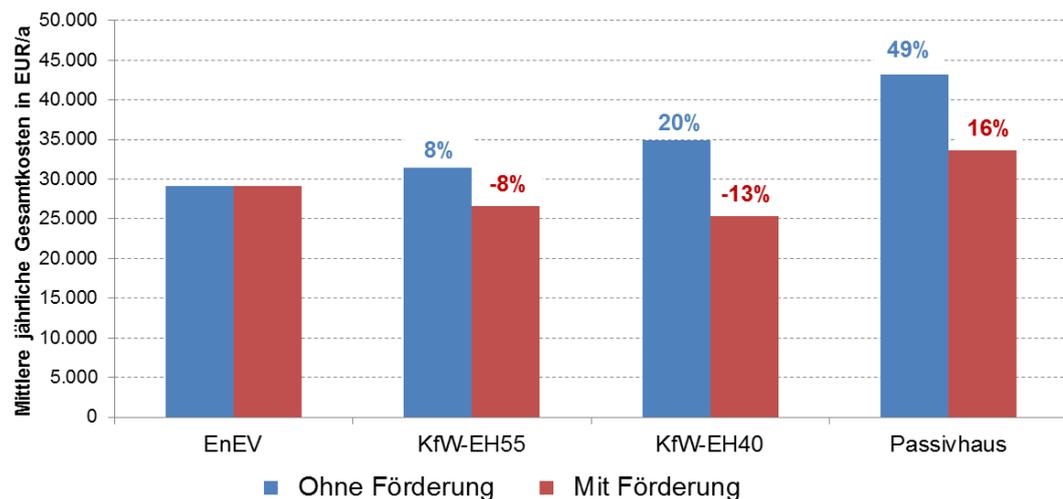


Abbildung 40: Vollkostenvergleich mit und ohne Förderung für die Variante Fernwärmeanschluss des Punkthauses

Mustergebäude 3: Blockrand-Mittelbau

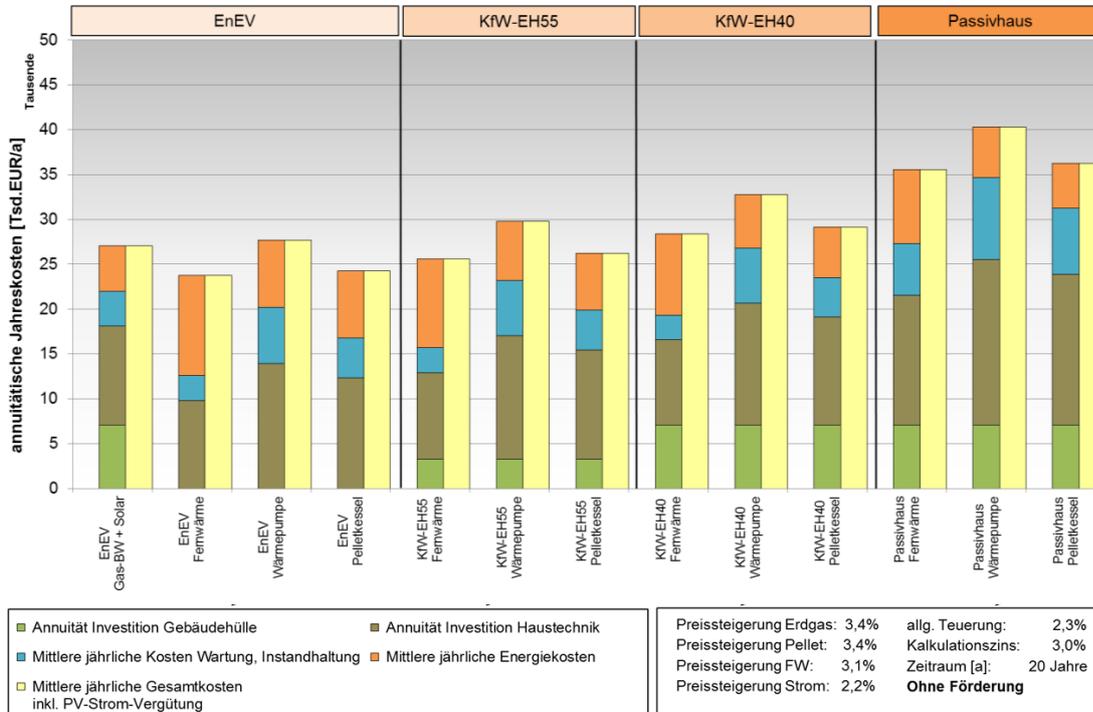


Abbildung 41: Vollkostenvergleich für die Varianten des **Blockrand-Mittelbaus**

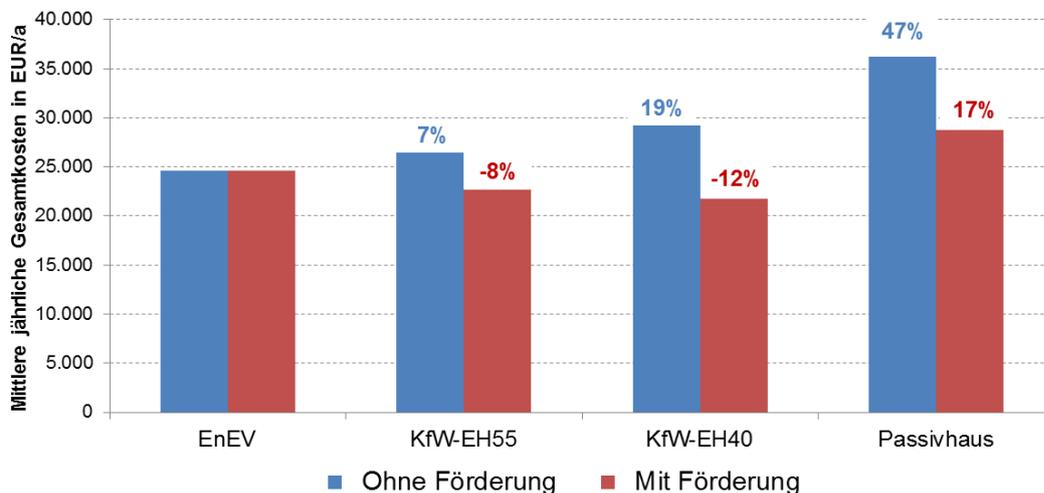


Abbildung 42: Vollkostenvergleich **mit und ohne Förderung** für die Variante **Fernwärmeanschluss** des **Blockrand-Mittelbaus**

Wird die Förderung nicht berücksichtigt ist bei allen 3 Mustergebäuden der EnEV-Standard die wirtschaftlichste Lösung, mit Förderung sind die Effizienzhäuser wirtschaftlicher. Fernwärme ist die wirtschaftlichste Wärmeversorgung.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, indem die Varianten mit einer Hochpreis-Variante gerechnet wurden und geprüft wurde, wie stark sich die annuitätischen Gesamtkosten erhöhen und ob sich die Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit ändert. Dazu wurden die mittleren Preissteigerungsraten um 30% angehoben (siehe Werte in Tabelle 5).

In Tabelle 8 wird das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse für den Blockrand-Mittelbau dargestellt als Verhältnis der jeweiligen annuitätischen Vollkosten im Verhältnis zur denen der Referenzvariante (EnEV-Gas-BW+Solar).

Tabelle 8: Allgemeine Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Mittelgebäude	EnEV				KfW-EH55			KfW-EH40			Passivhaus		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	EnEV Gas-BW + Solar	EnEV Fernwärme	EnEV Wärmepumpe	EnEV Pelletkessel	KfW-EH55 Fernwärme	KfW-EH55 Wärmepumpe	KfW-EH55 Pelletkessel	KfW-EH40 Fernwärme	KfW-EH40 Wärmepumpe	KfW-EH40 Pelletkessel	Passivhaus Fernwärme	Passivhaus Wärmepumpe	Passivhaus Pelletkessel
Grundvariante	100%	88%	102%	90%	94%	110%	97%	105%	121%	108%	131%	149%	134%
Hochpreis-Var.	100%	89%	102%	91%	95%	110%	98%	105%	120%	108%	131%	148%	133%

Die annuitätischen Vollkosten erhöhen sich bei um 30% höheren Preissteigerungsraten je nach Variante um 1% bis 3%. Die Relation unter den Varianten ändert sich nur geringfügig und die Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit gar nicht.

7.6 Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten mit einer teilzentralen BHKW-Wärmeversorgung

Bei der Vorstellung des Wirtschaftlichkeitsvergleichs verschiedener Wärmeversorgungssysteme am 12. Oktober 2017 wurde beschlossen, dass der Vergleich um eine Variante mit einer blockweisen Heizzentrale mit Gas-BHKW und Spitzenlastkessel erweitert werden soll.

7.6.1 Beschreibung der Untersuchungsvarianten

Als Referenz wurde die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung für das Mustergebäude 3 „Blockrand-Mittelbau“ verwendet. Für dieses Gebäude wurden folgende Wärmeversorgungsvarianten verglichen:

- Anschluss an die Fernwärme der FUG
- Gas-Brennwertkessel mit thermischer Solaranlage
- Sole/Wasser-Wärmepumpe
- Pellet-Kessel

Für den Vergleich mit einer blockweisen Heizzentrale wurde angenommen, dass für alle Gebäude im Baufeld G eine gemeinsame Heizzentrale erstellt wird und dort die Wärmeerzeugung mit einem Gas-BHKW und einem Gas-Spitzenlastkessel erfolgt.

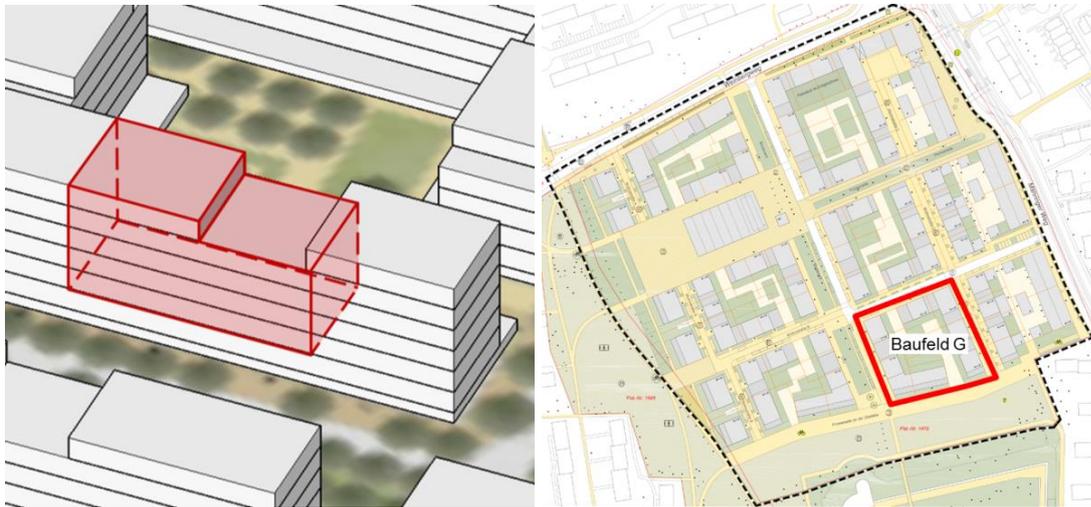


Abbildung 43: Mustergebäude „Blockrand-Mittelbau“ (links) und Baufeld G (rechts)

Die Kennwerte der beiden Untersuchungsobjekte sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die Ergebnisse jeweils auf die beheizte Wohn-/Nutzfläche bezogen.

Tabelle 9 Kennwerte für das Mustergebäude „Blockrand-Mittelbau“ und das Baufeld G

		Blockrand-Mittelbau	Baufeld G
Anzahl Gebäude		1	8
Anzahl Wohneinheiten		14	93
Anzahl Gewerbeeinheiten		0	5
Beheizte Wohn-/Nutzfläche	m ²	1.170	9.047
Wärmebedarf für Warmwasser	kWh/a	27.700	197.400
Wärmebedarf Heizen EnEV	kWh/a	68.100	534.100
Wärmebedarf Heizen EffH-55	kWh/a	53.000	415.800
Wärmebedarf Heizen EffH-40	kWh/a	42.700	335.000
Wärmebedarf Heizen PH	kWh/a	20.100	157.900

Für das Baufeld G wurde ausgehend von einem einheitlichen Warmwasserverbrauch sowie den je nach Energiestandard unterschiedlichen Heizwärmebedarfen jeweils eine Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs berechnet und die erforderlichen Leistungen für BHKW und Spitzenlastkessel bestimmt. Die Auslegung des BHKWs erfolgte auf einen hohen Deckungsanteil (ca. 80%).

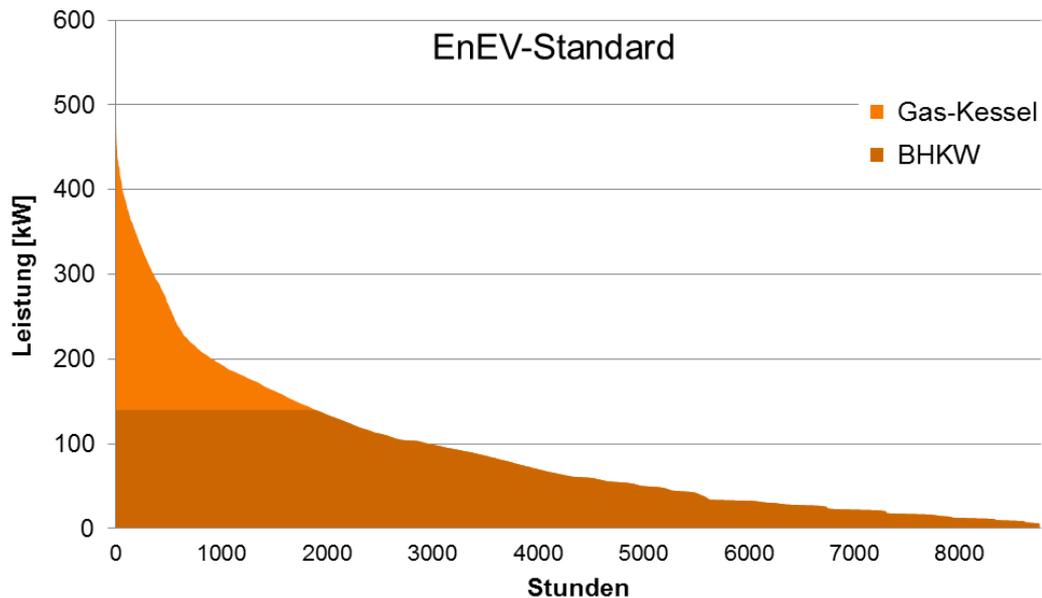


Abbildung 44: Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs für das Baufeld G mit Gebäuden im EnEV-Standard

Die Kennwerte der Anlagendimensionierung für die Heizzentralen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 10 Kennwerte der Wärmeerzeuger

Gebäudestandard		EnEV	KfW-EffH-55	KfW-EffH-40	Passivhaus
Installierte Heizleistung	kW	500	430	380	265
davon Spitzenlastkessel	kW	360	310	280	200
davon Gas-BHKW	kW	140	120	100	65
Deckungsanteil BHKW		80%	80%	80%	80%
Stromkennzahl BHKW		0,73	0,67	0,65	0,46
Volllaststunden BHKW	h/a	4.554	4.600	4.777	5.161

Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich wurde davon ausgegangen, dass die Heizzentrale vom Investor / Bauherr des Baufeldes erstellt und betrieben wird. Die Investitionen und die Gesamtkosten können so direkt mit den anderen Wärmeversorgungsvarianten verglichen werden.

Denkbar ist allerdings auch ein Betrieb der Heizzentrale durch eine Contractor wie z.B. die Stadtwerke Ulm (SWU). In diesem Fall müsste ein Wärmegestehungspreis ermittelt werden aus dem z.B. die SWU Tarife für einen Wärmepreis bestimmen könnten.

Die Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeit und die Umweltauswirkungen wurden gegenüber der Untersuchung für das Mustergebäude nicht verändert. Für den durch das BHKW erzeugten Strom wird eine Vergütung nach dem KWK-Gesetz berücksichtigt.

7.6.2 Ergebnisse der Berechnungen

7.6.2.1 Umweltwirkungen

Bezüglich Primärenergiebedarf und Treibhausgas(THG)-Emissionen bringt die BHKW-basierte Wärmeerzeugung je Baufeld keine Vorteile. Die Lösung ist zwar deutlich besser als eine Wärmeversorgung mit Gas-Brennwertkessel in Kombination mit Solaranlage und besser als eine Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe, aber nicht besser als Fernwärme oder Pellet-kessel.

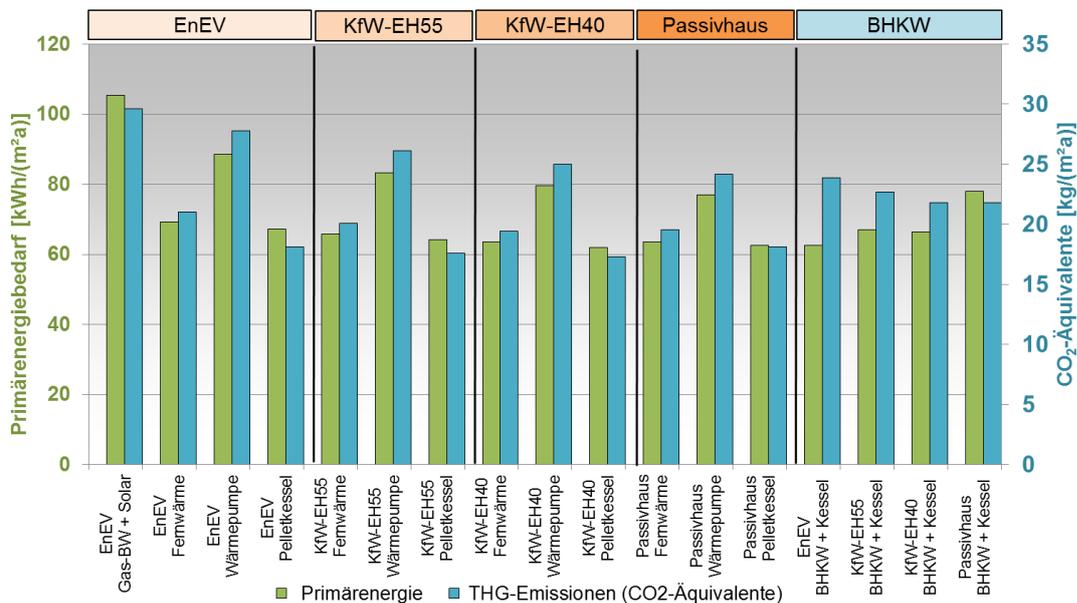


Abbildung 45: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich Primärenergiebedarf und THG-Emissionen

Beim Primärenergiebedarf überwiegt der Einfluss der Stromkennzahl des BHKWs. Je größer das BHKW umso höher kann die Stromkennzahl sein und umso besser wird der Primärenergiefaktor der Wärmeerzeugung aufgrund der höheren Stromgutschrift. Bei den THG-Emissionen, die beim BHKW nicht nach der Substitutionsmethode sondern mit der Allokationsmethode nach AGFW berechnet werden, ist dieser Effekt untergeordnet und die Emissionen nehmen mit besserem Energiestandard ab.

7.6.2.2 Investitionen

Hinsichtlich der Investitionen zeigt sich, dass die Lösung ähnlich günstig ist, wie ein Anschluss an die Fernwärme und deutlich günstiger als dezentrale Heizräume mit Wärmeerzeugern in jedem Gebäude. Hier spielt vor allem die Kostendegression bei größeren Wärmeerzeugern eine Rolle. Bei höheren Energiestandards kommt ein

weiterer Effekt zum Tragen: Während bei einzelnen Gebäuden die installierte Heizleistung i.d.R. durch den Warmwasserbedarf und nicht durch den Dämmstandard bestimmt wird, bewirkt der Gleichzeitigkeitsfaktor bei 8 Gebäuden, dass die reduzierte Heizleistung für die Raumwärme zu kleineren Wärmeerzeugern führt. Dadurch ist beim Passivhausstandard die teilzentrale Wärmeversorgung deutlich günstiger als die dezentralen Varianten, einschließlich Anschluss an die Fernwärme.

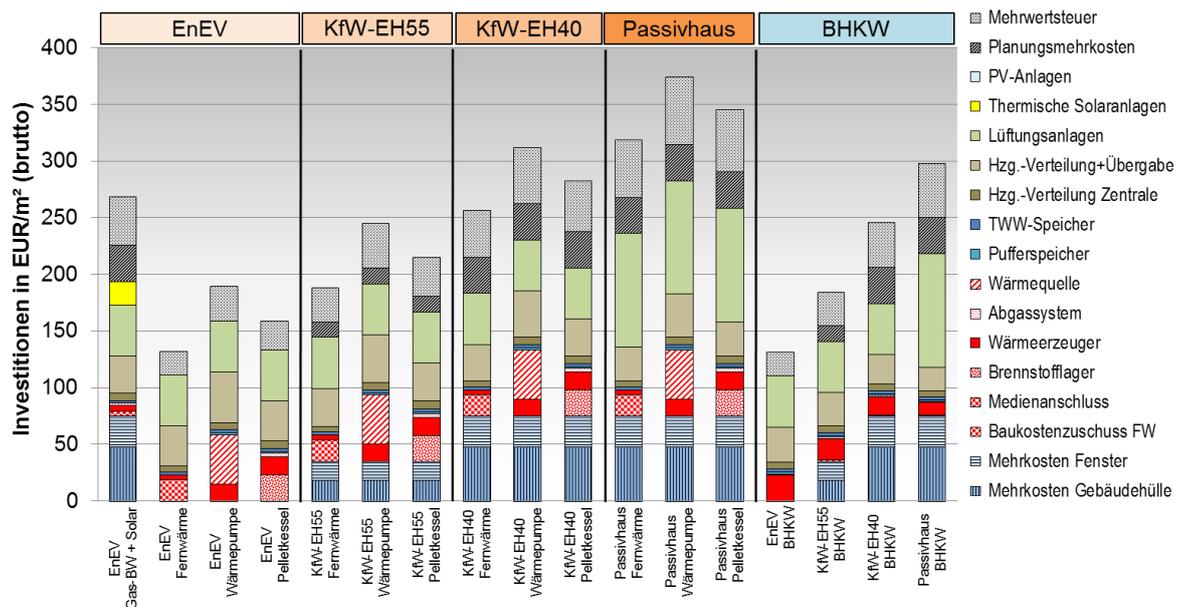


Abbildung 46: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der erforderlichen Investitionen

7.6.2.3 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht

Bei der Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht werden die annuitätischen Gesamtkosten aus Investition, Wartung und Instandhaltung sowie Energiekosten verglichen. Beim BHKW wird dabei auch die Einspeisevergütung nach KWKG-Gesetz berücksichtigt.

Beim EnEV-Standard und beim Effizienzhaus 55 ist die Wirtschaftlichkeit der BHKW-Lösung schlechter als ein Anschluss an die Fernwärme. Dies liegt u.a. an den hohen Wartungskosten für das BHKW. Bei besseren Energiestandards fällt dann zunehmend die Kostendegression bei den Wärmeerzeugern ins Gewicht, so dass die teilzentrale BHKW-Lösung bei Effizienzhaus 40 die gleichen Jahreskosten aufweist wie dezentrale Fernwärmeanschlüsse oder Pelletheizungen und beim Passivhaus-Standard sogar die günstigste Lösung ist.

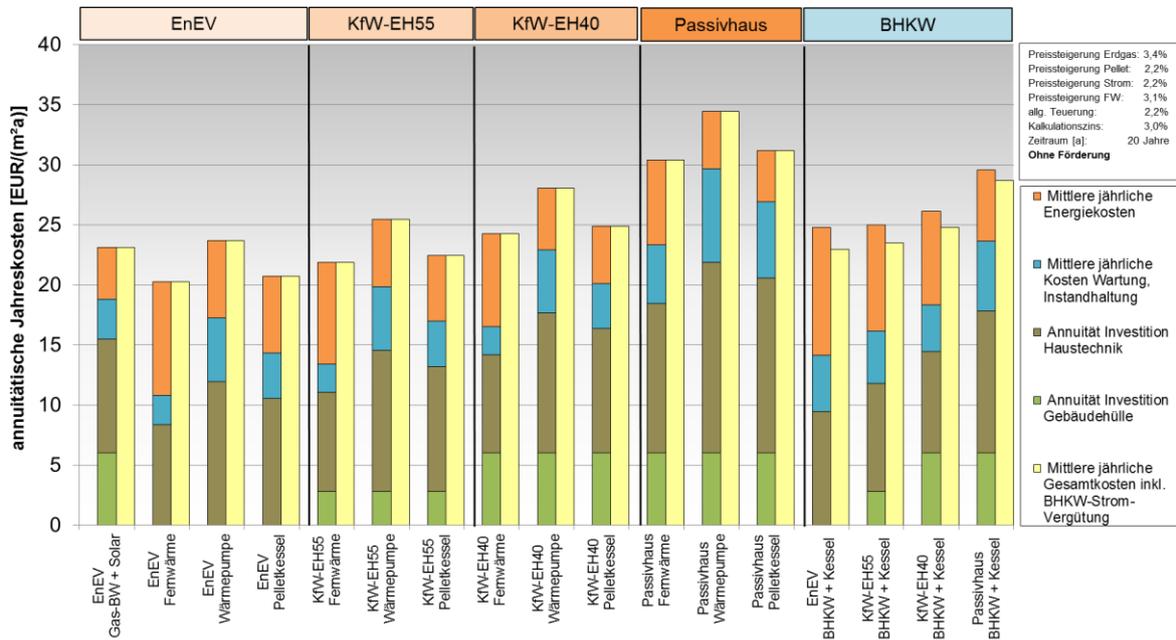


Abbildung 47: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der annuitätischen Gesamtkosten

Durch den Grundpreisanteil verteuert sich außerdem der Fernwärmepreis je kWh bei verbesserten Energiestandards. Dies ist der zweite Grund, weshalb sich die Wirtschaftlichkeit beim Passivhausstandard zu Gunsten der BHKW-Lösung wendet.

Im Vergleich mit der dezentralen Pellet-Lösung verhält es sich ähnlich wie mit der Fernwärme. Die Wärmepumpen-Lösung ist in allen Energiestandards teurer als die BHKW-Lösung.

7.7 Bewertung und Empfehlung

7.7.1 Gebäude-Energiestandards

Erwartungsgemäß sinkt der **Nutzwärmebedarf** mit steigendem Gebäude-Energiestandard. Beim Passivhausstandard liegt er um 53% unter dem EnEV-Standard.

THG-Emissionen und Primärenergiebedarf sinken ebenfalls mit steigendem Gebäude-Energiestandard. Bei ökologisch hochwertiger Wärmeversorgung wie bei der Fernwärme Ulm sind dabei die absoluten Unterschiede zwischen den Energiestandards relativ gering. Durch den höheren Strombedarf für die Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung werden beim Passivhaus-Standard keine weiteren Reduzierungen beim Primärenergiebedarf und bei THG-Emissionen gegenüber einem Effizienzhaus 40 erreicht.

Erwartungsgemäß steigen die **Investitionen** bei baugleichen Gebäuden mit dem Energiestandard. Bei gleichen Versorgungssystemen liegen die **Mehrkosten** (ohne Förderung, brutto) gegenüber EnEV-Mindeststandard bei etwa 60 EUR/m²_{WF} für ein KfW-Effizienzhaus-55, bei ca. 125 EUR/m²_{WF} für ein KfW-Effizienzhaus-40 und bei ca. 185 EUR/m²_{WF} für ein Passivhaus.

Wird die Förderung nicht berücksichtigt hat bei allen 3 Mustergebäuden der EnEV-Standard die geringsten **annuitätischen Gesamtkosten**. Bei den Effizienzhäusern 55 und 40 gleicht die derzeitige KfW-Förderung die Mehrkosten teilweise aus, so dass diese Standards bei Inanspruchnahme der Förderung gemessen an den annuitätischen Gesamtkosten wirtschaftlicher sind als der EnEV-Mindeststandard. Das Passivhaus ist durch eine Kombination von höheren Investitionen, höheren Wartungskosten und ähnlichen Energiekosten wie das KfW-Effizienzhaus-40 deutlich unwirtschaftlicher.

Es kann angenommen werden, dass es für den KfW-Effizienzhaus-40-Standard noch einige Jahre staatliche Förderung geben wird. Unter dieser Voraussetzung schneidet dieser Standard in der **Gesamtbetrachtung von Ökologie und Ökonomie** am besten ab.

Empfehlung zum Gebäude-Energiestandard

Unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Kriterien stellt der **KfW-Effizienzhaus-40-Standard** im Geschosswohnungsbau derzeit ein Optimum für das Baugebiet dar.

Es wird empfohlen, diesen Standard für das Quartier vorzuschreiben.

7.7.2 Wärmeversorgungssysteme

Eine dezentrale Wärmeversorgung der Gebäude mit **Gas-Brennwertkessel** ist nur möglich, wenn erhebliche Mehrinvestitionen in Gebäudehülle und Gebäudetechnik getätigt werden. Trotzdem hat diese Lösung die höchsten THG-Emissionen und den höchsten Primärenergiebedarf der untersuchten Varianten. Sie stellt keine zukunftsfähige Lösung dar.

Unter ökologischen Gesichtspunkten schneidet der Anschluss an die **Fernwärme Ulm** ähnlich gut ab wie eine Wärmeversorgung über dezentrale Holzpelletkessel oder blockweise BHKW-Lösungen.

Eine dezentrale Wärmeversorgung auf Grundlage von **elektrischen Wärmepumpen** ist sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich ungünstiger. Sie erfordert durch die Erschließung von Wärmequellen die höchsten Investitionen. Der Anschluss an die Fernwärme ist ähnlich wie blockweise Heizzentralen mit BHKW-Lösungen mit den geringsten Investitionen verbunden.

Der Anschluss an die Fernwärme erreicht bei fast allen Energiestandards die geringsten annuitätischen Gesamtkosten. Nur beim Passivhaus-Standard kann eine blockweise Versorgung über BHKW günstiger sein.

Dezentrale **Holzpelletkessel** erreichen eine ähnlich gute Wirtschaftlichkeit wie die Fernwärme. Die höheren Investitionen für den Pelletkessel werden durch günstigere Energiepreise für Pellet ausgeglichen. Bei einer dezentralen Wärmeerzeugung mit Holz sind weitere ökologische Gesichtspunkte zu beachten:

- Restholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung ist eine begrenzte Ressource, die nur einen Teil unseres Wärmebedarfs decken kann. Es sollte deshalb bevorzugt unter günstigsten Bedingungen und in KWK-Anlagen eingesetzt werden.
- Holzheizungen, insbesondere bei kleinen Anlagen, sind nicht emissionsfrei (Feinstaubproblematik). Holz sollte bevorzugt in größeren Anlagen mit hochwertiger Filtertechnik verbrannt werden.
- Die Anlieferung von Holzpellet im innerstädtischen Bereich erhöht die dort schon vorhandene Belastung durch Verkehr, Lärm und Schadstoffe.
- Es ist fraglich ob die Belegung von teurem und wertvollem Raum im innerstädtischen Bereich für die erforderliche Brennstofflagerung unter städtebaulichen Gesichtspunkten erwünscht ist

Empfehlungen zur Wärmeversorgung des Quartiers

Ein Anschluss an die Fernwärme Ulm führt zu geringen Umweltauswirkungen, ist hinsichtlich der Investitionen besonders günstig und auch aus Nutzersicht sind die annuitätischen Vollkosten wirtschaftlich gleichwertig oder günstiger als andere Systeme.

Eine dezentrale, holzbasierte Wärmeversorgung, die zu vergleichbar guten ökologischen und wirtschaftlichen Ergebnissen führen würde, wird wegen den o.g. zusätzlichen Gesichtspunkten nicht empfohlen.

Es wird empfohlen, das Quartier an die Fernwärme Ulm anzuschließen und Maßnahmen zu treffen, die zu einem hohen Anschlussgrad an die Fernwärme führen.

Davon unberührt bleibt das Vorhaben ein Baublock als Experimentierfeld für innovative oder experimentelle Wärmeversorgungskonzepte zur Verfügung zu stellen. Es wird empfohlen durch geeignete Vereinbarungen in den Verträgen sicherzustellen, dass die Gebäude in diesem Baublock spezifisch nicht mehr Primärenergie benötigen oder Treibhausgase emittieren als die anderen Gebäude im Quartier.

8 Energetische Gesamtbilanz

Für 5 Varianten wurde eine Gesamtbilanz für das Quartier erstellt, die den Wärme- und Strombedarf der Gebäude berücksichtigt.

1. Erstellung aller Gebäude im **EnEV-Standard**, Wärmeversorgung mit Erdgas-Brennwertkessel und thermischen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung.
2. Erstellung aller Gebäude als **KfW-Effizienzhäuser-40**, dezentrale Wärmeversorgung je Gebäude zu 50% mit Sole/Wasser-Wärmepumpen und zu 50% mit Holzpelletkessel. Zusätzlich Installation von PV-Modulen auf allen verfügbaren Dachflächen entsprechend den Annahmen in Abschnitt 5.4.2.
3. Erstellung aller Gebäude als **KfW-Effizienzhäuser-55** und Anschluss an die Fernwärme Ulm. PV-Anlagen wie in Ziffer 2.
4. Erstellung aller Gebäude als **KfW-Effizienzhäuser-40** und Anschluss an die Fernwärme Ulm. PV-Anlagen wie in Ziffer 2.
5. Erstellung aller Gebäude als **Passivhäuser** und Anschluss an die Fernwärme Ulm. PV-Anlagen wie in Ziffer 2.

Verglichen werden die notwendige Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeuger (WE), der Hilfsstrom für die Gebäudetechnik und der Strombedarf der Nutzer.

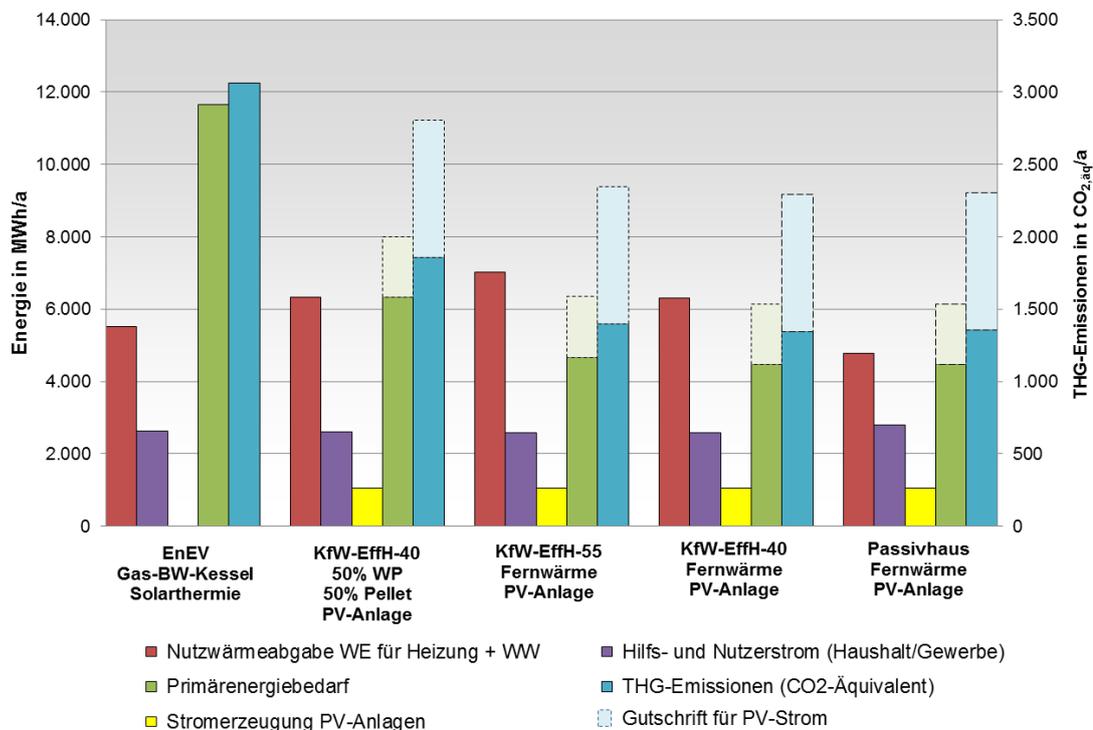


Abbildung 48: Energetische Gesamtbilanz des Quartiers für 5 Varianten unter Berücksichtigung von Wärme- und Strombedarf der Gebäude und PV-Produktion

Die 3 Varianten mit Fernwärmeanschluss unterscheiden sich nur geringfügig hinsichtlich Primärenergie-Bedarf und Treibhausgas-Emissionen. Bei dieser ökologisch hochwertigen Wärmeversorgung können wegen dem höheren Strombedarf für die Zu-/Abluftanlagen durch den Passivhaus-Standard keine weiteren Reduzierungen beim Primärenergiebedarf und bei THG-Emissionen gegenüber einem Effizienzhaus 40 erreicht werden.

Durch die PV-Anlagen kann die Bilanz insbesondere bei den Treibhausgas-Emissionen deutlich verbessert werden (Reduzierung um fast 40%). **Für ein Quartier mit Effizienzhäusern-40, Fernwärmeversorgung und PV-Anlagen ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf von 51 kWh/(m² a) und spezifische Treibhausgas-Emissionen von 15 kg/(m² a) bezogen auf die beheizte Nutz-/Wohnfläche im Quartier.** Mit einem Gebäude-Energiestandard nach KfW-Effizienzhaus-55 liegen die Werte mit 53 kWh/(m² a) und 16 kg/(m² a) nur geringfügig darüber.

9 Umsetzungsvorschläge

9.1 Textbausteine für städtebauliche oder privatrechtliche Verträge

Für die Umsetzung der Empfehlungen aus dem Energiekonzept in städtebauliche oder privatrechtliche Verträge werden die folgenden Textbausteine vorgeschlagen. Die juristische Prüfung der Textbausteine muss von kompetenter Seite im Kontext des gesamten Vertrags erfolgen.

Bezüglich Gebäude-Energiestandard:

- Der Vorhabenträger verpflichtet sich im Vertragsgebiet für zu errichtende Gebäude die Anforderungen des **KfW Effizienzhaus-40** zu erfüllen. Die technischen Anforderungen dieses Energiestandards sind im KfW-Programm Energieeffizient Bauen in der aktuellen Fassung dargelegt und – auch bei Nicht-Inanspruchnahme der Förderung – verbindlich einzuhalten und nachzuweisen.
- Der rechnerische **Nachweis** ist entsprechend dem EnEV-Nachweis nach DIN V 18599 von einem Planverfasser oder Sachverständigen zu erstellen und vor Baubeginn dem Baurechtsamt der Stadt vorzulegen. Vereinfachend kann bei von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) geförderten Gebäuden der Antrag für die KfW-Förderung aus dem Programm Energieeffizient Bauen in der aktuellen Fassung als Nachweis eingereicht werden.
- Bei **Bauabnahme** muss ein Energieausweis nach EnEV mit Angaben und Berechnungen auf Basis der tatsächlich bei Baufertigstellung eingebauten Bauteile und technischen Einrichtungen prüffähig vorgelegt werden. Vereinfachend kann bei von der KfW geförderten Gebäuden der Verwendungsnachweis für die KfW-Förderung aus dem Programm Energieeffizient Bauen in der aktuellen Fassung als Nachweis eingereicht werden.
- Die **Überprüfung** der Bauausführung auf Übereinstimmung mit dem rechnerischen Nachweis hat durch den Planverfasser oder Sachverständigen zu erfolgen. Die Stadt behält sich vor, jederzeit Überprüfungen der rechnerischen Nachweise und der Bauausführung durchzuführen.
- Bei Nicht-Einhaltung ist eine **Vertragsstrafe** von xxx EUR pro m² Wohnfläche fällig.

Bezüglich Anschluss an die Fernwärme Ulm:

- Die Gebäude müssen die für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung (*Anmerkung: Warmwasserbereitung eventuell erst ab einem bestimmten Bedarfswert fordern, z.B. bei mehr als 2,5 kWh/(m²a)*) erforderliche Heizwärme über einen **Fernwärmeanschluss** beziehen. Dies muss durch einen mit der Fernwärme Ulm (FUG) abgeschlossenen Energiedienstleistungsvertrag nachgewiesen werden.

Bezüglich Ausnahme für den Baublock mit „innovativer Wärmeversorgung“:

- Die Gebäude im Baufeld xxx müssen unter folgenden Voraussetzungen nicht an die Fernwärme angeschlossen werden:
 - Die Gebäude auf dem Baufeld benötigen für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Hilfsenergie weniger oder gleich viel Primärenergie und emittieren weniger oder gleich viel Treibhausgase wie wenn sie als KfW-Effizienzhaus-40 (*bzw. dem für das Quartier am Weinberg festgelegten Gebäude-Energiestandard*) ausgeführt und mit der Fernwärme der FUG versorgt würden.
 - Der rechnerische **Nachweis** ist als Vergleichsrechnung entsprechend dem EnEV-Nachweis nach DIN V 18599 von einem Planverfasser oder Sachverständigen zu erstellen. Dabei sind für die Fernwärme der FUG die zum Zeitpunkt der Bauantragstellung zertifizierten Werte für den Primärenergie-Faktor und CO₂-Emissionsfaktor zu verwenden. Für andere Energieträger sind ansonsten die CO₂-Emissionsfaktoren nach der aktuellen Version von GEMIS zu verwenden.

10 Anhang

10.1 Glossar

A/V-Verhältnis	Außenflächen / Volumen-Verhältnis. Verhältnis zwischen der Außenfläche der thermischen Gebäudehülle und dem darin eingeschlossenen Bruttovolumen. Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes.
Allokationsverfahren	Anlagenbilanz in der die Zuordnung der Eingangsprodukte in einem Energieumwandlungsprozess zu den Endprodukten anhand von anlagentechnischen oder energietechnischen Kriterien erfolgt (vgl. Substitutionsverfahren). Relevant z.B. bei der Aufteilung von Umweltwirkungen auf Wärme und Strom bei der Kraft-Wärme-Kopplung
Anlagenaufwand	Primärenergiebezogenes Verhältnis von Nutzenergiebedarf zu Primärenergiebedarf, das abhängig vom Energieträger, den Anlagendaten der Wärmeerzeugung, sowie dem Betrieb der Anlage bestimmt wird.
Aufwandszahl	Kenngroße des Anlagenaufwands.
Bedarf	berechnete Größe (z.B. Energiebedarf = Rechenwert) im Gegensatz zu gemessener Größe (vgl. Verbrauch)
Brutto-Grundfläche	Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerks und deren konstruktive Umschließungen
CO ₂ -Äquivalent	Summe der wirksamen Emissionen, welche die gleiche Wirkung wie die angegebenen Menge CO ₂ besitzt.
Energiebezugsfläche	NGF bei Nicht-Wohngebäuden oder WF innerhalb der thermischen Gebäudehülle.
Endenergie	An der Grundstücksgrenze übergebene Menge an Energie in Form eines Energieträgers (Gas, Heizöl, Fernwärme). Entspricht eingekaufter Energiemenge
Exergie	Der Anteil der Energie(form), der Arbeit verrichten kann. Energie = Exergie + Anergie. Strom hat z.B. einen Exergieanteil von ca. 1, da er (über einen Elektromotor) nahezu vollständig in Bewegungsenergie umgewandelt werden kann. Wärme hat, abhängig vom Temperaturniveau, einen Anteil deutlich kleiner als 1, der in der theoretischen Grenze vom Carnot-Prozess bestimmt wird.

Graue Energie	Die für die Produktion eines Baustoffs, Bauteils, Gebäudes oder Gegenstands benötigte Energie in Form einer Prozesskette. Die graue Energie wird der Herstellung und Inbetriebnahme zugeordnet. Sie wurde somit bereits vor der Nutzung aufgewendet. Meist kann sie nicht mehr zurückgewonnen werden
Heizwert, Brennwert	Der Heizwert (oder untere Heizwert H_i , früher H_u) ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, ohne dass es zur Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Menge (in Litern, m^2 usw.) eingesetzten Brennstoffs. Kommt es zum Auskondensieren des Wasserdampfes, so wird die im Dampf latent gebundene Wärme zusätzlich frei und man spricht vom Brennwert (oder oberen Heizwert H_s , früher H_o).
KGF	Konstruktions(grund)fläche. Flächenanteil für Wände etc.
Netto-Grundfläche	BGF abzüglich der Konstruktionsfläche KF.
Netto-Raumfläche	BGF abzüglich der Konstruktionsgrundfläche KGF.
Nutzenergie	An den Raum übergebene Menge an Energie in Form von Wärme (Heizung) oder Warmwasser.
Primärenergie	Alle Energieträger (Wärme, Strom etc.) werden auf die bei der Erzeugung benötigten Mengen incl. aller Verluste der Erzeugung, Umwandlung und Transports bezogen.
Primärenergiefaktor	Verhältnis von (gelieferter) Endenergie in kWh zu Primärenergieaufwand in kWh des jeweiligen Energieträgers
Substitutionsverfahren	Anlagenbilanz bei der ein Teil der Ausgangsprodukte Produkte aus allgemeinen (öffentlichen) Anlagen substituiert, was als Abzugsbetrag verbucht werden kann.
Verbrauch	gemessene Größe (z.B. Stromverbrauch = am Stromzähler abgelesener Wert)
Volllaststunden	Summe der Jahresstunden in denen eine (Heizungs-)anlage im Volllastbetrieb läuft. Teillastbetrieb geht entsprechend faktorisiert in die Summe ein. Jahresverbrauch [kWh/a]= Anlagenleistung [kW] * Volllaststunden [h/a]
Wohnfläche	Die Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu dieser Wohnung gehören incl. Wintergärten, Schwimmbädern und ähnlichen nach allen Seiten geschlossenen Räumen sowie Balkonen, Loggien, Dachgärten und Terrassen aber nicht Kellerräume, Abstellräume, Waschküchen etc.

10.2 Literatur

- [AGEB 2017] **Energieverbrauch in Deutschland**, Daten für das erste Quartal 2017, AG Energiebilanzen e.V.; Mai 2017
- [ages 2005] **Verbrauchskennwerte 2005**, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsbericht der ages GmbH gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Projekt 23656-24/2, Münster, 1. Auflage, Februar 2007
- [BMUB 2016] **Klimaschutzplan 2050**, Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Berlin, November 2016
- [BMWE 2016] **Erneuerbare Energien in Zahlen**, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.; September 2016
- [BMWT 2014] **Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose**, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, ewi. gws, prognos, Basel/Köln/Osanbrück, Juni 2014
- [BWZK 2007] Bauwerkszuordnungskatalog zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten bei Nichtwohngebäuden. Ausgabe 26.07.2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- [CARMEN 2017] **Mittlerer Preis für Holzpellet** in Deutschland bei Lieferung von 5 Tonnen Pellets nach C.A.R.M.E.N. e.V., abgerufen von der Internetseite www.carmen-ev.de/infotehke/preisindizes/holzpellets am 02.10.2017
- [DENA 2017] **Energiepreise für Verbraucher**, dena-Expertenservice, www.dena-expertenservice.de/arbeitshilfen/zahlen-zum-nachschlagen/energiepreise/ abgerufen am 02.10.2017
- [DIN 277-1:2016] **Grundflächen und Rauminhalte von Hochbauten**. Teil 1 – Hochbau. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, Januar 2016.
- [DIN 4108 BB2:2006] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. **Wärmebrücken**. Planungs- und Ausführungsbeispiele.

- Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, März 2006
- [DIN 4108-2:2003] **Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden.**
Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, April 2003
- [DIN V 4701-10:2003] **Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen** - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, 2003-08
- [DIN 5034-1:2011] **Tageslicht in Innenräumen** Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Hrsg. Normenausschuss Lichttechnik und Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin. Juli 2011
- [DIN V 18599-1-11:2011] **Energetische Bewertung von Gebäuden** – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Teil 1 bis 11. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, Dezember 2011
- [DLR 2012] **Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland** bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, März 2012
- [DW2017] **Dämmwerk**, Software für Bauphysik- und EnEV-Berechnungen für Architekten und Ingenieure, Version 2017-04 vom 01.09.2017, KERN Ingenieurkonzepte, Berlin
- [EEG 2017] **Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien** und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG 2017). Bundesgesetzblatt 2016 Teil 1 Nr. 49 vom 18. Okt 2016.
- [EEWärmeG 2015] **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz** vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), Zuletzt geändert durch Art. 9 G v. 20.10.2015 I 1722

- [EnEV 2009] **Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden** (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 29. April 2009). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil 1 Nr. 23, Bonn 30. April 2009.
- [EnEV 2014] **Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden** (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 29. April 2009). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil 1 Nr. 67, Bonn 21. Nov. 2013.
Wirksamwerden der Anhebung der energetischen Anforderungen an Neubauten am 1. Januar 2016.
- [EPBD 2010] **EU Gebäuderichtlinie 2012 für energieeffiziente Gebäude.** Stand: 19. Mai 2010. Amtsblatt der Europäischen Union (L 152/113) vom 18.06.2010, in Kraft getreten am 08.07.2010.
- [EWärmeG-BW2015] Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG). Gesetzesbeschluss des Landtags von Baden-Württemberg vom 17. März. 2015. Drucksache 15 / 6380.
- [F+B 2016] **Analyse des Einflusses der energetischen Standards auf die Baukosten im öffentlich geförderten Wohnungsbau in Hamburg.** Forschung und Beratung für Wohnen, Immobilien und Umwelt GmbH. Hamburg Sept 2016
- [Gemis 4.95] **Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)** Version 4.95 mit Datenstand vom November 2016. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS), Darmstadt. www.gemis.de.
- [GEG RefE 2017] **Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden.** Referentenentwurf des BM für Wirtschaft und Energie und des BM für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 23. Januar 2017.
- [IWU Bestand 1995] Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Endbericht für die „Deutsche Bundesstiftung Umwelt“ in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des

- Deutschen Bundestages: **Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL)**, Darmstadt 1995
- [Klima 2050] **Klimaschutzplan 2050.** Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. BMUB, Berlin, 11. November 2016
- [Klima BRD 2020] **Klimaagenda 2020: Der Umbau der Industriegesellschaft.** Stand: April 2007. Bundesumweltministerium, Berlin.
- [KlimaPlus] **Klimaschutz-Plus Förderprogramm.** 2014. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.
- [LEG 95] **Heizenergie im Hochbau: Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung.** Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 5. überarbeitete Auflage. Wiesbaden: 1995.
- [NW BaWü] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.). **Nahwärmekonzepte. Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energien.** Stuttgart 2007
- [PHPP2015] Feist, Wolfgang; et.AI. Passivhaus Projektierungs Paket – Das Energiebilanzierungs- und Planungstool für effiziente Gebäude und Modernisierungen. Version 9. Darmstadt April 2015. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
- [TA Luft: 2002] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). BMU vom 24. Juli 2002.
- [VDI 2067] **Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.** Hrsg. VDI Düsseldorf.
- [WoFIV] **Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche,** über die Aufstellung von Betriebskosten und zur Änderung anderer Verordnungen (Wohnflächenverordnung). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. 25. Nov. 2005