



**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

# Neubaubereich Eschwiesen Ulm-Wiblingen

## Städtebauliches Energie- und Energieversorgungskonzept



Datum des Berichts:	31.8.2022
im Auftrag von:	Stadt Ulm Abteilung SUB I
Projektleitung:	Dipl.-Phys. Gerhard Lude
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.-Phys. Gerhard Lude Dipl.-Ing. Arch. Maria Hernandez Clua



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabe</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
3.1	Planstand des Baugebiets .....	2
3.2	Schutzgebiete, geothermische Nutzung.....	3
3.3	Leitungsgebundene Energieträger .....	4
3.4	Methodik der Berechnungen .....	4
3.5	Anforderungen an Gebäude (Stand 8/2022) .....	8
3.6	Die Rolle der Wärmeversorgung .....	9
3.7	Rechnerische Grundlagen .....	11
3.7.1	Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnungen .....	11
3.7.2	Tarife .....	13
3.7.3	Umweltfaktoren.....	13
<b>4</b>	<b>Bewertung des städtebaulichen Entwurfs</b> .....	<b>15</b>
4.1	Kompaktheit der Baukörper .....	15
4.2	Untersuchung der Belichtungssituation.....	16
4.3	Nutzbare solare Gewinne – Ausrichtung der Baukörper und Verschattung .....	17
4.4	Aktive Solarnutzung.....	19
<b>5</b>	<b>Gebäudehülle, Wärmeschutz</b> .....	<b>20</b>
5.1	Zusammenfassung und Empfehlungen Energiestandard.....	20
<b>6</b>	<b>Bedarfswerte Wärme und Strom</b> .....	<b>21</b>
6.1	Heizwärme, Wärme für Warmwasserbereitung, Heizlast .....	22
6.2	Wärmedichte im Gebiet, spezifische Netzlast .....	22
6.3	Strombedarf .....	23
<b>7</b>	<b>Wärmeversorgungstechnik und qualitative Systemauswahl</b> .....	<b>25</b>
7.1	Auswahl möglicher Versorgungstechniken.....	25
<b>8</b>	<b>Wärmversorgung – Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung</b> .....	<b>27</b>
8.1	Vergleich der Wärmeversorgung aus Sicht des Nutzers .....	27
8.2	Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten .....	37
<b>9</b>	<b>Anhang – Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>38</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>39</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Städtebaulicher Entwurf, übermittelt durch das Stadtplanungsamt der Stadt Ulm, Dateidatum 2.9.2021.....	2
Abb. 2	Schutzgebiete. Quelle LGRB / ISONG.....	3
Abb. 3	Geothermische Nutzung, Einschränkung der Bohrtiefe. Quelle LGRB / ISONG. ....	3
Abb. 4:	Begriffe Energie im Falle einer Nah- oder Fernwärmeversorgung.....	6
Abb. 5:	Berechnung Referenzgebäude und Nachweis mit Anforderungsniveaus an das Effizienzgebäude (EffH oder EH). ....	9
Abb. 6	Kombination von Hülle und Wärmeversorgung – verschiedene Möglichkeiten die Anforderungen zu erfüllen .....	10
Abb. 7	Mit welcher Versorgung zum Effizienzhaus? Mögliche Kombinationen von Gebäudehülle und Versorgungstechnik. Typische Werte für die Kombination von Haustechnik und Gebäudehülle. ....	11
Abb. 8	Kompaktheit der Baukörper. ....	15
Abb. 9	Simulation der Besonnung am 17. Januar bei klarem Himmel. Blick aus Süden. Die meisten Fassaden Süd und Südost sind sehr gut besonnt. Die Südwestfassaden weisen an den eingezogenen Balkonen eine ungenügende Besonnung auf.....	16
Abb. 10	Mittlere solare Tageseinstrahlung März–April. ....	17
Abb. 11	Relative solare Einstrahlung auf die Fassaden März-April in Anteilen der unverschatteten Einstrahlung.....	18
Abb. 12	Ergebnisse der Musterberechnung und zu erwartender Aufwand für Wärmeschutzmaßnahmen bei verschiedenen Energiestandards.....	20
Abb. 13	Die Baufelder.....	21
Abb. 14	Investitionskosten aus Nutzersicht für das Mustergebäude MFH1 (oben), EFH(unten).....	28
Abb. 15	Nutz- und Endenergiemengen aus Nutzersicht für das Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten).....	29
Abb. 16	Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Szenario „Günstige Energie“ geringe Preissteigerung der Energieträger. ....	30
Abb. 17	Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben) EFH (unten). Basis-Szenario der Preissteigerung.....	31
Abb. 18	Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Szenario „Teure Energie“ – hohe Preissteigerung der Energieträger. ....	32



Abb. 19	Umweltaspekte Primärenergiebedarf für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Da kein Strom produziert wird, besteht auch kein Primärenergiebedarf. ....	34
Abb. 20	Umweltaspekte CO <sub>2</sub> -Emissionen (Äquivalente) für Mustergebäude MFH1 (oben) und EFH (unten). Es wird kein Strom produziert. Daher sind keine CO <sub>2</sub> -Emissionen hierfür ausgewiesen. ....	35
Abb. 21	Ausblick 2050. Umweltaspekte CO <sub>2</sub> -Emissionen (Äquivalente) für Mustergebäude MFH1 unter der Annahme einer 50%igen Reduzierung der Emissionen der Fernwärme und der Entwicklung der Emissionen Strom-Mix 2050 nach GEMIS. ....	36

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Bisherige Förderstandards (Energistandards) nach BEG (Wohngebäude Neubau). Stand 12/2021 .....	7
Tab. 2:	Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	12
Tab. 3:	Energietarife – der Grund- und Messpreis wurde bei den allgemeinen Tarifen mit dem Arbeitspreis zu einem reinen verbrauchsbezogenen Tarif zusammengefasst. Alle Preise ohne MwSt. (netto). Die Preise wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt.....	13
Tab. 4	Primärenergiefaktoren der Energieträger und Prozesse, Kumulierter Energieaufwand. ....	14
Tab. 5	Die Kenndaten der Baufelder .....	21
Tab. 6	Endenergie (gelieferte Endenergie bei Standardversorgung „Fernwärme“) für die einzelnen Baufelder. Die angegebenen Werte stellen eine Abschätzung der gelieferten Wärmemengen (unter Annahme einer Standard-Übergabe und -Verteilung im Gebäude) für Heizung und Warmwasserbereitung dar. ....	22
Tab. 7:	Haushaltsgrößen und angenommene Verteilung der Haushalte im Plangebiet. Die spezifischen Verbrauchsdaten orientieren sich am Stromspiegel (Stromspiegel – Vergleich des Stromverbrauchs in Deutschland. Quelle: BMUB, <a href="http://www.die-stromsparinitiative.de/stromspiegel/">http://www.die-stromsparinitiative.de/stromspiegel/</a> .....	24
Tab. 8	Übersicht über die verfügbaren regenerativen Energien und deren Nutzung (Einzel – dezentrale Versorgung jedes einzelnen Gebäudes, Zentral – Zentralversorgung) .....	25

# 1 Aufgabe

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist, die Entwicklung des städtebaulichen Entwurfs zu begleiten und mögliche Energieversorgungskonzepte zu entwickeln. Ziel ist es, eine nachhaltige und wirtschaftliche Lösung zu entwickeln.

## 2 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Baukörper des städtebaulichen Entwurfs sind überwiegend sehr kompakt. Weniger kompakte Einfamilienhäuser könnten als Doppel-, Ketten- oder Reihenhäuser noch verbessert werden. Die gegenseitige Verschattung ist gering, solare Gewinne können sehr gut genutzt werden. Somit sind die städtebaulichen Voraussetzungen für eine hohe Energieeffizienz der meisten Gebäude im Plangebiet sehr gut. Die Belichtungssituation ist überwiegend sehr gut, in einigen Erdgeschossen sollte bei der weiteren Planung auf ausreichende Belichtung geachtet werden.

Die aktive Solarnutzung v.a. durch Photovoltaik ist sehr gut möglich. Wir empfehlen den Maximalausbau von Photovoltaik im Plangebiet durch Belegung aller verfügbaren Dachflächen. Der Wärmeschutz der Gebäude wurde exemplarisch untersucht. In allen untersuchten Mustergebäuden kann eine hohe Energieeffizienz mit vertretbarem Aufwand erreicht werden. Wir empfehlen daher, einen hohen Energiestandard umzusetzen (EH 40 oder EH40plus).

Für die Wärmeversorgung steht nur eine eingeschränkte Auswahl regenerativer Energieträger zur Verfügung. Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung verschiedener Energiestandards und Versorgungsarten ergab unter den untersuchten Randbedingungen, dass die Fernwärmeversorgung der FUG wirtschaftlich die günstigste Lösung darstellt und umweltseitig nur wenig ungünstiger als Holz mit Solar ist. Auch aus Sicht des Investors ist Fernwärme günstig, da hierfür die geringsten Investitionen im Gebäude getätigt werden müssen.

Derzeit sind Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen mit einer hohen Unsicherheit behaftet, daher wurden verschiedene Kostenszenarien untersucht, die Bewertung ändert sich dadurch jedoch nicht. Für die zukünftige Entwicklung kann erwartet werden, dass die Emissionsfaktoren für Strom bei zunehmend regenerativer Erzeugung absinken. Dies wird umweltseitig eine Wärmepumpenlösung begünstigen. Der zukünftig hohen Nachfrage nach Strom stehen jedoch die beschränkten Möglichkeiten der (regenerativen) Stromerzeugung gegenüber. Bei der zu erwartenden Verknappung sollten im Wärmemarkt alle verfügbaren alternativen Quellen genutzt werden. Es ist daher sinnvoll, wo möglich an Fernwärme anzuschließen.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Planstand des Baugebiets



Abb. 1: Städtebaulicher Entwurf, übermittelt durch das Stadtplanungsamt der Stadt Ulm, Dateidatum 2.9.2021.

Abb. 1 zeigt den verwendeten Planstand.

## 3.2 Schutzgebiete, geothermische Nutzung

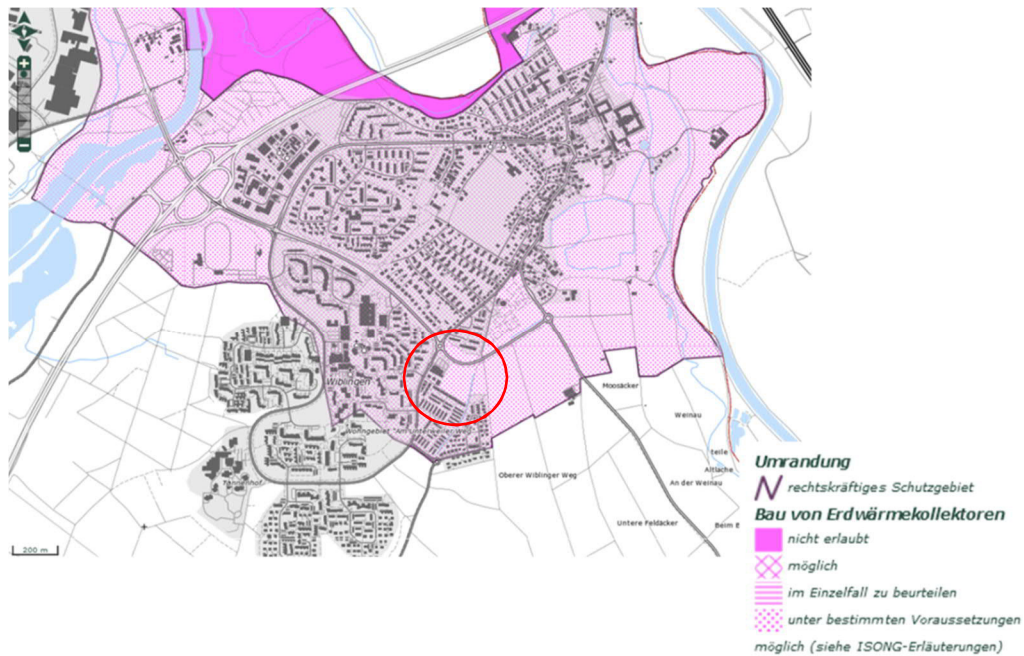


Abb. 2 Schutzgebiete. Quelle LGRB / ISONG

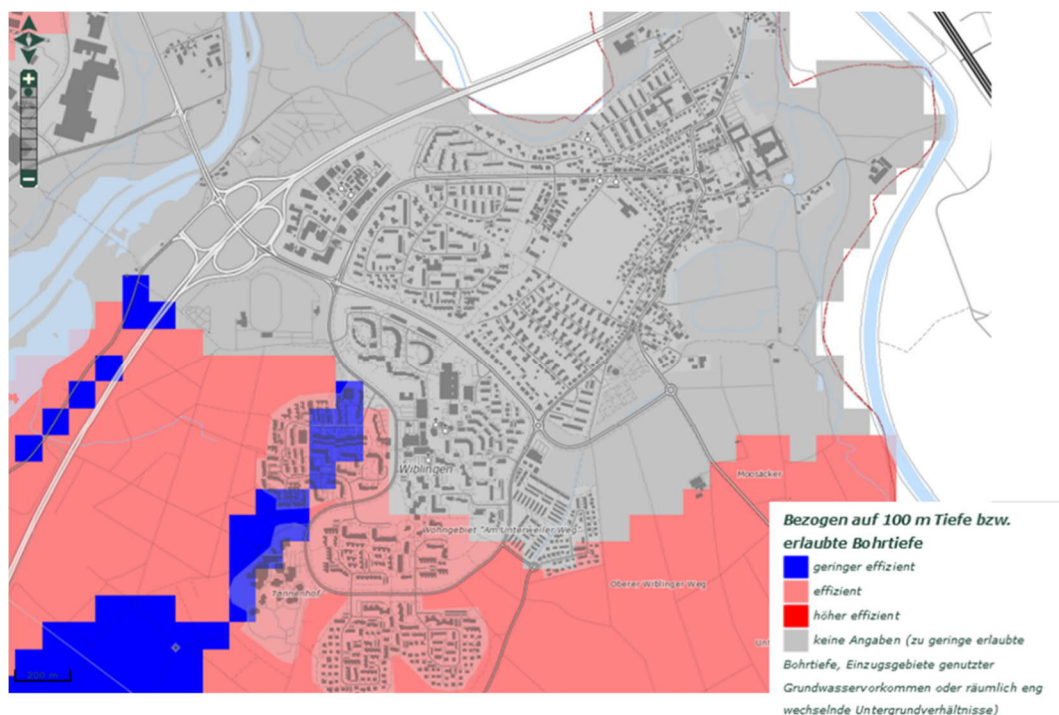


Abb. 3 Geothermische Nutzung, Einschränkung der Bohrtiefe. Quelle LGRB / ISONG.

Am Standort des Plangebiets ist die oberflächennahe geothermische Nutzung (bis 400m Tiefe) nach den Informationen in ISONG nicht uneingeschränkt möglich



(s. Abb. 2, Abb. 3). Eine genauere Begutachtung ist notwendig. Es ist zu erwarten, dass Flächenkollektoren (bis ca. 5m Tiefe) uneingeschränkt möglich sind.

### 3.3 Leitungsgebundene Energieträger

Am Standort des Neubaugebiets oder in mittelbarer Nähe stehen die im Folgenden genannten leitungsgebundenen Energieträger zur Verfügung.

#### **Stromnetz**

Grundversorger sind die Stadtwerke Ulm (SWU).

#### **Gasnetz**

Grundversorger sind die Stadtwerke Ulm (SWU).

#### **Fernwärmenetz**

In unmittelbarer Umgebung des Plangebiets ist ein Fernwärmenetz der FUG vorhanden.

### 3.4 Methodik der Berechnungen

Im Rahmen des Energiekonzepts wurde folgende Berechnungsmethodik verwendet:

#### **Energiekennwerte Heizwärme**

Die Energiekennwerte Heizwärme wurden nach dem Verfahren des GEG [GEG 2020] für Mustergebäude pauschal berechnet.

#### **Trinkwarmwasser**

Der Bedarf an Trinkwarmwasser wurde pauschal angenommen. Für Einfamilienhäuser EFH wurden  $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , für Geschosswohnungsbauten MFH  $22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  angesetzt<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Bezug auf Nutzflächen (NFG).



## Energiestandards

Einen Überblick über bislang **aktuelle Förderstandards** der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zeigt [Tab. 1](#). Die Standards werden mit EH55, EH40 usw. bezeichnet (früher EffH55, EffH40).

## Heizlast

Die Heizlast wurde als real auftretende Heizlast ohne Zuschläge für Auslegung usw. abgeschätzt. Diese Abschätzung ersetzt nicht eine Norm-Heizlastberechnung; eine solche wurde nicht durchgeführt. Wenn (bei Nahwärmeversorgung) ein Gleichzeitigkeitsfaktor abweichend von Eins angenommen wurde, so ist dies jeweils bei der betrachteten Variante vermerkt.

## Nutzenergie, Endenergie

Die **Nutzenergie** ist die Energiemenge, die im Raum oder an der Zapfstelle zur Beheizung oder Warmwasserbereitung benötigt wird. Die **Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers** berücksichtigt die Wärmeverluste von Wärmeverteilung und die Speicherverluste. Der Wärmeerzeuger wandelt Umweltenergie und/oder gelieferte Energieträger um, dabei entstehen in der Regel ebenfalls Verluste. Die zum Betrieb notwendige über die Grundstücksgrenze gelieferte Energiemenge wird **Endenergie** genannt. Sie kann z.B. in Form von Strom (für Wärmepumpen), Erdgas oder auch Wärme (bei Nah-/Fernwärme) auftreten. Wird Umweltwärme genutzt (Wärmepumpe, thermische Solaranlage), so mindert dies den Endenergiebedarf.

Im Fall von Nahwärme kommen zur **gelieferten Endenergie** die Verluste der Nahwärmeverteilung hinzu. Dies führt zum Begriff der **Endenergie ab Heizhaus**. Werden die Verluste der Wärmeerzeugung in der Zentrale berücksichtigt, so kommt man zum Begriff **Endenergie in Heizhaus**. Auch hier sind unterschiedliche Energieträger möglich, die auf unterschiedlichen Wegen zur Wärmezentrale gebracht werden.

Berücksichtigt man alle Übertragungs-, Transport- und Entstehungsverluste, so werden alle Energieträger vergleichbar. Diese Vergleichsbasis wird **Primärenergie** genannt.

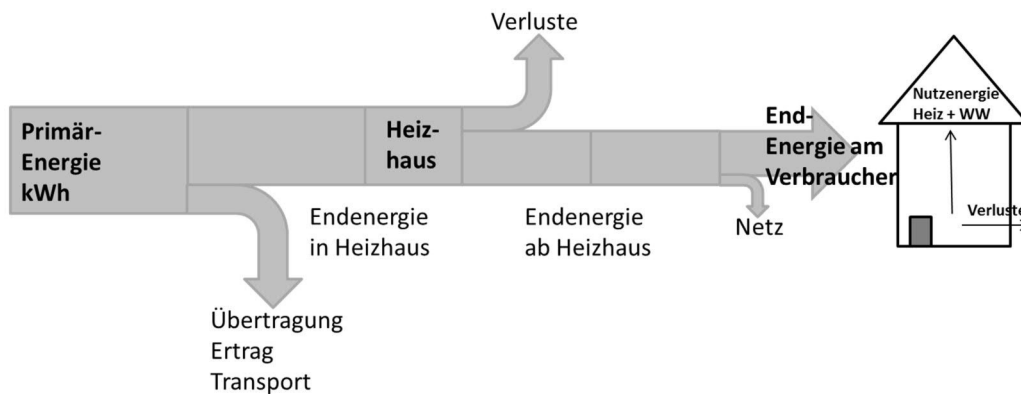


Abb. 4: Begriffe Energie im Falle einer Nah- oder Fernwärmeversorgung.

Insbesondere für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen müssen die genannten Bezüge und Begriffe klar unterschieden werden. Verwandte Begriffe wie Heizlast werden analog verwendet.

## Förderstandards

**Hinweis:** Während der Projektbearbeitung wurden die gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Förderlandschaft geändert. Den vorliegenden Bericht betrifft dies insofern, dass sich Bezüge auf Gesetze (EnEV wurde durch GEG ersetzt) und Förderkonditionen (aus KfW-Förderung wurde BEG) geändert haben. In erster Linie betrifft dies aber die Nomenklatur, nicht die Inhalte. Sowohl Anforderungen als auch Förderrandbedingungen sind (noch) unverändert. Die „alten“ und die „neuen“ Benennungen sind weitgehend synonym zu verwenden. Wo möglich wurden sie angepasst.

**Die EffH55 (oder EH55) –Förderung entfiel allerdings zum 1.2. 2022 für neue Wohnbauten und Nichtwohnbauten. Auch die EffH40 (oder EH40) Förderung ist weitgehend ausgesetzt. Derzeit werden nur noch EH 40 Gebäude mit Nachhaltigkeitskonzept gefördert.**

**Es ist angekündigt den gesetzlichen Standard zum 1.1.2023 auf EH55 anzuheben. Weiterhin ist angekündigt, den derzeitigen EH40 Standard zum 1.1.2025 zum gesetzlichen Standard zu machen.**

Tab. 1: Bisherige Förderstandards (Energienstandards) nach BEG (Wohngebäude Neubau). Stand 12/2021

Förderstufen Effizienzhaus (Bezug EnEV 2014/GEG <sup>1)</sup> )	Effizienz-Haus 55 <sup>2)</sup>	Effizienz-Haus 40	Effizienz-Haus 40 Plus <sup>3)</sup>
	EH55	EH40	EH40+
Anforderung an $Q_p$	55%	40%	40%
	der Referenzgebäudewerte nach Tabelle 1 der Anlage 1 der EnEV 2014*		
Anforderung an $H_T$	70%	55%	55%
	der Referenzgebäudewerte nach Tabelle 1 der Anlage 1 der EnEV 2014*		
<sup>1)</sup> Die Effizienzhaus-Systematik der KfW bleibt von den verschärften Anforderungen an das Referenzgebäude zum 01.01.2016 gemäß Anlage 1 Tabelle 1 Zeile 1 der EnEV 2014 unberührt (Stand Jan. 2015). Das GEG führt die Anforderungen nach EnEV fort. <sup>2)</sup> bis 31.1.2022 <sup>3)</sup> EH Plus: Zusätzlich PV/BHKW & Stromspeicher & LüftungsWRG			

Die Gebäude nach „Effizienzhaus 40 Plus“-Standards erfüllen gegenüber EH40 folgende zusätzlichen Anforderungen:

- eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien,
- ein stationäres Batteriespeichersystem (Stromspeicher),
- eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung,
- eine Visualisierung von Stromverbrauch und Stromerzeugung über ein entsprechendes Benutzerinterface.

Seit Juli 2021 wurden verschiedene Förderprogramme unter der einheitlichen Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG<sup>2)</sup>) zusammengefasst:

- Wohngebäude (BEG WG) (ab Juli 2021)
- Nichtwohngebäude (BEG NWG) (ab Juli 2021)
- Einzelmaßnahmen (BEG EM) (ab Januar 2021)

Das BEG ersetzt dabei folgende Programme:

- CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm (EBS-Programme),
- Marktanzreizprogramm für EE im Wärmemarkt (MAP),
- Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) und
- Heizungssanierungsprogramm (HZO)

<sup>2</sup> [https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente\\_Gebaeude/effiziente\\_gebaeude\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html)



## Verschattung und solare Nutzung

Die städtebauliche Solarnutzung, Verschattung und Belichtung der Baukörper wurden anhand eines 3D Modells des Untersuchungsgebiets für das Programm Sketchup mittels des Moduls DeLuminae Light Extentions untersucht.

## Tageslicht in Wohnräumen

Die Anforderungen an die Belichtung von Wohnräumen mit Tageslicht wird nach DIN 5034 [DIN 5034-1: 2021] bestimmt. Vor allem für Wohnräume ist die Besonnbarkeit ein wichtiges Qualitätsmerkmal, da eine ausreichende Besonnung zur Gesundheit und zum Wohlbefinden beiträgt. Deshalb sollte die mögliche Besonnungsdauer in mindestens einem Aufenthaltsraum einer Wohnung zur Tag- und Nachtgleiche 4 h betragen. Soll auch eine ausreichende Besonnung in den Wintermonaten sichergestellt sein, sollte die mögliche Besonnungsdauer am 17. Januar mindestens 1 h betragen. Als Nachweisort gilt die Fenstermitte in Fassadenebene.

## 3.5 Anforderungen an Gebäude (Stand 8/2022)

Die maßgeblichen Bestimmungen zur energetischen Qualität der Gebäude und deren Energieversorgung finden sich im **Gebäude-Energie-Gesetz** [GEG 2020].

Das GEG basiert auf den Anforderungen der Energieeinsparverordnung EnEV. Die letzte Verschärfung der EnEV trat zum 1.1.2016 in Kraft; sie ist für alle neu errichteten beheizten Gebäude verbindlich. Der Nachweis wird rechnerisch erbracht. Dazu wird das nachzuweisende Gebäude rechnerisch mit Vorgabewerten der Außenhülle und der Anlagentechnik modelliert. Die so berechneten Referenzwerte der Primärenergie und des mittleren Durchgangskoeffizienten der Gebäudehülle „**Referenzgebäude**“ dürfen in der Planung nicht überschritten werden. Für Energiestandards, die ebenfalls nach GEG nachgewiesen werden – wie die Förderstandards der Effizienzgebäude (bis 2/22) – sind nur prozentuale Anteile an den Referenzwerten erlaubt.

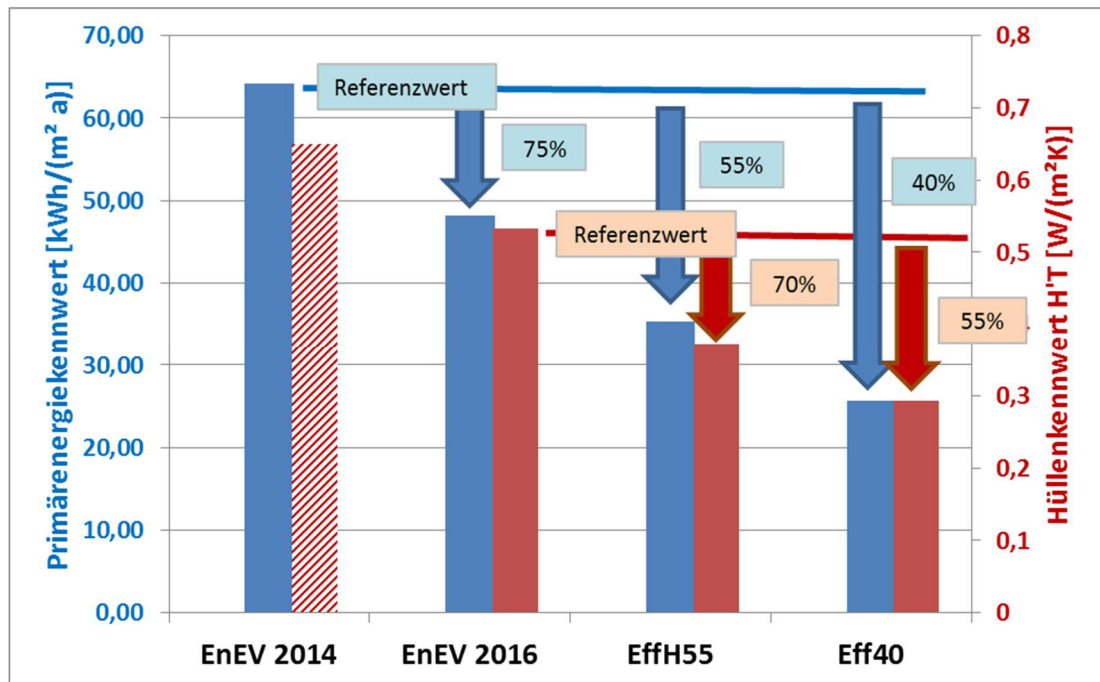


Abb. 5: Berechnung Referenzgebäude und Nachweis mit Anforderungsniveaus an das Effizienzgebäude (EffH oder EH). Die Zahlenwerte beziehen sich auf die Berechnung eines bestimmten Mustergebäudes. Die Anforderungen des GEG entsprechen der EnEV2016.

Das GEG integriert die Anforderungen des EEWärmeG. Demnach muss die Wärmeversorgung bei Neubauten anteilig regenerativ gedeckt werden, z.B. durch 15% solare Wärme oder 30% Biomasse oder 50% Umweltwärme. Ersatzweise kann Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder hocheffiziente Fernwärme verwendet werden.

### 3.6 Die Rolle der Wärmeversorgung

Aufgrund der Anforderungen des GEG nach Einhaltung des Primärenergiekennwerts kommt der Wärmeversorgung und damit dem Anteil an regenerativen Energien, die für die Beheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt werden, besondere Bedeutung zu. Das GEG stellt jedoch auch direkte Hüllanforderung an den spezifischen Durchgangskoeffizienten der Gebäudehülle  $H'T$ , sodass es nicht möglich ist, die Primärenergieanforderung allein durch einen spezifisch niedrigen Primärenergieaufwand der Versorgung zu erfüllen und den Endenergiebedarf des Gebäudes außer Acht zu lassen. Dies bringt zum Ausdruck, dass auch regenerative Energien Ressourcen sind, die sparsam verwendet werden müssen.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass es aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll ist, „entlang der Hüllanforderungen“ zu bauen, das heißt, die Anforderungen des GEG

(gleich gut wie Referenzgebäude) bzw. mit prozentuellen Abschlägen (KfW Effizienzhäuser) zu bauen und daraus den Mindestanteil regenerativer Energien der Wärmeversorgung zu bestimmen. Umgekehrt bedeutet dies, dass mit hohem Regenerativanteil (z.B. Holzpellet-Heizung) Effizienzstandard EffH40 unter Einhaltung der Mindeststandards in der Hülle meist möglich ist, während umgekehrt mit reiner Gasversorgung (Brennwert-Gaskessel) bereits die Einhaltung des GEG schwierig wird. Aufgrund der beiden Anforderungen an Hülle und Primärenergie ist eine Kompensation in der Regel nicht wirtschaftlich möglich. Ein zu niedriger Regenerativanteil der Versorgung kann durch verbesserte Hülle nicht wirtschaftlich aufgefangen werden.

Der Ausgleich von zu niedrigem Regenerativanteil durch Verbesserungen in der Hülle ist meist möglich, wird aber schnell unverhältnismäßig teuer (Abb. 6). Die Verbesserung der Versorgung durch Versorgungsarten mit höherem Regenerativanteil ist meist die bessere Wahl. Oft sind dadurch mit leichten und günstigen Verbesserungen in der Hülle höherwertige Standards leicht erreichbar (z.B. EffH55). Auch bei niedrigem Primärenergiekennwert sollte auf niedrigen Bedarf (Endenergie) geachtet werden, da auch regenerative Energien knappe Ressourcen sind.

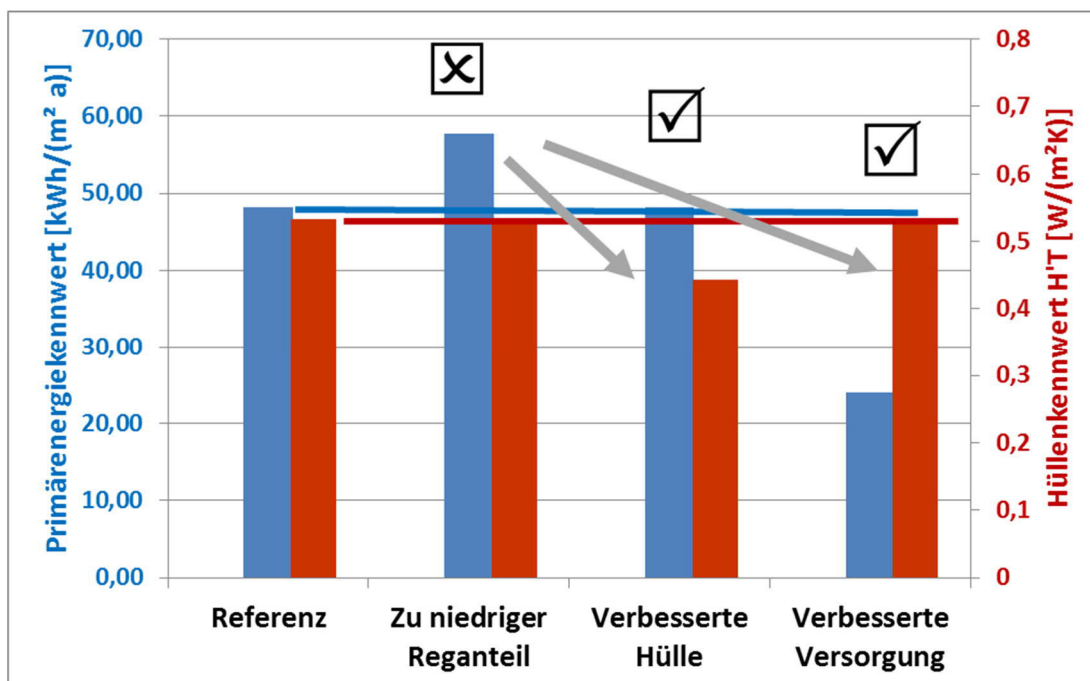


Abb. 6 Kombination von Hülle und Wärmeversorgung – verschiedene Möglichkeiten die Anforderungen zu erfüllen

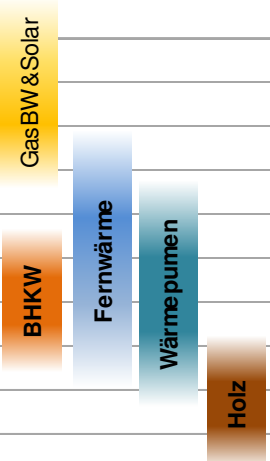
Typische Anlagenwerte		Qualität der Hülle			Standard kann erreicht werden		
		wie GEG	verbessert	stark verbessert			
Aufwandszahl (Primärerergie)	$e_p$ / $H_T$	100%	70%	55%			
	1,2	GEG	GEG	x	nein		
	1,1	GEG	GEG	x		aufwändig	
	1,0	GEG	GEG	x			gut
	0,9	GEG	EH55	EH55		nicht relevant	
	0,8	GEG	EH55	EH55			
	0,7	GEG	EH55	EH40			
	0,6	GEG	EH55	EH40			
	0,5	GEG	EH55	EH40			
	0,4	GEG	EH55	EH40			
	0,3	GEG	EH55	EH40			
0,2	GEG	EH55	EH40				

Abb. 7 Mit welcher Versorgung zum Effizienzhaus? Mögliche Kombinationen von Gebäudehülle und Versorgungstechnik. Typische Werte für die Kombination von Haustechnik und Gebäudehülle.

Um einen hohen Energiestandard wie EffH40 oder EffH40 Plus zu erreichen ist es wirtschaftlich, Versorgungsvarianten zu wählen, die es erlauben, die Mindestanforderungen des Standards in der Gebäudehülle zu realisieren. Beispielsweise kann die Kombination mit (sehr guter) Wärmepumpenlösung und Holzpellets erfolgreich sein (Abb. 7).

## 3.7 Rechnerische Grundlagen

### 3.7.1 Parameter für Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungsvarianten wurde anhand von Musteranlagen untersucht. Hierzu wurden alle für die Versorgungsvarianten relevanten Investitionen (Anlagen der Wärmeerzeugung, Speicherung und Verteilung) sowie die Verbrauchskosten der Versorgung ermittelt und annuitätisch nach dem Verfahren der VDI 2067 ([VDI 2067-1]) bzw. Leitfaden energieeffiziente Gebäudeenergieplanung ([LEG 95]) bewertet. Die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit sind in Tab. 2 aufgeführt.



Tab. 2: Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Szenario	Basis	Günstig	Teuer
Kalkulationszinssatz	<b>3,00%</b>	2,00%	4,00%
jährliche Teuerungsrate der Wärme	<b>4,50%</b>	2,00%	6,00%
jährliche Teuerungsrate des Stroms	<b>4,50%</b>	2,00%	6,00%
jährliche allgemeine Teuerungsrate	<b>4,00%</b>	2,00%	6,00%
Nutzungsdauer Haustechnikkomponenten	Nach VDI 2067		
Nutzungsdauer Gebäudehülle	30 a		
Betrachtungszeitraum	20 a		

## Investitionen

Alle Kostenangaben sind grobe Abschätzungen aus Richtpreisangeboten, Kostenindex, Baupreislexika etc. Die Angaben verstehen sich netto ohne MwSt. im betriebsfertigen Zustand oder – wenn davon abweichend – nach Angabe. Um eine Abgrenzung von Kostenermittlungen zu dokumentieren, wurde der Begriff „Erwartungswert“ verwendet.

## Mehrkosten

Die Kostenansätze für Maßnahmen an der Hülle sind in der Regel Mehrkosten gegenüber der Mindestdämmung. Diese beinhalten die Lieferung und Anbringung von Dämmschichten; nicht jedoch „Sowieso-Maßnahmen“ wie Nebenkosten (z.B. Gerüst).

## Verbrauchskosten

Die Beurteilung von leitungsgebundenen Energieträgern (Strom, Gas, Fernwärme) erfolgt – wenn notwendig – auf Basis einer in Ulm zugängigen allgemeinen Tarifstruktur. Weitere Energietarife wurden – wenn notwendig – aufgrund öffentlich zugänglicher Quellen (z.B. Carmen e.V. für Holzbrennstoffe) herangezogen.

## Zins und Teuerung

Für Energie wurde eine jährliche Teuerung angenommen, ebenso wurde die allgemeine Teuerung von Betrieb und Wartung berücksichtigt. Preisangaben beziehen sich auf den mittleren Aufwand über den Betrachtungszeitraum (wenn nicht anders angeben). Der Betrachtungszeitraum beträgt 20 Jahre, Investitionen wurden anhand ihrer kalkulatorischen Lebensdauer verteilt oder als Ersatzinvestitionen berücksichtigt.

Um eine Bandbreite der wirtschaftlichen Entwicklung abzudecken, wurden neben dem Basis-Szenario die Varianten GUENSTIG und TEUER untersucht (Tab. 2).



Die angenommenen Preissteigerungen für Energieträger beinhalten auch alle Steuern und Abgaben, die bei der Übertragung und Nutzung des Energieträgers anfallen, z.B. Netzentgelte, CO<sub>2</sub>-Steuer usw.

### 3.7.2 Tarife

Im Rahmend der Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die Tarife Tab. 3 verwendet.

Tab. 3: Energietarife – der Grund- und Messpreis wurde bei den allgemeinen Tarifen mit dem Arbeitspreis zu einem reinen verbrauchsbezogenen Tarif zusammengefasst. Alle Preise ohne MwSt. (netto). Die Preise wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt

Tarif	Anbieter	Energie-träger	Grundpreis [Einheit]	Arbeitspreis [Einheit]	Quelle
Holzpellets 20t incl. Lieferung	Alle	Holz		6,77 ct/kWh	<a href="http://www.carmen-ev.de">www.carmen-ev.de</a>
Allgemeiner Stromtarif	Alle	Strom	Incl.	30 ct/kWh	<a href="http://www.check24.de">www.check24.de</a>
Fernwärme (Stand 1.7.22)	FUG	Wärme	65,10 je kW	8,175 ct/kWh	<a href="http://www.fernwaerme-ulm.de">www.fernwaerme-ulm.de</a>

Der Energiemarkt ist (Stand Frühjahr/Sommer 2022) äußerst unbeständig. Eine stabile Preisprognose ist derzeit kaum möglich. Tendenziell ist jedoch mit einer stark überproportionalen sowie nach Energieträgern differenzierten Preissteigerung zu rechnen.

Aus diesem Grund sind valide Wirtschaftlichkeitsberechnungen derzeit nur schwer zu erstellen. Behelfsmäßig wird daher eine Bandbreite von Preissteigerungsszenarien betrachtet, die es mindestens erlauben, Tendenzen unter den betrachteten Varianten aufzuzeigen.

### 3.7.3 Umweltfaktoren

Die Bewertung der Umweltrelevanz erfolgt anhand des Primärenergieaufwands und der Äquivalentemissionen an CO<sub>2</sub>.

Beim Primärenergiebedarf wird der Aufwand des Energieträgers (Wärme, Strom etc.) auf die bei der Erzeugung und Bereitstellung benötigten Mengen an Primärenergieträgern (Öl, Gas, usw.) bezogen. Der Primärenergiebedarf enthält also neben den anlagenspezifischen Verlusten auch die bei der Erzeugung und Verteilung auftretenden Verluste wie z. B. die Verluste bei der Stromerzeugung im Kraftwerk und Verteilung im Stromnetz. Der Primärenergiefaktor ist das Verhältnis von (gelieferter) Endenergie in kWh zu Primärenergieaufwand in kWh des jeweiligen Energieträgers.



Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent ist die Summe der Treibhauseffekt-wirksamen Emissionen, welche die gleiche Wirkung wie die angegebene Menge CO<sub>2</sub> besitzt. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird spezifisch für jeden Brennstoff angegeben. Damit lassen sich die Äquivalentmengen und damit die Umweltwirksamkeit eines (End-)Energieverbrauchs angeben und bewerten.

Tab. 4 Primärenergiefaktoren der Energieträger und Prozesse, Kumulierter Energieaufwand.  
Quellen: [GEG 2020], [DIN V 18599 1-10], [DIN V 4701-10:2003] [PHPP2004], [Gemis 4.93], [Gemis 5.0], [IWU KEV], [ifeu Biogas2008], [IWU Zukunft], [Climate Change 71]

Energieträger / Prozess	Primärenergiefaktor $f_p$ [kWh/kWh]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent [g/kWh]	Quelle
Holz, Holzpellets	0,2	20	GEG
Erdgas H	1,1	240	GEG
StromMix D	1,8	560	GEG
Strom Substitution d. Stromerzeugung	-2,6	- 860	GEG
<i>Weitere Quellen (informativ)</i>			
Energieträger / Prozess	KEV (nicht regenerativ) [kWh/kWh]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent [g/kWh]	Quelle
StromMix D 2050	0,05	21	Inas2018 / Gemis 5.0
Solarenergie (PV Strom)	0,0		DIN 18599 2011
Biogas (Bio-Erdgas)	0,5	7	DIN 18599 2011, Nach Basisdaten Biogas ifeu
Solarwärme (Flachkollektor)	0,03	13	Kumulierter Energieaufwand (IWU2014) / GEMIS 4.93

## 4 Bewertung des städtebaulichen Entwurfs

### 4.1 Kompaktheit der Baukörper

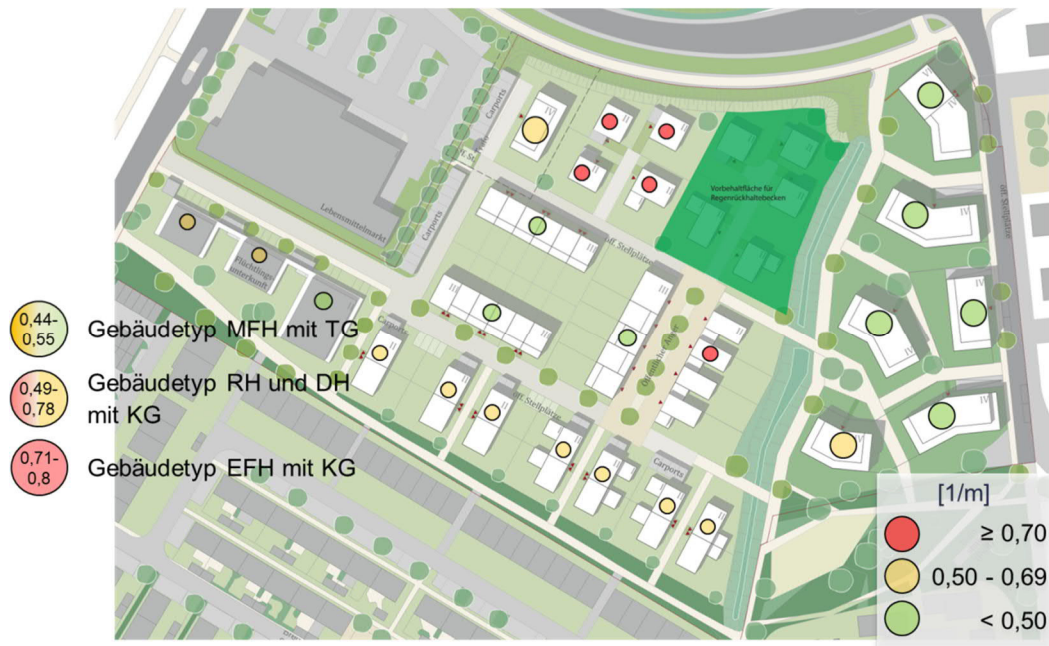


Abb. 8 Kompaktheit der Baukörper.  
Die dargestellten A/V-Verhältnisse entsprechen den vereinfachten Baukörpern im 3D-Modell. Sie können sich bei der weiteren Ausgestaltung der Architektur noch verschlechtern – insbesondere bei EFH, RH und DH

Die Baukörper wurden auf Kompaktheit hin untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 8. gezeigt, die eingeschossigen Zwischenbauten wurden berücksichtigt. Die dargestellten A/V-Verhältnisse entsprechen den vereinfachten Baukörpern im 3D-Modell. Sie könnten sich im ungünstigsten Fall bei der weiteren Ausgestaltung der Architektur noch verschlechtern.

#### Bewertung

Die Baukörper MFH sind sehr kompakt. Weniger kompakt sind EFH und Kettenhäuser. Hier würde eine stärkere Reihung dieser Gebäude zu kompakteren Strukturen führen.

## 4.2 Untersuchung der Belichtungssituation

Die Belichtung der Fassaden wurde exemplarisch untersucht (s.a. Dokumentation zum Auftakttermin).

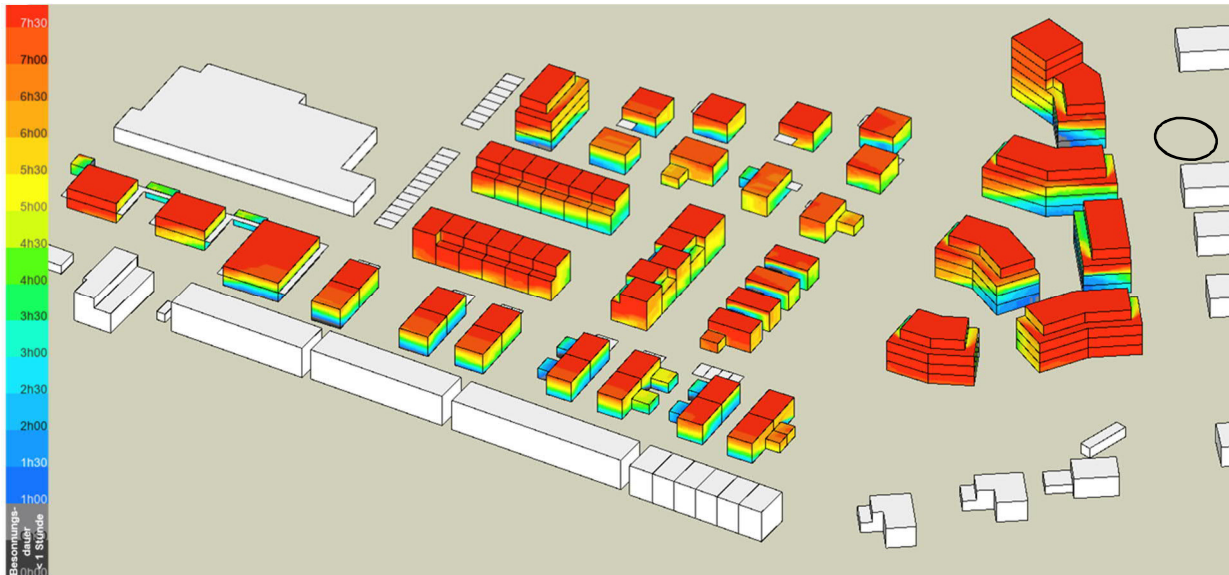


Abb. 9 Simulation der Besonnung am 17. Januar bei klarem Himmel. Blick aus Süden. Die meisten Fassaden Süd und Südost sind sehr gut besonnt. Die Südwestfassaden weisen an den eingezogenen Balkonen eine ungenügende Besonnung auf.

### Ergebnisse

Abb. 9 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Belichtungssituation exemplarisch für den 17. Januar.

### Bewertung

Die Belichtungssituation auf den Fassaden mit dahinterliegenden Wohnräumen ist überwiegend sehr gut. Insbesondere die Süd- und Südostfassaden sind sehr gut besonnt. Auch die Südwestfassaden sind überwiegend gut besonnt. In den tieferliegenden Räumlichkeiten in den Erd- und Gartengesossen (s. eingekreiste Bereiche in Abb. 9) sollte auf eine Raumaufteilung in mehrere Himmelsrichtungen geachtet werden, damit trotz schattenwerfender Nachbargebäude eine ausreichende Besonnung gewährleistet werden kann. Gegebenenfalls sollte für die genannten Bereiche eine Überprüfung erfolgen.

### 4.3 Nutzbare solare Gewinne – Ausrichtung der Baukörper und Verschattung

Passive solare Gewinne über Fenster können vor allem in der Übergangsjahreszeit genutzt werden. Im Kernwinter ist die Einstrahlung zu gering, um nennenswerte Beiträge zur Reduktion des Heizwärmebedarfs zu liefern, im Sommer wird der Wärmeeintrag nicht benötigt. In den Frühjahrsmonaten März–April und Herbstmonaten Oktober–November sind die solaren Beiträge geeignet, die Heizzeit zu verkürzen und damit Heizenergie einzusparen. Daher wurde die Übergangsjahreszeit März–April simuliert und dargestellt. Insbesondere bei Hocheffizienzgebäude (EffH40, Passivhaus) sind hohe solare Einträge ein notwendiger Beitrag der Energieeffizienz (s.a. Dokumentation zum Auftakttermin).

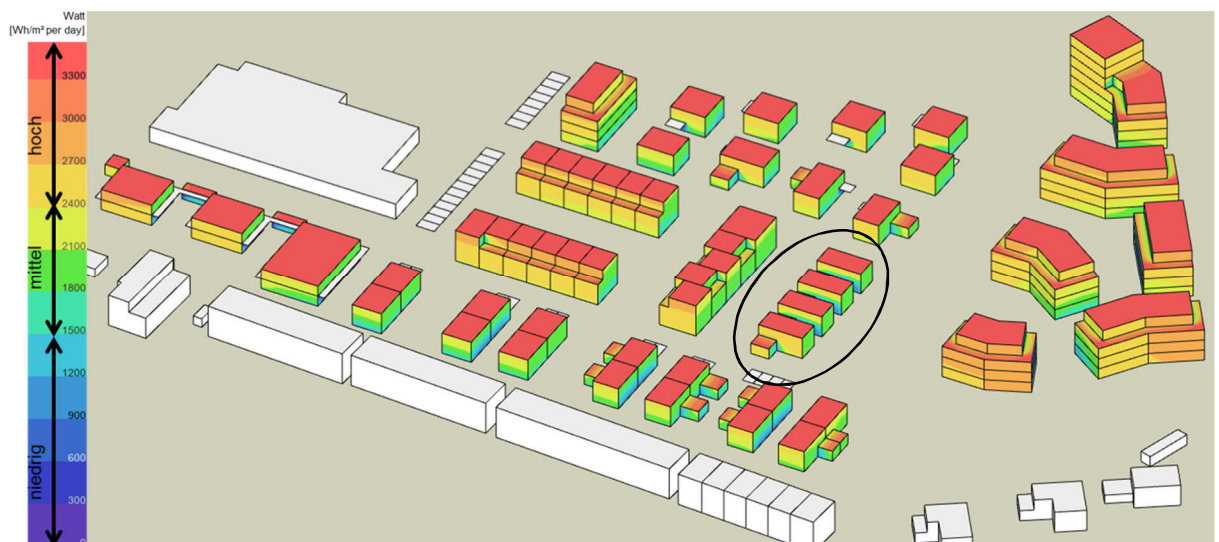


Abb. 10 Mittlere solare Tageseinstrahlung März–April.

## Reduzierung der Solareinstrahlungen auf Fassaden März - April

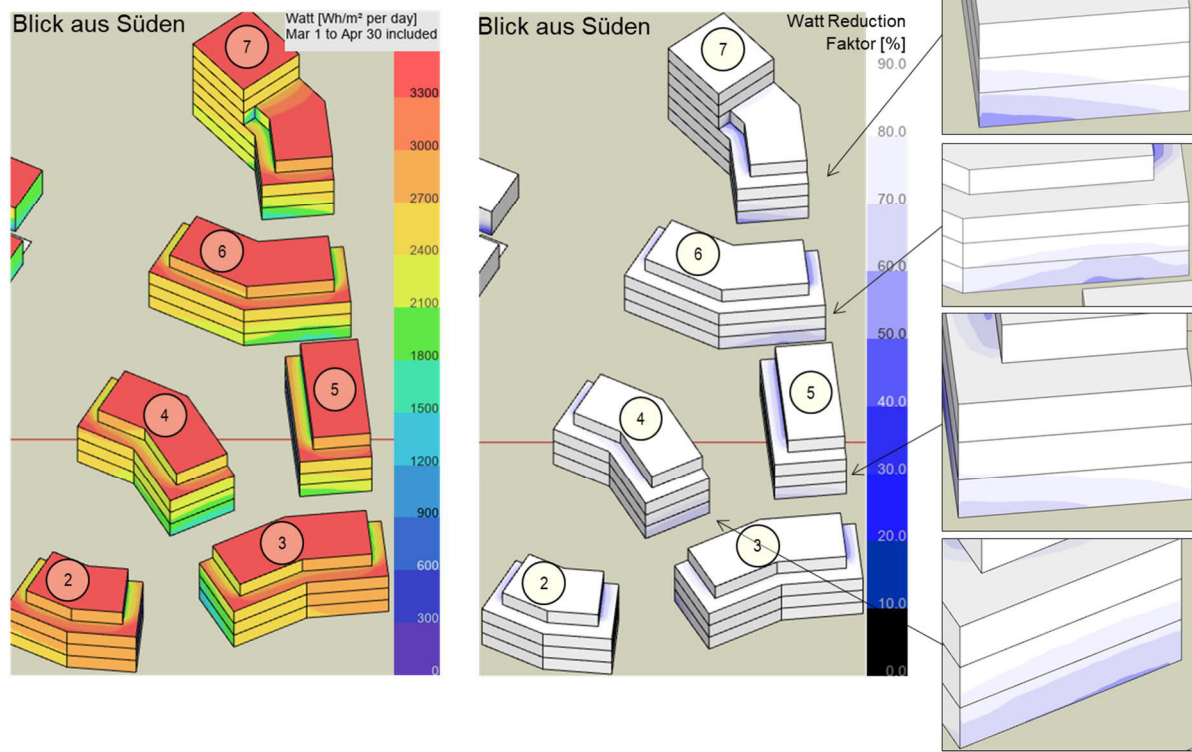


Abb. 11 Relative solare Einstrahlung auf die Fassaden März-April in Anteilen der unverschatteten Einstrahlung.

### Ergebnisse

Die absolute Einstrahlung in der Simulation wurde für das Plangebiet in dokumentiert. Abb. 10 und Abb. 11 zeigen die relativen Einstrahlungen, d.h. die Relation zwischen tatsächlicher und unverschatteter Einstrahlung. Die Abbildung zeigt daher ein Maß der Verschattung und damit der geminderten Energienutzung.

### Bewertung

Die Fassaden Ost-Süd sind weitgehend unverschattet, die solare Exposition dementsprechend hoch. Auch die Westfassaden sind überwiegend nahezu unverschattet. Nur die Baukörper Kettenhäuser weisen nennenswerte Verschattungen auf. Dies kann, insbesondere auch mit dem eher ungünstigen A/V-Verhältnis dieser Gebäudetypen zu unerwünschter Erhöhung des Heizwärmebedarfs führen.

Vor allem bei den Geschosswohnbauten sind die verbleibenden Verschattungen jedoch insgesamt gering und es nicht zu erwarten, dass sich der Heizwärmebedarf aufgrund der Verschattung nennenswert verschlechtert.

## 4.4 Aktive Solarnutzung

Aktive Solarnutzung kann thermisch durch Solarkollektoren und elektrisch durch Photovoltaik (PV) erfolgen. Beide Anwendungen stehen grundsätzlich in Konkurrenz bezüglich der vorhandenen Dachflächen (oder Flächen auf Nebengebäuden wie z.B. Garagen).

Für die Anwendung thermischer Solarenergie ist die Art der Versorgung des Gebäudes entscheidend. Bei vielen Systemen zur Wärmeversorgung lässt sich thermische Solarenergie nicht sinnvoll (wirtschaftlich und ökologisch) integrieren.

### Bewertung

Die aktive Nutzung von Solarenergie durch thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung sowie Photovoltaikanlagen ist im Plangebiet gut möglich. Die Analyse des 3D Modells zeigt, dass für alle Gebäude keine relevante Verschattung durch Gebäudeteile zu erwarten ist. Auf allen Gebäuden ist es möglich, adäquate Anlagen zu errichten.

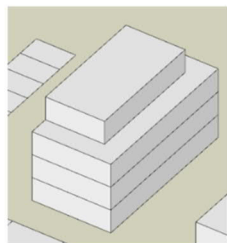
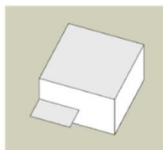
### Empfehlungen

Wir empfehlen, die Dachstrukturen zu belassen. In der Ausführung sollte darauf geachtet werden, dass verschattende Aufbauten auf Flachdächern unterbleiben. Die Bepflanzung sollte unverschattete PV-Flächen ermöglichen. Damit eine hohe Ausnutzung der Dachfläche erfolgen kann wird empfohlen, auf den oftmals aus gestalterischen Gründen geforderten Abstand zum Dachrand zu verzichten.

## 5 Gebäudehülle, Wärmeschutz

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle wurde exemplarisch an einem Mustergebäude EFH und Geschosswohnbau MFG untersucht. Die Nachweise wurden in Anlehnung an GEG / DIN 18599 vereinfacht geführt.

### Mustergebäude



	GEG	EffH 55	EffH 40 EffH 40 +
<b>AW</b>	13 cm	20 cm	28 cm
<b>Fenster</b>	2-fach-WSV	3-fach-WSV	3-fach-WSV
<b>Dach</b>	16 cm	26 cm	34 cm
<b>Keller</b>	9 cm	14 cm	22 cm
<b>Planungs aufwand</b>		+	++
<b>AW</b>	11 cm	18 cm	26 cm
<b>Fenster</b>	2-fach-WSV	3-fach-WSV	3-fach-WSV
<b>Dach</b>	16 cm	26 cm	34 cm
<b>Keller</b>	9 cm	13 cm	16 cm
<b>Planungs aufwand</b>		+	++

Abb. 12 Ergebnisse der Musterberechnung und zu erwartender Aufwand für Wärmeschutzmaßnahmen bei verschiedenen Energiestandards.

### Ergebnis

Aufgrund der guten Kubatur lässt sich das Mustergebäude MFH (und damit auch die anderen Baukörper) mit sehr überschaubarem Aufwand auch im hohen Energiestandard EH40 realisieren. Beim EFH ist der Aufwand etwas erhöht. Zu beachten ist der höhere planerische Aufwand z.B. für die Wärmebrückenanalyse. Voraussetzung für eine Gebäudehülle „in den Anforderungen des Förderstandards“ ist, dass der Regenerativanteil der Wärmeversorgung ausreichend hoch ist (s.a. Kap. 3.6).

### 5.1 Zusammenfassung und Empfehlungen Energiestandard

Ein hoher Energiestandard ist realisierbar und empfehlenswert. Wir schlagen vor, den Energiestandard EH40 (oder EH40Plus) zu planen. Es ist zu erwarten, dass die Baugenehmigung bereits mit der höheren gesetzlichen Anforderung zusammenfällt (s. Hinweis in Kap. 3.4).



## 6 Bedarfswerte Wärme und Strom



Abb. 13 Die Baufelder

Tab. 5 Die Kenndaten der Baufelder

	Baufeld [m <sup>2</sup> ]	Ge- bäude [St]	BGF [m <sup>2</sup> ]	Einwohner [St]	Wohneinheiten [St]
EFH	9.480	5	1.807	36	15
RH-WEST	12.921	3	5.275	125	42
RH-OST	4.763	4	779	19	6
RH-SÜD	18.437	7	3.560	74	28
MFH	26.861	6	7.518	180	87
<b>Summe</b>	<b>72.462</b>	<b>25</b>	<b>18.939</b>	<b>434</b>	<b>178</b>



## 6.1 Heizwärme, Wärme für Warmwasserbereitung, Heizlast

Der Endenergiebedarf wurde auf Basis der Mustergebäude auf das Plangebiet unter Annahme (den Anlagenverlusten) einer Fernwärmeversorgung hochgerechnet.

Die Heizlast wurde als Abschätzung der real auftretenden Heizlast zur Deckung des Heizwärme- und Warmwasserbedarfs ermittelt. Sie stellt keine Auslegung nach Heizlastauslegung dar (Tab. 6).

Tab. 6 Endenergie (gelieferte Endenergie bei Standardversorgung „Fernwärme“) für die einzelnen Baufelder. Die angegebenen Werte stellen eine Abschätzung der gelieferten Wärmemengen (unter Annahme einer Standard-Übergabe und -Verteilung im Gebäude) für Heizung und Warmwasserbereitung dar.

Baufeld	Endenergie				Heizlast	Wärmedichte	
	GEG	EffH55	EffH40	EffH40+			EH40
	[MWh/a]						[kW]
EFH	156	125	90	57	75	94,8	
RH-WEST	396	316	270	167	220	209,0	
RH-OST	59	47	40	25	33	83,7	
RH-SÜD	321	248	157	112	149	85,2	
MFH	608	518	439	240	314	163,4	
<b>Summe</b>	<b>1.540</b>	<b>1.254</b>	<b>996</b>	<b>601</b>	<b>791</b>	<b>137,4</b>	

## 6.2 Wärmedichte im Gebiet, spezifische Netzlast

Die Werte der Heizlast und des Wärmebedarfs erlauben eine erste Abschätzung, ob der wirtschaftliche Betrieb einer Nahwärmeversorgung möglich erscheint.

Das baden-württembergische Wirtschaftsministerium nennt einen Wert von mindestens **250 kWh/(ha a)** als Richtwert für einen möglichen wirtschaftlichen Betrieb von Nahwärmenetzen [Nahwärme BaWü].

### Nahwärmenetz

Tab. 6 zeigt einen Überblick über die mindestens zu erwartenden Wärmedichten (bei EH40).

## Bewertung

Für den Neubau eines Nah- oder Fernwärmenetzes wären die Nachfragedichten im Plangebiet zu gering. Auch beim gesetzlichen Standard GEG wäre im Gesamtgebiet die übliche wirtschaftliche Grenze nicht erreicht. Bei dem Gebiet handelt es sich jedoch um ein Fernwärmeausbauggebiet, bei dem lediglich ein Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz hergestellt werden muss. Damit kann erwartet werden, dass der genannte Wert für einen wirtschaftlichen Anschluss ausreichend ist. Zudem ändern sich derzeit die wirtschaftlichen Randbedingungen hin zum Fernwärmeanschluss. Beide Aspekte weisen darauf hin, dass die genannten Kriterien kein Ausschluss von Fernwärme aus wirtschaftlichen Gründen darstellen.

## 6.3 Strombedarf

### Heizstrom, Wärmepumpenstrom und Hilfsstrom für Anlagen

Strom, der für Wärmepumpen indirekt (oder als Nachheizung direkt) zur Beheizung verwendet wird, wird unter Endenergie Wärme verbucht.

Der Hilfsstrom für Anlagen z.B. Pumpenstrom und Hilfsstrom für Wärmeerzeuger und Regelungen wird bei der Betrachtung der Wärmeversorgung ermittelt. Ohne Berücksichtigung des Strombedarfs von Lüftungsanlagen, Aufzügen u.dgl. liegt der Hilfsstrom-Bedarf Anlagen für das Gesamtgebiet bei rd. **31 MWh/a**.

### Kälteanlagen

Im Plangebiet ist ausschließlich Wohnbebauung vorgesehen. Es wird angenommen, dass für Wohnen kein Kältebedarf (Raumkälte) anfällt. Bei guter Planung des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnräumen ist diese Annahme realistisch. Der Zielwert ist, aktive Kühlung (Kompressionskälte) im Plangebiet vollständig zu vermeiden. Passive Kühlung durch Erdkollektoren oder Nachtlüftung ist möglich und sinnvoll. Es ist kein Prozesskältebedarf vorgesehen.

### Haushaltsstrom

Der Stromverbrauch in Privathaushalten (Sektor Wohnen) ist sehr stark von der Geräteausstattung und der Haushaltsgröße abhängig. Kleine Haushalte mit ein bis zwei Personen zeigen einen Sockelbetrag; je mehr Personen im Haushalt leben, umso geringere spezifische Verbräuche Strom je Person sind zu erwarten. Umgerechnet auf die mittlere Wohnfläche von rd. 33 m<sup>2</sup> je Person (MFH) sind in einem Drei-Personenhaushalt Verbrauchswerte zwischen 16 kWh/(m<sup>2</sup>a) Wohn- oder



Nutzfläche (sehr sparsam – Kat. A) bis 39 kWh/(m<sup>2</sup>a) (sehr hoch – Kat. G) zu erwarten.

Für die Prognose des mittleren Stromverbrauchs für die Gebäude wurde daher eine Methode gewählt, die eine mögliche Verteilung der Haushaltsgrößen berücksichtigt (Tab. 7). Es wurde angenommen, dass auf der Gesamtfläche „Wohnnutzung“ vorherrscht.

Tab. 7: Haushaltsgrößen und angenommene Verteilung der Haushalte im Plangebiet. Die spezifischen Verbrauchsdaten orientieren sich am Stromspiegel (Stromspiegel – Vergleich des Stromverbrauchs in Deutschland).  
Quelle: BMUB, <http://www.die-stromsparinitiative.de/stromspiegel/>

### Stromspiegel für Deutschland 2021/22

				Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
				gering			sehr hoch			
				A	B	C	D	E	F	G
Personen je HH	Anzahl HH	Annahme Verteilung	Flächenverteilung	A	B	C	D	E	F	G
1	30	17%	6,8%	800	1.000	1.200	1.500	1.600	2.000	2.000
2	59	33%	26,4%	1.200	1.500	1.800	2.100	2.500	3.000	3.000
3-4	71	40%	55,9%	1.600	1.950	2.350	2.750	3.250	3.900	3.900
> 4	18	10%	10,9%	1.700	2.150	2.650	3.200	3.850	4.800	4.800
Summe über alle HH MWh/a				239	295	356	421	495	599	599

Die Prognose des Stromverbrauchs im Plangebiet für Haushaltsanwendungen (Geräte und Beleuchtung ohne Beheizung und Warmwasserbereitung sowie Raumkühlung) liegt bei **rd. 365 MWh/a**. Das Szenario „C“ (voraussichtliche Entwicklung) berücksichtigt bereits eine sparsame Ausstattung für Stromanwendungen. Das Ziel-Szenario „A“ liegt mit rd. 239 MW/a nochmals deutlich darunter. Allerdings wäre es zum Erreichen dieses Verbrauchsniveaus notwendig, alle möglichen Stromsparmaßnahmen konsequent anzuwenden.

## 7 Wärmeversorgungstechnik und qualitative Systemauswahl

### 7.1 Auswahl möglicher Versorgungstechniken

Tab. 8 Übersicht über die verfügbaren regenerativen Energien und deren Nutzung (Einzel – dezentrale Versorgung jedes einzelnen Gebäudes, Zentral – Zentralversorgung)

		Einzel	Zentral
Sonne	Prüfung der Dachflächen. Flächen für solare Kollektoren zur solaren Nahwärmeversorgung müssen bereitgestellt werden.		
Außenluft	Nutzung mit Wärmepumpe. Aufgrund der geringen winterlichen Außentemperatur relativ ineffizient.		
Geothermie	Aufgrund Einschränkungen nicht überall möglich. Ggf. weitere Untersuchung notwendig. Flächenkollektoren benötigen sehr große Kollektorflächen	oberflächennah bis 400m	
		Flachkollektoren & Agrothermie	
Holz	Grundsätzlich genehmigungsfähig. Lokale Potentiale (beschränkt) vorhanden, über Handel (Pellet, Hackschnitzel) regional und überregional verfügbar	Holzpellets: dezentral sinnvoll möglich, damit scheidet Zentrale aus	
		Industriehackschnitzel: > 300 kW in Zentrale	
		Waldhackschnitzel: Zu geringe Abnahme	
Abwasser	Im Prinzip möglich. Potential müsste ermittelt werden, (Trockenwetterabfluss und Abwassertemperaturen).		
Fernwärme	Fernwärme der FUG		
Grund-/Oberflächenwasser, Biogas, H <sub>2</sub>	Nicht verfügbar, nicht sinnvoll oder nicht genügend regenerativer Strom für Elektrolyse.		

### Ergebnisse

Es wurde ein sehr breites Band an Techniken zur Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien untersucht. Experimentelle, nicht wirtschaftliche oder nicht zur Verfügung stehenden Techniken wurden dabei verworfen und werden hier nicht weiter dargestellt. Tab. 8 zeigt einen Überblick der verbleibenden Möglichkeiten.

### Teilzentrale Versorgung vs. Nahwärmenetz

Bei der zentralen Versorgung werden Gebäude in zusammenhängenden Blöcken – z.B. alle Gebäude des Teilgebiets MFH – gemeinsam aus einer Heizzentrale versorgt. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Anschlussdichten nicht in



allen Teilgebieten für eine wirtschaftliche Neuversorgung ausreichend sind und die Umsetzung einfach gehalten werden soll.

### **Bewertung**

Am Standort stehen relativ wenige Möglichkeiten zur regenerativen Energieversorgung zur Verfügung. Insbesondere bei der zentralen Versorgung kommt außer der bestehenden Fernwärmeversorgung der FUG nur eine Holzkesselzentrale, ggf. ergänzt durch eine solarthermische Kollektoranlage, in Frage. Der Neubau einer solchen Zentrale in Konkurrenz zur Fernwärme ist nicht wirtschaftlich. Auch die teilzentrale Versorgung würde in Konkurrenz zur (bestehenden) Fernwärme stehen, so dass auch keine Argumente für eine teilzentrale Versorgung finden lassen.

Dezentral sind nur Holzpellets und Außenluft-Wärmepumpe, mit Einschränkung auch oberflächennahe Geothermie machbar.

## **8 Wärmerversorgung – Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung**

### **8.1 Vergleich der Wärmeversorgung aus Sicht des Nutzers**

Aus Sicht des Nutzers eines Gebäudes können verschiedene Varianten der dezentralen (gebäudeweisen) und der zentralen Nah- oder Fernwärmeversorgung sowie teil- oder blockzentrale Wärmeversorgungsvarianten miteinander verglichen werden. Der wirtschaftliche Vergleich beinhaltet dabei alle (unterschiedlichen) Komponenten und Kostenfaktoren, die zur Beheizung und Warmwasserbereitung notwendig sind, mithin z.B. dezentrale Wärmeerzeuger und Speicher genauso wie Kosten für Netzanschlüsse oder Annahmen über Baukostenzuschüsse für das Netz im Plangebiet und das vorgelagerte Netz.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung führt investitionsbedingte Kosten und betriebsbedingte Kosten (inkl. Wartung und Instandhaltung) zusammen, so dass die einzelnen Varianten in ihren Gesamtkosten direkt vergleichbar sind. Die Umweltbetrachtung wiederum bezieht sich auf die Emissionen bezogen auf das behandelte Mustergebäude. Auch hier sind die Varianten vergleichbar.

Der Vergleich wurde anhand der Mustergebäude EFH und MFH1 durchgeführt. Es wurden sowohl die Energiestandard GEG, EH55 und EH40 untersucht. Investitionen in die Gebäudehülle wurden anhand der Flächenanteile berücksichtigt. Ebenso wurde Mehraufwand in der Planung berücksichtigt. Die (nicht realistisch umzusetzende) Variante Standard GEG-Gebäude mit Gasbrennwert/Solar dient der Referenz.

Referenz: Gebäude nach GEG mit Gasbrennwertkessel, solar unterstützt

Folgende Varianten wurden untersucht:

- Holzpelletkessel (monovalent), solar unterstützt
- Erdreichwärmepumpe
- Anschluss an Fernwärme der FUG

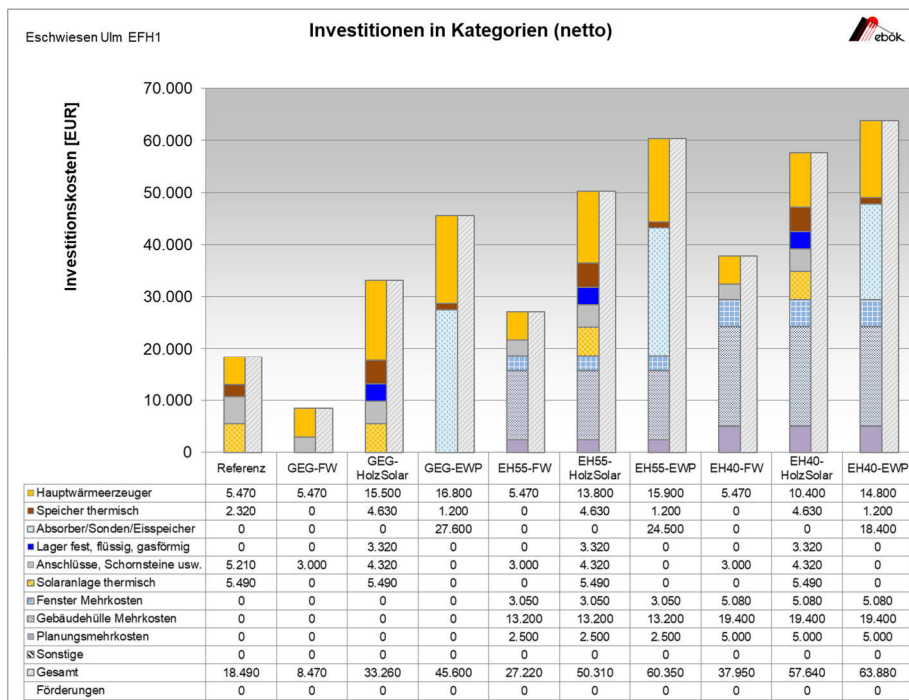
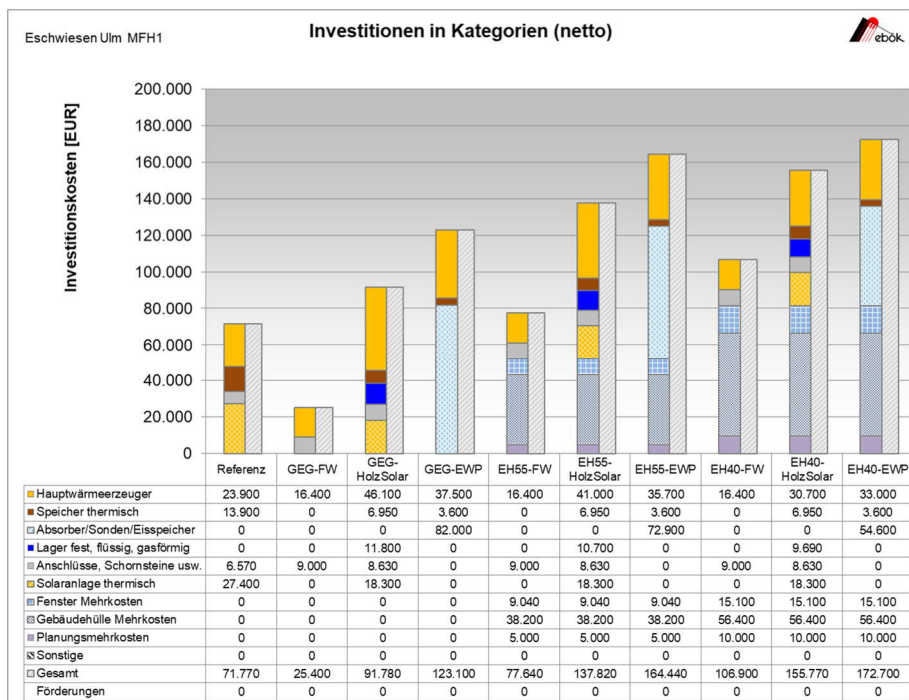


Abb. 14 Investitionskosten aus Nutzersicht für das Mustergebäude MFH1 (oben), EFH(unten)



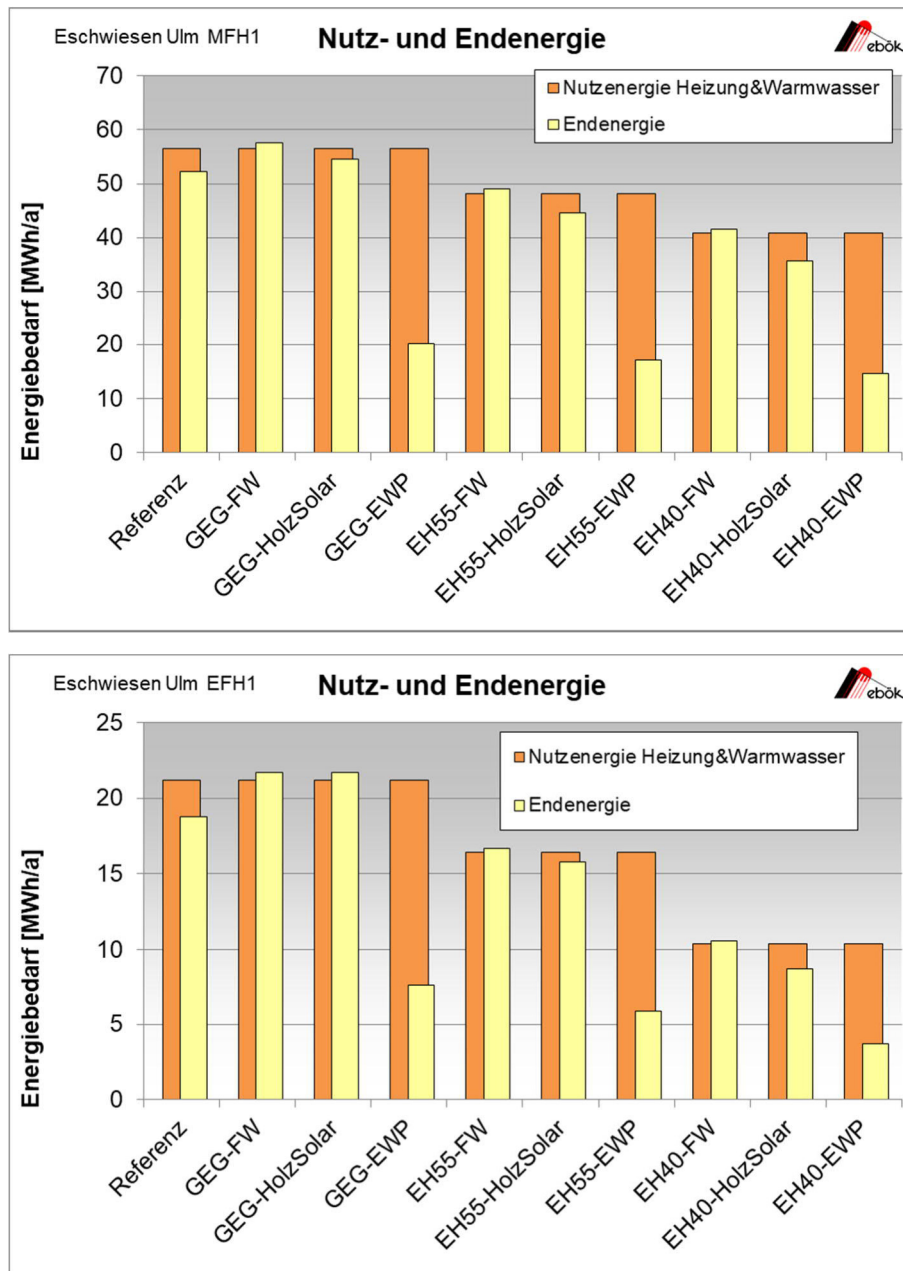


Abb. 15 Nutz- und Endenergiemengen aus Nutzersicht für das Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten).  
Der Umweltanteil bei der Wärmepumpenlösung führt zum Absinken des Endenergiebedarfs. Insbesondere bei Holzpelletkessel ist der Endenergiebedarf bedingt durch die Anheizvorgänge und die vergleichsweise hohe Masse des Kessels erhöht.

Der wirtschaftliche Vergleich wird anhand der annuitätischen Jahreskosten gezogen. Da die annuitätischen Kosten die mittleren Kosten über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung von Preissteigerungen und Kosten der Kapitalbeschaffung darstellen, unterscheiden sie sich im Zahlenwert stark von den jetzigen Kosten für Betrieb eines Gebäudes.

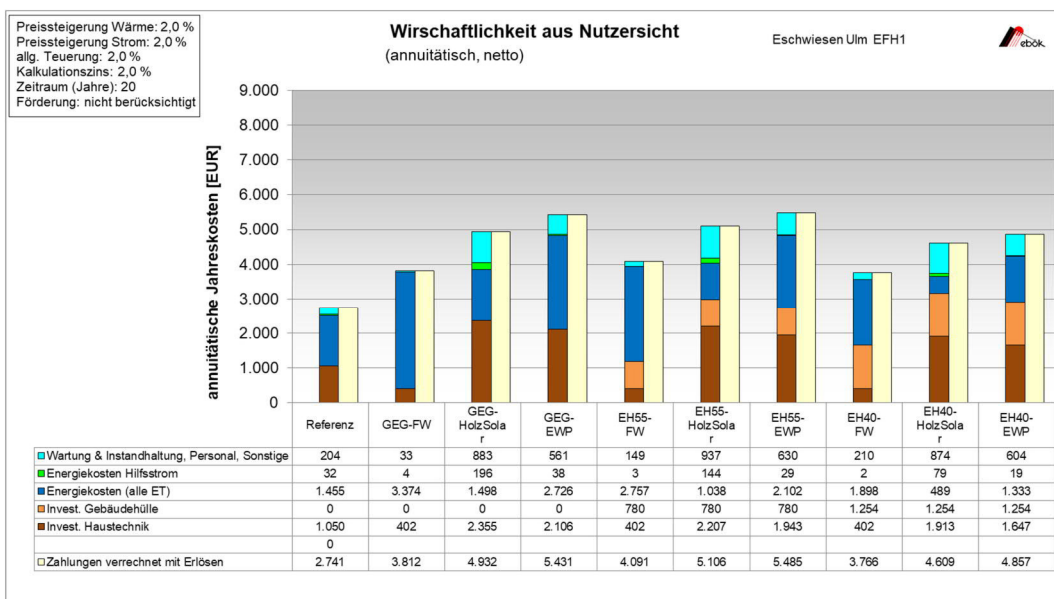
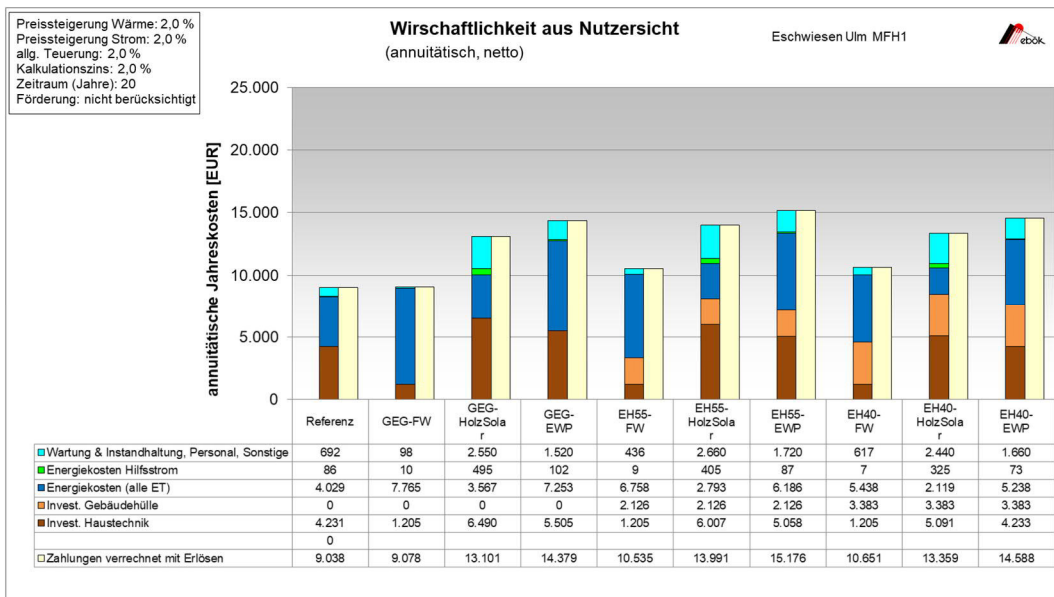


Abb. 16 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Szenario „Günstige Energie“ geringe Preissteigerung der Energieträger.

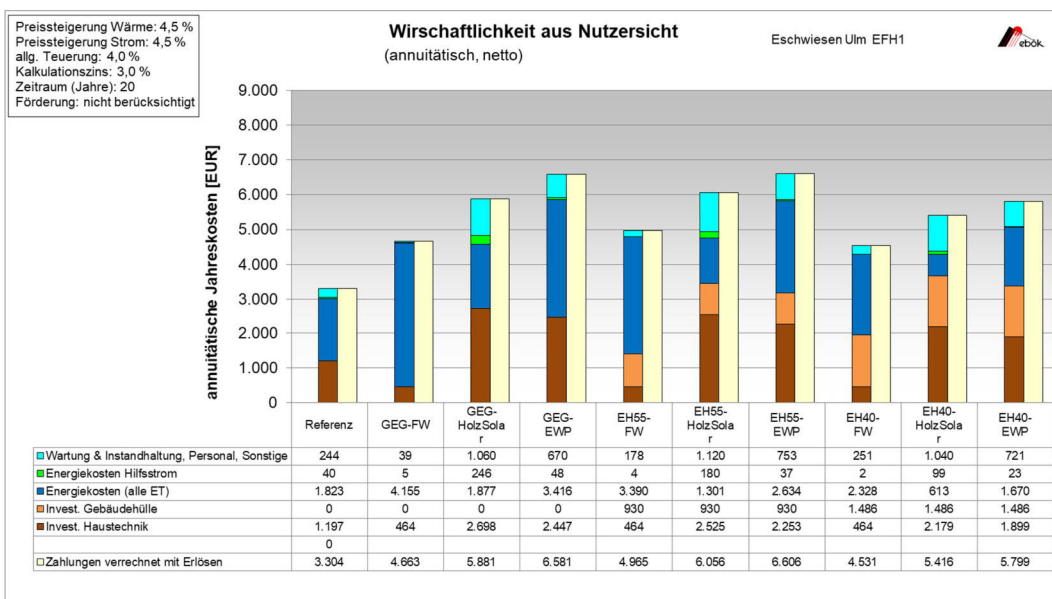
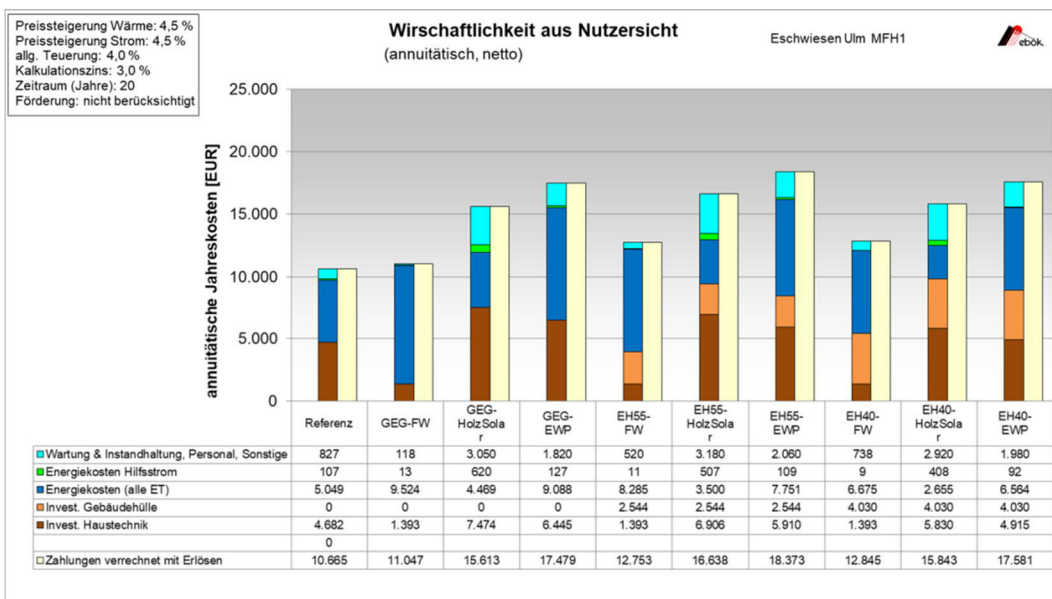


Abb. 17 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben) EFH (unten). Basis-Szenario der Preissteigerung.

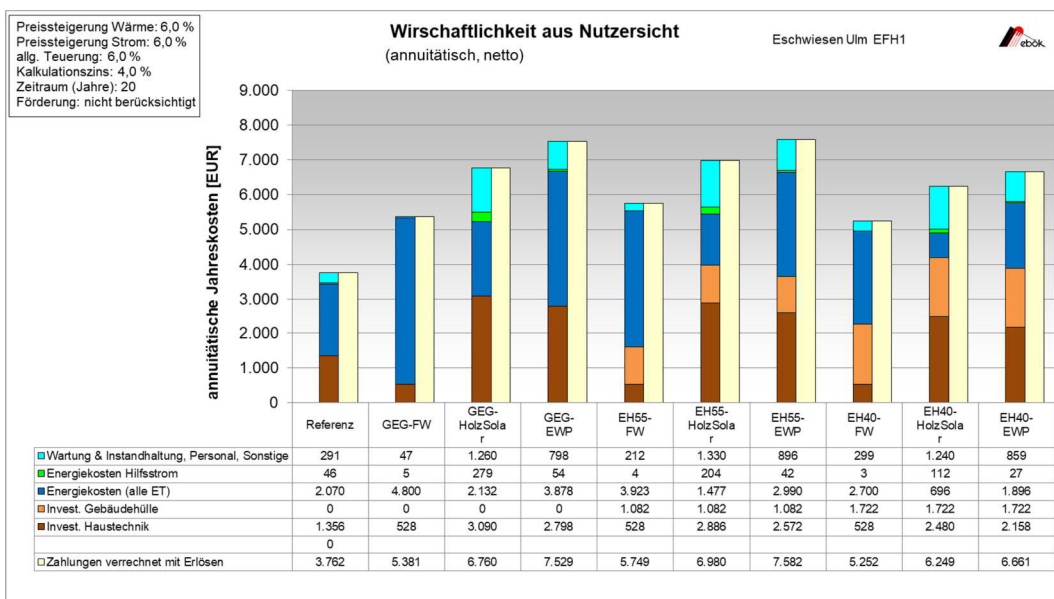
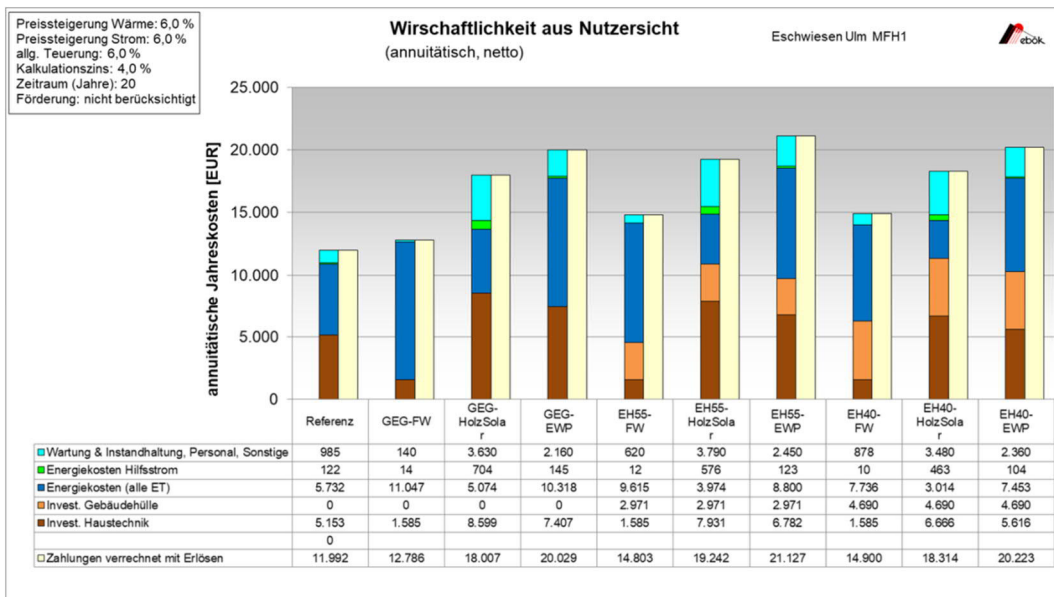


Abb. 18 Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Szenario „Teure Energie“ – hohe Preissteigerung der Energieträger.

## Ergebnisse

Die Nahwärmelösung zeigt (für das Mustergebäude) naturgemäß die geringsten Investitionen (Abb. 14).

Betrachtet man die annuitätischen Jahreskosten (Basisvariante Abb. 17), so schneiden alle Varianten mit Fernwärme am günstigsten ab.

Alle Varianten sind – aufgrund der derzeitigen Preissituation – relativ unsicher. Da die wirtschaftliche Situation von BHKW sowohl von den Gaspreisen als auch von der Vergütung abhängt, ist hier die Unsicherheit am größten.

Um eine Bandbreite möglicher Szenarien aufzuzeigen, wurden verschiedene Preisentwicklungsszenarien betrachtet (s. Kap. 3.7.1). Die genannten Wirtschaftlichkeits-szenarien gelten unter der Voraussetzung, dass sich die Märkte für die unterschiedlichen Energieträger parallel verhalten. Günstige Energiepreise begünstigen die Variante Nahwärme mit einem hohen Kostenanteil Energie. Die Reihenfolge der Jahreskosten ändert sich nicht unter Annahme teurer oder günstiger Preisszenarien (Abb. 16, Abb. 18).

## Umweltaspekte

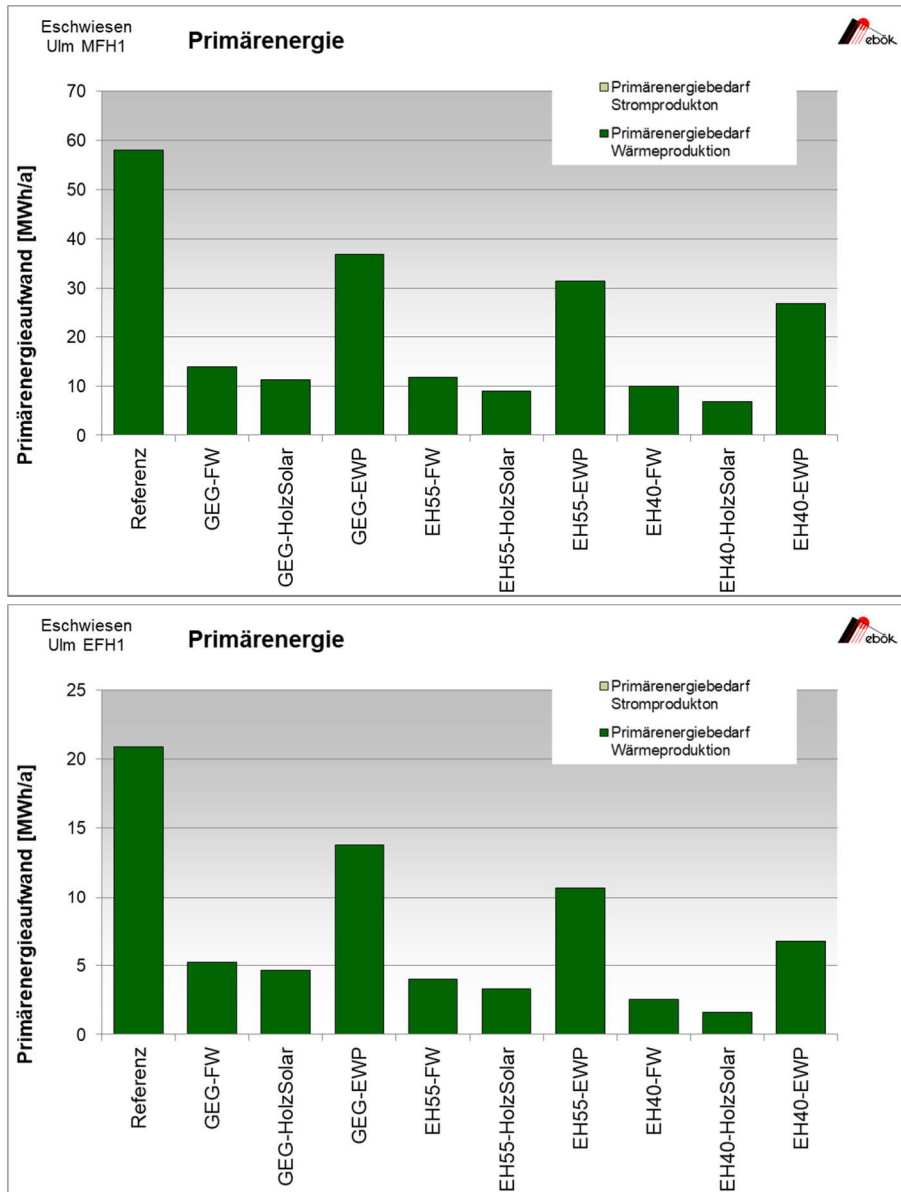


Abb. 19 Umweltaspekte Primärenergiebedarf für Mustergebäude MFH1 (oben), EFH (unten). Da kein Strom produziert wird, besteht auch kein Primärenergiebedarf.

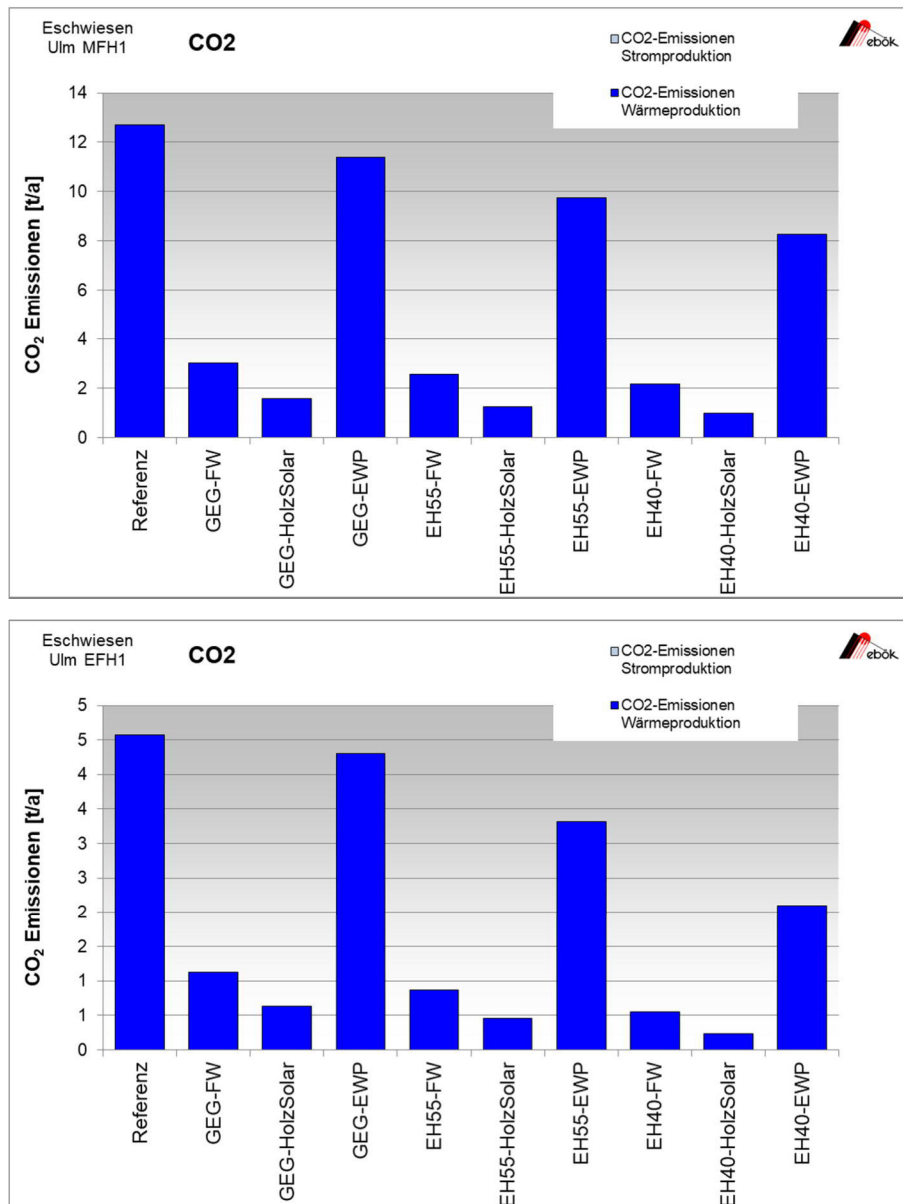


Abb. 20 Umweltaspekte CO<sub>2</sub>-Emissionen (Äquivalente) für Mustergebäude MFH1 (oben) und EFH1 (unten). Es wird kein Strom produziert. Daher sind keine CO<sub>2</sub>-Emissionen hierfür ausgewiesen.

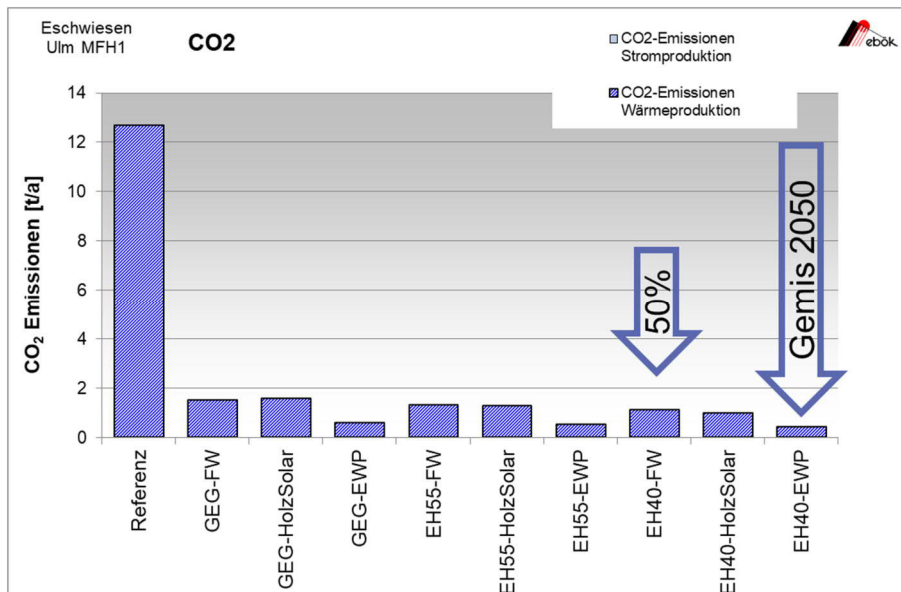


Abb. 21 Ausblick 2050. Umweltaspekte CO<sub>2</sub>-Emissionen (Äquivalente) für Mustergebäude MFH1 unter der Annahme einer 50%igen Reduzierung der Emissionen der Fernwärme und der Entwicklung der Emissionen Strom-Mix 2050 nach GEMIS.

## Ergebnisse

In Bezug auf die Umweltwirkung führt insbesondere die Verwendung von Holz als Brennstoff zu niedrigem Primärenergiebedarf und niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>3</sup>. Gegenüber der Referenzvariante lassen sich durch den Einsatz von Holz als Brennstoff sowie optimierten Wärmeschutz rd. 11,7 t CO<sub>2</sub> p.a. (Geb. MFH1) einsparen (entspricht rd. 92%). Bezüglich der direkten Emissionen Staub und Stickoxyde sind die Holzheizungen jedoch gegenüber den Gas- oder stromgeführten Heizungen im Nachteil.

Auch die Fernwärme-Varianten zeigen günstige Umweltwirkung.

Die Wärmepumpenlösungen liegen bei derzeitigem Strommix deutlich höher.

Dieser Bewertung ändert sich, wenn ein Ausblick auf die zukünftigen Strommärkte mit überwiegend regenerativer Stromerzeugung gewagt wird (Abb. 21). Bei verschwindender CO<sub>2</sub>-Emission der Energieträger wird auch der Äquivalentausstoß der Gebäude sehr niedrig.

<sup>3</sup> Nicht regenerative CO<sub>2</sub> Äquivalent-Emissionen (s.a. Kap 3.7.3)



## 8.2 Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten

Sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus Sicht der Umwelt ist die Versorgung mit Fernwärme bei den untersuchten Mustergebäuden und damit im gesamten Plangebiet möglich und sinnvoll.

Die zukünftige Entwicklung der Strommärkte wird voraussichtlich einen hohen Anteil regenerativer Energien beinhalten. Damit sinkt auch der CO<sub>2</sub>-Anteil an der Gebäudeheizung.

Daraus könnte geschlossen werden, dass der Einsatz von Wärmepumpen zukunftssicher ist. Es ist jedoch sinnvoll an Fernwärme anzuschließen, wo dies möglich ist. Zukünftig ist aufgrund vielfältiger Nachfrage von Strom nicht nur, aber auch, im Wärmemarkt zu erwarten. Dem stehen die beschränkten Möglichkeiten der (regenerativen) Stromerzeugung gegenüber. Daher sollen alle alternativen Wärmequellen genutzt werden und stromgestützte Wärmeerzeugung vorrangig dort verwendet werden, wo keine Alternativen bestehen.



## 9 Anhang – Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	KWK	Kraft-Wärmekopplung
AWWP	Abwasser-Wärmepumpe	l	Liter
BA	Bauabschnitt	m	Meter
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
BGF	Bruttogrundfläche	m <sup>3</sup>	Kubikmeter
BHKW	Blockheizkraftwerk	MFH	Mehrfamilienhaus
BW	Brennwert	MW	Megawatt
C	Celsius	MWh	Megawattstunde
CO	Kohlenmonoxid	NGF	Nettogrundfläche
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid (Äquivalente)	NO <sub>x</sub>	Stickoxide
COP	Coefficient Of Performance	NRF	Nettoraumfläche
DH	Doppelhaus	NW	Nahwärme
DIN	Deutsches Institut für Normung	PE	Primärenergie
DN	Nenndurchmesser	PH	Passivhaus
EBF	Energiebezugsfläche	PV	Photovoltaik
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz	s	Sekunde
EffH	Effizienzhaus	SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
EFH	Einfamilienhaus	srm	Schütt-Raummeter
EnEV	Energieeinsparverordnung	SW FFB	Stadtwerke Fürstenfeldbruck
EUR	Euro	t	Tonne
EWP	Erdreich-Wärmepumpe	TA	Technische Anleitung
FW	Fernwärme	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
g	Gramm	VLh	Volllast-Stunden
GasBW	Gasbrennwert	W	Watt
GWB	Geschosswohnbau	WP	Wärmepumpe
GWWP	Grundwasser-Wärmepumpe	WRG	Wärmerückgewinnung
ha	Hektar		
HH	Haushalt		
JAZ	Jahresarbeitszahl		
K	Kelvin		
KEA	Kumulierter Energieaufwand		
KEV	Kumulierter Energieverbrauch		
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau		
kg	Kilogramm		
kW	Kilowatt		
KWA	Klein-Windanlage		
kWh	Kilowattstunde		

## 10 Literatur

- [BHKW-Plan] BHKW-Plan. Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung von Blockheizkraftwerken. Version 1.14.004 Handbuch. Hrsg.: Dipl.-Ing. (FH) Friedhelm Steinborn, April 2011
- [Climate Change 29] CLIMATE CHANGE 29/2014. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. Umweltbundesamt Dessau (Hrsg.) Roßlau 2014.
- [Climate Change 71] CLIMATE CHANGE 71/2021. Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2020. Umweltbundesamt Dessau (Hrsg.) Roßlau Jan. 2022.
- [DIN 277-1:2021] Grundflächen und Rauminhalte von Hochbauten. Teil 1- Hochbau. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, 2021-8.
- [DIN V 18599 1-10] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Teil 1 bis 10. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, 2018-9.
- [DIN V 4108-6:2003] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, Juni 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: 2021] Tageslicht in Innenräumen. Teil 1 – Allgemeine Anforderungen. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, 2021-8.
- [DVGW W 551] Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen. Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. DVGW Arbeitsbatt W 551, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. , Bonn 2004.
- [EnEV 2014] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 1.Mai 2014).



- Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil 1 Nr. 67, Bonn  
21. November 2013.
- [EEG2021] Gesetz zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG 2021). Bundesgesetzblatt 2020 Teil I Nr. 65, Bonn am 28. Dezember 2020.
- [GEG 2020] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37, Bonn 13. August 2020
- [Gemis 4.93] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.93. Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt. [www.gemis.de](http://www.gemis.de). Stand Juli 2014
- [Gemis 5.0] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.95 mit Datenstand vom Feb. 2021. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS), Darmstadt. <https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/>.
- [ifeu Biogas2008] Regine Vogt. Basisdaten zu THG-Bilanzen für Biogas-Prozessketten und Erstellung neuer THG-Bilanzen. Kurzdokumentation im Auftrag der E.ON Ruhrgas AG, Altenessen. Ifeu, Heidelberg 2008-4.
- [IWU KEV] Großkloß, Marc. Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und –versorgungen. Institut Wohnen und Umwelt 12-2014
- [IWU Zukunft] Großklos, Marc, Milena Frank. Monatlicher Verlauf des kumulierten Energieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen im deutschen Strommix. Zukunftsfragen In Energiewirtschaftliche Tagesfragen. 63. Jg. (2013) Heft 9
- [LEG 95] Heizenergie im Hochbau: Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 5. überarbeitete Auflage. Wiesbaden: 1995.
- [LF KomKlimaschutz] Difu - Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Hrsg.) Praxisleitfaden Klimaschutz in Kommunen. Berlin, 2011.
- [Nahwärme BaWü] Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.). Nahwärmekonzepte. Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energien. Stuttgart 2007.

- [PHPP2004] Feist, Wolfgang; E. Baffia, J. Schnieders, R. Pfluger. Fachinformation PHI-2004/1. Passivhaus Projektierungs Paket 2004. Anforderung an qualitätsgeprüfte Passivhäuser. Darmstadt 2004. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
- [PHPP2015] Feist, Wolfgang; et.Al. Passivhaus Projektierungs Paket – Das Energiebilanzierungs- und Planungstool für effiziente Gebäude und Modernisierungen. Version 9. Darmstadt April 2015. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
- [PHVP] Passivhaus Vorprojektierung. Vereinfachte Berechnung der Passivhaus-Projektierung. Darmstadt 2002. www.passiv.de
- [Solarfibel BaWü] Solarfibel. Städtebauliche Maßnahmen, Energetische Wirkungszusammenhänge und Anforderungen. Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Nov. 2007
- [Vallentin 2011] Vallentin, Dr. Rainer, Energieeffizienter Städtebau mit Passivhäusern (Dissertation). Cuvillier Verlag, Göttingen 2011.
- [VDI 2067-1] Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. Hrsg. VDI. Blatt 1. Düsseldorf: Sept. 2012-9.
- [VDI 4640-1] Thermische Nutzung des Untergrundes, Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Hrsg. Verein deutscher Ingenieure Berlin: Beuth, 2021-12.
- [VDI 4640-2] Thermische Nutzung des Untergrundes. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Hrsg. Verein deutscher Ingenieure Berlin: Beuth, 2019-06.
- [VDI 4640-3] Thermische Nutzung des Untergrundes. Unterirdische Thermische Energiespeicher. Hrsg. Verein deutscher Ingenieure Berlin: Beuth, 2001-06
- [VDI 4640-4] Thermische Nutzung des Untergrundes. Direkte Nutzung. Hrsg. Verein deutscher Ingenieure Berlin: Beuth, 2004-09.
- [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. 2003