

# Energieversorgungskonzept

für das Baugebiet „Am Silberbach“ in der Gemeinde Glashütten

Abschlussbericht August 2020

## Auftraggeber

Gemeinde Glashütten  
Schloßborner Weg 2  
61479 Glashütten

Gemeinde **Glashütten**  
Glashütten | Schloßborn | Oberems



Hessische Landgesellschaft mbH  
Wilhelmshöher Allee 157-159  
34121 Kassel

# HLG

Hessische Landgesellschaft mbH

Gefördert durch das Land Hessen

**HESSEN**



## Auftragnehmer

energielenker Beratungs GmbH  
AirportCenter II  
Hüttruper Heide 90  
48268 Greven  
Tel. +49 (2571) 58866-10  
Fax +49 (2571) 58866-20  
[www.energielenker.de](http://www.energielenker.de)

 **energielenker**  
Die Berater

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Ausgangssituation und Projektansatz .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Ermittlung des Energiebedarfs .....</b>	<b>13</b>
2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs .....	13
2.1.1 Energetische Anforderungen an Gebäude .....	15
2.1.2 Thermische Gebäudesimulation .....	17
2.2 Ermittlung des Strombedarfs .....	22
<b>3 Potenzialermittlung zur Nutzung erneuerbarer Energien im Plangebiet .....</b>	<b>24</b>
<b>4 Wärmeversorgungskonzepte .....</b>	<b>28</b>
4.1 Dezentrale Wärmeversorgungskonzepte .....	30
4.1.1 Variante 1: Objektlösung mit Gasbrennwerttherme und Solarthermie .....	30
4.1.2 Variante 2: Objektlösung mit dezentralen Luftwärmepumpen .....	31
4.1.3 Variante 3: Objektlösung dezentrale Sole-/Wasser Wärmepumpe mit Erdsonde .....	33
4.1.4 Variante 4: Objektlösung dezentrale Sole-/Wasserwärmepumpe mit Eisspeicher .....	34
4.2 Zentrale Wärmeversorgungskonzepte .....	36
4.2.1 Variante 5: Nahwärmeversorgung mit Biomasse [Hackschnitzel] .....	38
4.2.2 Variante 6: Nahwärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung [Biomethan] .....	41
4.2.3 Variante 7a: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Erdsondenfeld als Wärmequelle .....	42
4.2.4 Variante 7b: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Erdsondenfeld als Wärmequelle ohne Mehrzweckhalle und Kreissporthalle .....	48
4.2.5 Variante 8: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Eisspeicher als Wärmequelle .....	50
4.3 Vergleich der Versorgungsvarianten .....	53
4.4 Zielsetzung Energie-Plus-Siedlung .....	56
<b>5 Speichertechnologien .....</b>	<b>64</b>
5.1 Wärmespeicher .....	65
5.2 Stromspeicher.....	67
5.3 Bewertung.....	69
<b>6 Smart Grid.....</b>	<b>75</b>

<b>7</b>	<b>Zukunftsorientierte Mobilität .....</b>	<b>77</b>
7.1	Variantenbetrachtung zur Reduktion des Endenergiebedarfes und der THG-Emissionen	79
7.2	Maßnahmen zur Verringerung von Lärmemissionen und Luftschadstoffen sowie des MIV-Aufkommens.....	85
7.3	Nutzung von lokal produziertem PV-Strom für E-Fahrzeuge und Möglichkeiten einer Sektorenkopplung.....	88
<b>8</b>	<b>Umsetzungskonzept und Handlungsempfehlung .....</b>	<b>92</b>
8.1	Betreibermodelle .....	97
8.2	Berücksichtigung des Plus-Energie-Standards im Rahmen von Grundstücksverkäufen und der Bauleitplanung.....	99
8.3	Kommunikationskonzept .....	104
8.4	Nutzerverhalten und Nutzersensibilisierung .....	107
8.5	Möglichkeiten zum Nachweis und Steuerung der Plus-Energie-Siedlung .....	110
8.6	Hinweise zur Bauplanung und Bauausführung .....	113
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>118</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bebauungsplan „Am Silberbach“ 1. Bauausschnitt; Stand 29.01.2020 (Quelle: Gemeinde Glashütten; Planungsbüro Fischer) .....	9
Abbildung 2:	Bebauungsplan "Am Silberbach", 1. und 2. Bauabschnitt; Stand 23.07.2018 (Quelle: Gemeinde Glashütten; Planungsbüro Fischer) .....	10
Abbildung 3:	Szenarien zur Entwicklung der Haushaltsstruktur im Plangebiet „Am Silberbach“ (energielenker GmbH 2020) .....	12
Abbildung 4:	Übersicht der Anforderungswerte des Referenzgebäudes für ein Wohngebäude.....	15
Abbildung 5:	Kostenvergleich EnEV 2016, KfW 55 und KfW 40 .....	17
Abbildung 6:	Durchschnittliche Außentemperatur Glashütten Taunus .....	18
Abbildung 7:	Durchschnittliche Strahlungsintensität, Glashütten Taunus.....	19
Abbildung 8:	Wärmegewinne und Wärmeverluste .....	20
Abbildung 9:	Behaglichkeit Raumklima.....	21
Abbildung 10:	Interne Wärmegewinne und Wärmeverluste im Wohnraum .....	22
Abbildung 11:	Energiebedarf des Baugebietes „Am Silberbach“ (energielenker GmbH 2020).....	23
Abbildung 12:	Auszug aus dem Solarpotenzialkataster des Landes Hessen für Schlossborn (Quelle: Energieland Hessen).....	24
Abbildung 13:	Stromproduktion EFH Ausrichtung Süd (links) und Stromproduktion EFH Ausrichtung Ost-West (rechts) .....	25
Abbildung 14:	Aufbauprinzip eines Solargründaches (energielenker 2019) .....	26
Abbildung 15:	Untersuchung möglicher Abwärmequellen im näheren Umfeld des Plangebietes .....	27
Abbildung 16:	Schematische Darstellung einer Wärmeversorgung mittels Eisspeicher- System (energielenker GmbH 2020 nach Viessmann) .....	35
Abbildung 17:	Technische Auslegung Wärmenetz (energielenker GmbH 2020) .....	37
Abbildung 18:	Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld (energielenker GmbH 2020) .....	43
Abbildung 19:	Potenzialflächen Erdsondenfeld zur Nutzung von Geothermie (energielenker GmbH 2020) .....	44
Abbildung 20:	Mögliche Standorte für Erdsondenfelder angrenzend an das Plangebiet „Am Silberbach“ (Quelle: HLG) .....	45
Abbildung 21:	Kartenausschnitt hydrogeologische Beurteilung zur Nutzung von Geothermie .....	46
Abbildung 22:	Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 1: Erdgas- Brennwertheizung (energielenker GmbH 2020) .....	56

Abbildung 23:	Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 5: Nahwärmenetz mit Biomassekessel (energielenker GmbH 2020).....	57
Abbildung 24:	Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 6: Nahwärmenetz mit KWK und Spitzenkessel (energielenker GmbH 2020).....	58
Abbildung 25:	Bilanzierung von Variante 2: Haushaltsstrom und Strom für Luft-Wasser-Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020).....	59
Abbildung 26:	Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Sole-/Wasser-Wärmepumpen in Variante 7a (energielenker GmbH 2020) .....	60
Abbildung 27:	Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Sole-Wasser Wärmepumpen in Variante 7b (energielenker GmbH 2020).....	61
Abbildung 28:	Überblick Speichertechnologien (energielenker GmbH 2020) .....	65
Abbildung 29:	Darstellung Plangebiet im Solar-Kataster .....	72
Abbildung 30:	Grafische Zusammenfassung Smart Grid (Quelle: Smart City – Made in Germany, Etezadzadeh, Chirine) .....	75
Abbildung 31:	Strategien einer nachhaltigen Mobilität (energielenker GmbH 2020). .....	77
Abbildung 32:	Relevante Akteure im Bereich nachhaltige Mobilitätsentwicklung im Quartier (energielenker GmbH 2020). .....	78
Abbildung 33:	Endenergieverbrauch (links) und THG-Emissionen (rechts) des Verkehrs. (energielenker GmbH 2020).....	80
Abbildung 34:	Szenarien im Vergleich (energielenker GmbH 2020).....	84
Abbildung 35:	Maßnahmen nachhaltiger Mobilität im Quartier (energielenker GmbH 2020 auf Kartengrundlage des Bebauungsplans der Gemeinde Glashütten). ....	87
Abbildung 36:	Integration von Elektroautos in das Stromnetz (WWF/LichtBlick SE 2017). .....	89
Abbildung 37:	Bilanzielle CO <sub>2</sub> -Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020) .....	95
Abbildung 38:	Absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020).....	96
Abbildung 39:	Mögliche Struktur des Betreibermodells (energielenker GmbH 2020) .....	98

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1:	Annahmen Szenarien Haushaltsstruktur (energielenker GmbH 2020).....	11
Tabelle 1.2:	Szenarien zur Verteilung der Haushaltsstruktur in Prozent und Anzahl der Bewohner im Plangebiet (energielenker GmbH 2020).....	11
Tabelle 2.1:	Anzahl der Wohngebäudetypen im Plangebiet und energetische Nutzflächen (energielenker GmbH 2020) .....	13
Tabelle 2.2:	Wärmebedarf pro Gebäudetyp (energielenker GmbH 2020) .....	14
Tabelle 2.3:	Jahreswärmebedarf nach Effizienzstandards (energielenker GmbH 2020) .....	14
Tabelle 2.4:	Strombedarf (energielenker GmbH 2020) .....	22
Tabelle 2.5:	Gesamtenergiebedarf (energielenker GmbH 2020).....	23
Tabelle 3.1:	Potenzialermittlung Photovoltaik (Solarkataster Hessen) .....	25
Tabelle 4.1:	Durchschnittliche Gebäudetypen (Berechnungsgrundlage).....	29
Tabelle 4.2:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 1 .....	30
Tabelle 4.3:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 2 .....	31
Tabelle 4.4:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 3 .....	33
Tabelle 4.5:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 4 .....	36
Tabelle 4.6:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 5 .....	39
Tabelle 4.7:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6 .....	41
Tabelle 4.8:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 7 .....	47
Tabelle 4.9:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 7b .....	49
Tabelle 4.10:	Praxisbeispiele für Quartierseisspeicher .....	50
Tabelle 4.11:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 8 .....	52
Tabelle 4.12:	Vergleich der Varianten 1 bis 8 (alle genannten Kosten zzgl. MwSt.) .....	55
Tabelle 4.13:	Plus-Energie-Bilanz der Versorgungsvarianten .....	63
Tabelle 5.1:	Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; mögliche Stromgewinne (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020).....	71
Tabelle 5.2:	Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; Stromgewinne MFH (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020) .....	73
Tabelle 7.1:	Basisszenario - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	80
Tabelle 7.2:	Szenario „vermeiden und verlagern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	82

Tabelle 7.3:	Szenario „verbessern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	83
Tabelle 7.4:	Szenarien im Vergleich – THG-Emissionen nach Energieträgern, Angaben in t (energielenker GmbH 2020) .....	84
Tabelle 8.1:	Gesamtbetrachtung und Bewertung der Versorgungsmöglichkeiten für das Baugebiet "Am Silberbach" .....	94
Tabelle 8.2:	Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle (energielenker GmbH 2020) .....	97
Tabelle 8.3:	Übersicht rechtsverbindlicher Festsetzungen im B-Plan in Bezug auf Plus-Energie-Standard (energielenker 2020) .....	100
Tabelle 8.4:	Einflussbereiche durch Nutzerverhalten und energieeinsparende Beispiele (energielenker GmbH 2020).....	107
Tabelle 8.5:	Ablaufplan der Umsetzungskonzepte .....	116



## 1 Ausgangssituation und Projektansatz

Ein Ziel der Bundesregierung Deutschland ist es, den Primärenergieverbrauch bis 2050 gegenüber 2008 um 50 % zu senken. Aktuell können fast 43 % des Stroms aus erneuerbaren Quellen wie Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse gewonnen werden. Neben der Wende in der Stromproduktion, rückt der Energiebedarf im Gebäudebereich mehr und mehr in den Vordergrund. Der Gebäudebereich und damit insbesondere der Energieeinsatz in den eigenen vier Wänden für Heizung und Warmwasser, hat einen Anteil von ca. 35 % am gesamten Endenergieverbrauch der Bundesrepublik. Kernziel ist es, diese Bedarfe zunehmend mit erneuerbaren Energien und effizient zu decken.

Demzufolge hat sich auch die Landesregierung Hessen zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 den Energiebedarf für Strom und Wärme ausschließlich aus erneuerbaren Energien zu decken. Die Gemeinde Glashütten orientiert sich an diesen Ausbauzielen und möchte bereits heute die Entwicklung einer sog. Plus-Energie-Siedlung anstreben. In einer Plus-Energie-Siedlung wird bilanziell mehr Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt, als die Bewohner verbrauchen. Dies verfolgt die Gemeinde Glashütten im Zuge einer Siedlungsentwicklung auf einer Gesamtfläche von etwa 4,5 ha im Ortsteil Schloßborn.

Im Rahmen des vorliegenden Energieversorgungskonzepts wurden für das Plangebiet verschiedene Energieversorgungslösungen ausgearbeitet und konzeptionell entwickelt. Der Schwerpunkt lag in der Erarbeitung von Maßnahmen zum Einsatz erneuerbarer Energien, unter der Zielsetzung eine positive Energiebilanz zu erreichen (Plus-Energie-Standard). Neben dem Aufzeigen von Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz und dem Aufbau einer Wärmeversorgung, enthält das Energieversorgungskonzept eine nachhaltige Verkehrskonzeption sowie erforderliche Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen zur versorgungsorientierten Umsetzung.

Innerhalb des Betrachtungsgebiet „Am Silberbach“ soll ein Wohngebiet mit insgesamt rd. 84 Bauplätzen am südöstlichen Ortsrand der Gemeinde realisiert werden. Abbildung 1 zeigt den ersten von zwei geplanten Bauabschnitten zur Realisierung des Plangebietes (vgl. Abbildung 2).

Das Baugebiet grenzt im Norden an Wohnbebauung entlang der Straßen Akazienweg und Birkenbach. Im Osten grenzt das Gebiet an Freizeit- und Kleingärten mit Baum- und Gehölzbeständen und im Süden an Waldflächen sowie der Ortslage abgesetzte Einzelbebauung in Richtung des Gewässerverlaufs des Silberbaches.

Die topografischen Gegebenheiten sind verstärkt Richtung Süden ausgerichtet (Norden: 387 m ü. NN; Süden: 373 m ü. NN).

Der Bebauungsplan „Am Silberbach“ (Stand 29.01.2020) sieht eine eingeschossige Bebauung mit freistehenden Einfamilien- und Doppelhäusern sowie im Osten zweigeschossige Mehrfamilienhäuser vor. Im allgemeinen Wohngebiet Nr.1 sind Dächer mit gegeneinander laufenden Dachflächen und einer Neigung von maximal 40°, Pultdächer mit einseitig geneigter Dachfläche und einer Neigung von maximal 15° sowie Flachdächer mit einer Neigung von maximal 5° zulässig. Im Wohngebiet Nr.2 sind nur Flachdächer mit einer Neigung von maximal 5° zulässig.

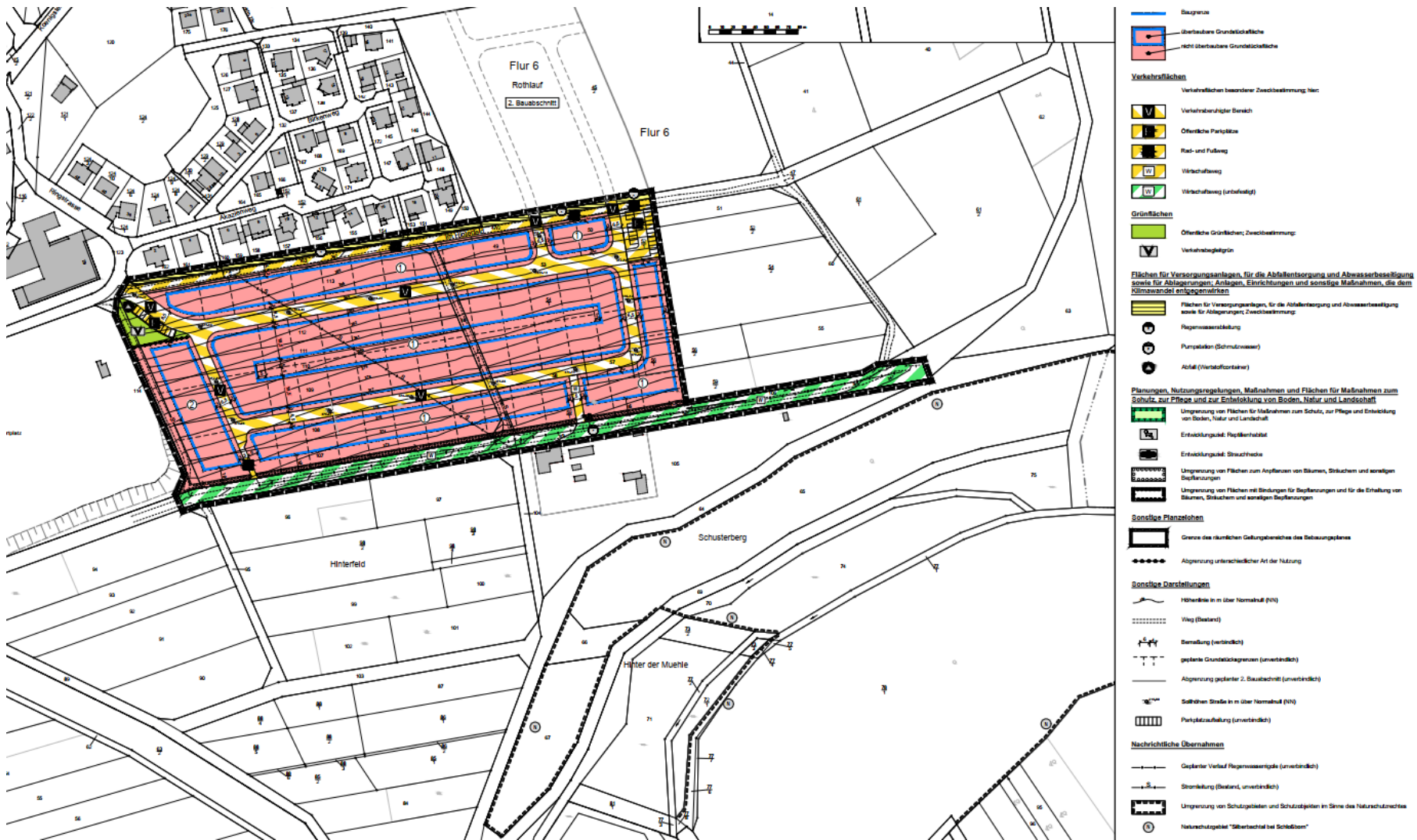


Abbildung 1: Bebauungsplan „Am Silberbach“ 1. Bauausschnitt; Stand 29.01.2020 (Quelle: Gemeinde Glashütten; Planungsbüro Fischer)

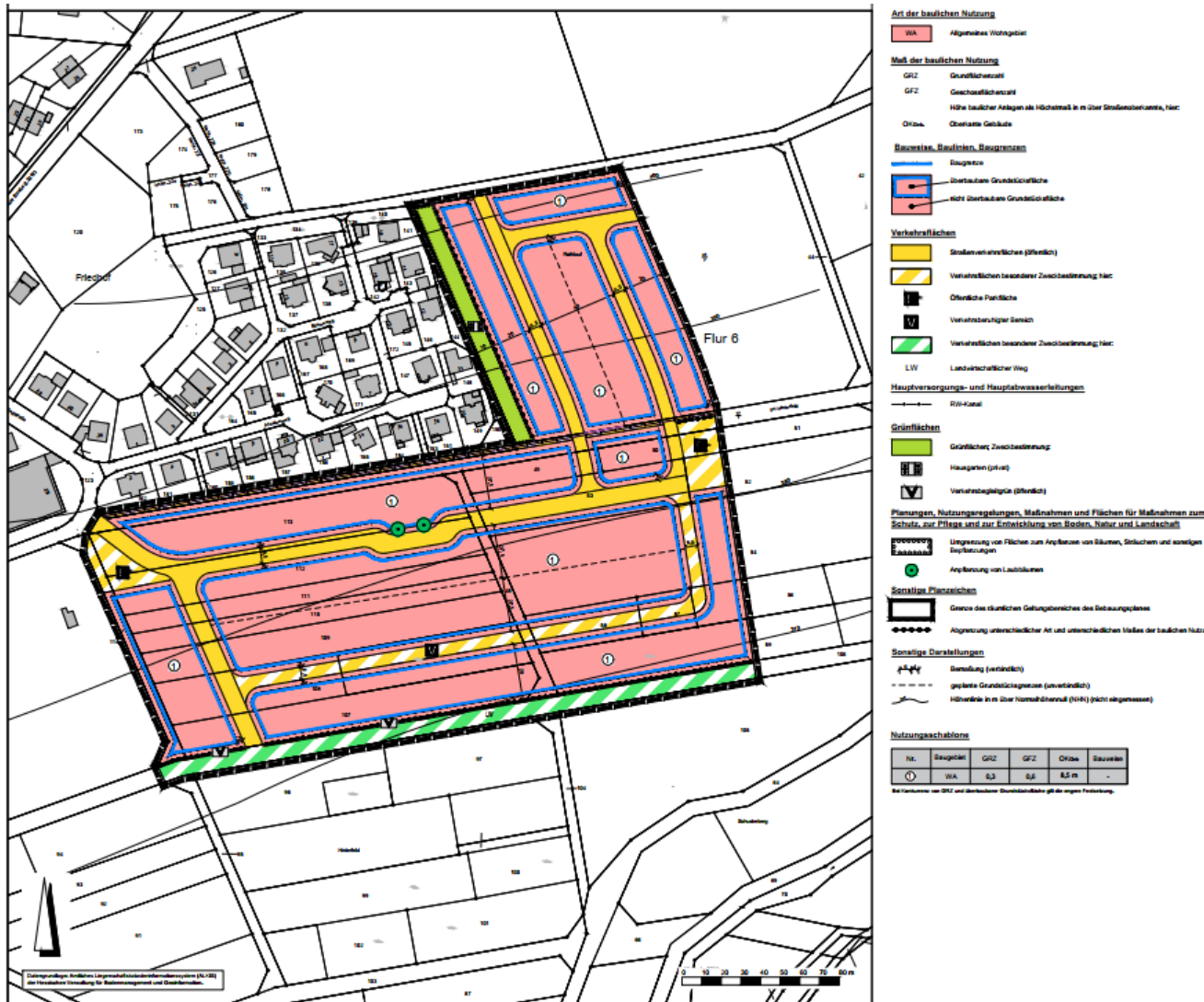


Abbildung 2: Bebauungsplan "Am Silberbach", 1. und 2. Bauabschnitt; Stand 23.07.2018 (Quelle: Gemeinde Glashütten; Planungsbüro Fischer)

Um Rückschlüsse auf die Anzahl der Haushalte der geplanten Gebäude und auf die Haushaltsgröße zu erhalten, wurden im Rahmen des Energieversorgungskonzepts drei Szenarien zur Entwicklung des Wohngebiets „Am Silberbach“ erarbeitet. Dabei wurden drei Szenarien auf der Grundlage des Bebauungsplans sowie Angaben der Gemeinde Glashütten mit folgenden Annahmen entwickelt.

Tabelle 1.1: Annahmen Szenarien Haushaltsstruktur (energielenker GmbH 2020)

Ein- und Zweipersonenhaushalt-Szenario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Anteil an Ein- und Zweipersonenhaushalten</li> <li>Begünstigt durch die Realisierung von kleineren Wohnungen innerhalb der Mehrfamilienhäuser (z. B. Studenten- und Seniorenwohnungen)</li> </ul>
Basisszenario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchmischte Bewohner- und Haushaltsstruktur (Ein- und Mehrpersonenhaushalte)</li> <li>Begünstigt durch das Verhältnis zwischen Ein- und Mehrfamilienhäuser</li> </ul>
Mehrpersonenhaushalt-Szenario	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoher Anteil an großen Haushalten durch z. B. Familien, Wohngruppen</li> <li>Begünstigt durch die Realisierung von großen Wohnraumflächen für Familien oder gemeinschaftliche Wohnprojekte</li> </ul>

Die Tabelle 1.2 und Abbildung 3 geben eine Übersicht der drei Szenarien zur Verteilung der Haushaltsstruktur und Anzahl der Bewohner im Wohngebiet „Am Silberbach“:

Tabelle 1.2: Szenarien zur Verteilung der Haushaltsstruktur in Prozent und Anzahl der Bewohner im Plangebiet (energielenker GmbH 2020)

	Ein- und Zweipersonenhaushalt-Szenario	Basisszenario	Mehrpersonenhaushalt-Szenario
1 Personenhaushalte	15,3%	4,4%	0,0%
2 Personenhaushalte	42,3%	24,1%	9,5%
3 Personenhaushalte	25,5%	38,0%	40,9%
4 Personenhaushalte	10,9%	27,0%	35,8%
5 + Personenhaushalte	5,8%	6,6%	13,9%
Anzahl Bewohner gesamt	342	421	485

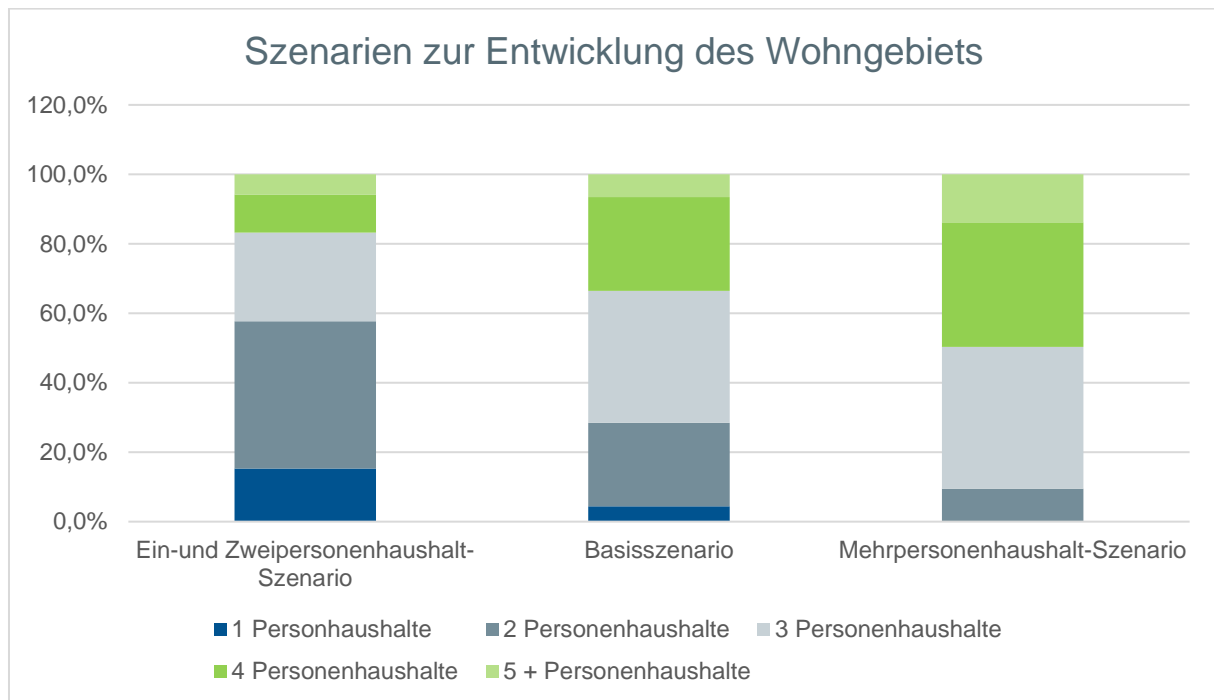


Abbildung 3: Szenarien zur Entwicklung der Haushaltsstruktur im Plangebiet „Am Silberbach“ (energielenker GmbH 2020)

Zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs wurde die Haushaltsverteilung aus dem Basisszenario herangezogen. Demnach leben zukünftig im ersten Bauabschnitt ca. 314 Personen (101 WE) und im zweiten Bauabschnitt ca. 107 Personen (36 WE).

## 2 Ermittlung des Energiebedarfs

Der Gesamtenergiebedarf des Wohngebiets setzt sich aus Wärmebedarf und dem Strombedarf zusammen. Der Wärmebedarf ergibt sich aus dem jeweiligen energetischen Standard des Gebäudes, hinzugezogen wird der Haushaltsstrombedarf. Für die Gebäudestandards nach EnEV, KfW 55 und KfW 40 ergeben sich folgende Gesamtenergiebedarfe.

### 2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs

Die Berechnung des Jahreswärmebedarfes erfolgt über die energetische Nutzfläche und den spezifischen Wärmebedarf des jeweiligen Gebäudes. Der Nutzwärmebedarf für das Trinkwarmwasser wird nach Tabelle 4 der DIN V 18599-10: 2011-12 angesetzt. Die Ermittlung des spezifischen Wärmebedarfs wird aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) abgeleitet und auf der mittels des Softwareprogramms ZUB-Helena-Ultra gemäß der DIN 18599 berechnet.

Die folgende Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die Anzahl der Plangebäude im Bauabschnitt 1 und 2, inkl. der energetischen Nutzfläche, zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs.

Tabelle 2.1: Anzahl der Wohngebäudetypen im Plangebiet und energetische Nutzflächen (energielenker GmbH 2020)

Gebäudetyp	Gebäude Anzahl	energ. Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]
EFH BA1	57	223
MFH BA1	3	1.200
EFH BA2	24	223
Mehrzweckhalle (angrenzend Baugebiet)	1	1.122
Kreissporthalle (angrenzend Baugebiet)	1	928

Die Ermittlung des spezifischen Wärmebedarfs erfolgt anhand Berechnung gem. DIN 18599 für ein beispielhaftes Ein- und Mehrfamilienhaus.

Der Wärmebedarf für die unterschiedlichen Gebäude ergibt sich dabei aus dem spez. Wärmebedarf für Trinkwarmwasser, dem spez. Wärmebedarf für die Heizung und Lüftung, und ist für Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und die Energiestandards KfW 55 und KfW 40 nach der EnEV 2014 mit der Verschärfung aus dem Jahr 2016 in den beiden

nachfolgenden Tabellen aufgeführt (s. Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3). Eine aktive Klimatisierung des Gebäudes ist nicht vorgesehen.

Tabelle 2.2: Wärmebedarf pro Gebäudetyp (energielenker GmbH 2020)

Gebäudeart	Gebäude	energ. Nutzfläche	Jahreswärmebedarf pro Gebäude EnEV-Standard	Jahreswärmebedarf gesamt EnEV-Standard
	Anzahl	[m <sup>2</sup> ]	[kWh/a]	[kWh/a]
1. BA EFH	57	223	11.953	681.335
2. BA EFH	24	223	11.953	286.878
MFH	3	1.200	51.360	154.082
Mehrzweckhalle	1	1.122	269.299	269.299
Kreissporthalle	1	928	111.360	111.360

In Summe ergibt sich für das Baugebiet ein Jahreswärmebedarf von ca. 1.502.950 MWh/a. Analog dazu ergeben sich die Werte für die energetischen Standards „KfW Effizienzhaus 55“ und „KfW-Effizienzhaus 40“ (s. Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Jahreswärmebedarf nach Effizienzstandards (energielenker GmbH 2020)

Gebäudeart	Gebäude	Jahreswärmebedarf gesamt EnEV-Standard	Jahreswärmebedarf gesamt KfW 55	Jahreswärmebedarf gesamt KfW 40
	Anzahl	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
1. BA EFH	57	681.335	553.982	426.630
2. BA EFH	24	286.878	233.256	179.634
MFH	3	154.080	125.280	96.480
Mehrzweckhalle	1	269.299	211.669	153.501
Kreissporthalle	1	111.360	87.529	63.475
<b>Gesamt</b>	<b>86</b>	<b>1.502.951</b>	<b>1.211.716</b>	<b>919.719</b>



### 2.1.1 Energetische Anforderungen an Gebäude

Um den Energiebedarf und somit auch die Treibhausgas-Emissionen von Gebäuden möglichst gering zu halten existiert die Energieeinsparverordnung (EnEV). Diese ist ein Instrument der Energie- und Klimaschutzpolitik der Bundesregierung auf Basis des Energieeinsparungsgesetzes und verringert durch bestimmte Vorgaben so schrittweise den Energieverbrauch. Die EnEV enthält Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden. Sie bezieht sich auf Hüllflächen sowie Anlagentechnik und soll im Kontext der Energiewende für einen sinkenden Energieverbrauch im Gebäudebereich sorgen. Anwendung findet die Verordnung daher bei jedem Neubau- und bei zahlreichen Sanierungsvorhaben.

Aktuell gültig ist die EnEV von 2014 mit den verschärften Neubauanforderungen, die seit dem Jahr 2016 gelten. Die EnEV nimmt eine Unterteilung nach der Nutzung der Gebäude vor: unterschieden wird zwischen Wohn- und Nichtwohngebäude. Die Bewertung der Gebäude nach EnEV findet auf der Grundlage der Vorgaben der DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung oder der DIN V 4108 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden statt. Die Berechnungen erfolgen im vergleichenden Referenzverfahren zu einem modellhaft abgebildeten Gebäude, das die vorgegebenen Werte nach DIN V 18599 bzw. EnEV nutzt.

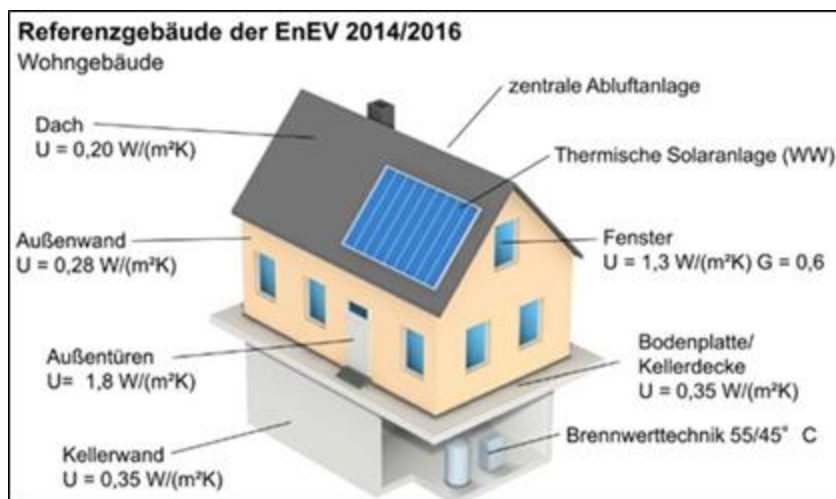


Abbildung 4: Übersicht der Anforderungswerte des Referenzgebäudes für ein Wohngebäude

Voraussichtlich im November 2020 wird die EnEV durch das sogenannte Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) abgelöst werden. Das Gesetz bündelt EnEV, Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in einem Werk und soll somit für Vereinfachungen sorgen, da bislang die vorhandenen Regelwerke nicht aufeinander

abgestimmt sind. Mit der Novellierung des Gesetzes gibt es keine höheren energetischen Anforderungen an Neubauten und an den Gebäudebestand – diese sollen erst im Jahr 2023 erscheinen.<sup>1</sup> Eine weitere Stufe der energetischen Verbesserung von Gebäuden sind die sogenannten KfW-Effizienzhäuser.

Die Werte des KfW-Effizienzhaus-Standards (55, 40, 40plus) definieren den benötigten Anteil an Primärenergie, den das Gebäude benötigt. Als Referenz dient ein Gebäude, das die Mindestanforderungen der EnEV erfüllt und sich in Geometrie und Nutzung des zu betrachtenden Gebäudes gleicht. Im Vergleich zum Referenzgebäude benötigt das Effizienzhaus 55 nur 55 % der Primärenergie. Zudem liegt der Transmissionswärmeverlust bei 70 %. Der bauliche Wärmeschutz ist somit ebenfalls um 30 % besser als vom Referenzgebäude. Das Effizienzhaus 40 benötigt nur 40 % der Primärenergie des Referenzgebäudes. Das Effizienzhaus 40plus ist ein Effizienzhaus 40 mit zusätzlicher technischer Ausstattung:

- Stromerzeugende Anlage die auf erneuerbaren Energien basiert.
- Stromspeicher in Form eines stationären Batteriespeichersystems
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Benutzer-Interface, das Stromerzeugung und Stromverbrauch dokumentiert und visualisiert

Für die Erreichung der energetischen Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 gibt es unterschiedliche Maßnahmen. Jedoch sollte mindestens ein moderner Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung sowie einer PV-Anlage zur regenerativen Stromerzeugung vorhanden sein. Wärmeerzeuger auf Basis des Energieträgers Öl sollten in Neubauten nicht mehr installiert werden (Verbot von Ölheizungen in Neubauten ab 2026). Alternativ kann aber auch ein Wärmeerzeuger auf regenerativer Basis dazu führen die Grenzwerte des Primärenergiebedarfs einzuhalten. Zudem sollte das Gebäude über eine gewisse Luftdichtheit nach den Vorgaben der KfW verfügen (KfW Förderprogramm 153)<sup>2</sup>. Mit solchen Förderprogrammen soll der Reiz gesetzt werden, energieeffizient zu bauen und zu sanieren.

Die zusätzlichen Anforderungen an den Dämmstandard für die Außenhülle (Außenwand, Dach, Fenster) sind aufgrund der bereits hohen gesetzlichen Mindestanforderungen mit relativ

---

<sup>1</sup> Vgl. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gebäudeenergiegesetz-zusammen-gefasst.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gebäudeenergiegesetz-zusammen-gefasst.pdf?__blob=publicationFile&v=8)

<sup>2</sup> Vgl. [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000003465\\_M\\_153\\_EEB\\_TMA\\_2018\\_04.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000003465_M_153_EEB_TMA_2018_04.pdf)

geringem Aufwand zu erreichen. Die folgende Grafik zeigt exemplarisch die Mehrkosten für ein Einfamilienhaus, um den Effizienzhausstandard KFW 55 und KFW 40 zu erreichen.

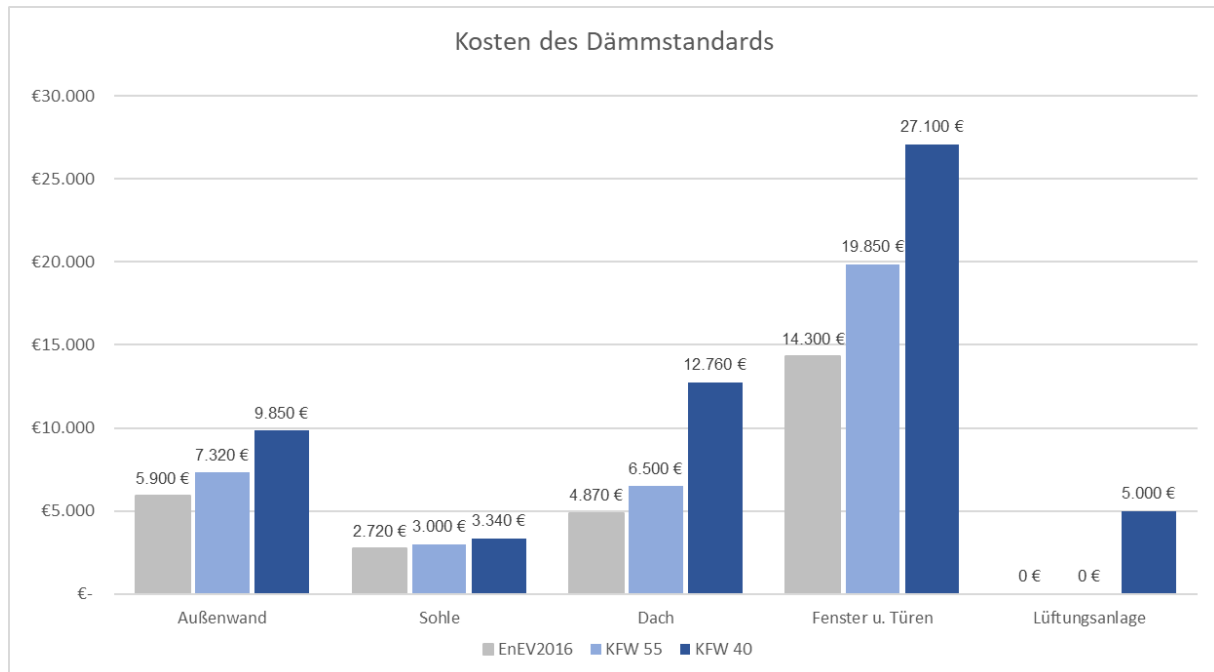





Abbildung 5: Kostenvergleich EnEV 2016, KFW 55 und KFW 40

Die entstehenden Mehrkosten für einen KFW 55 Standard können zum Großteil durch das oben genannte Förderprogramm 153 der KfW aufgefangen werden. Wird für ein Gebäude der KfW-Effizienzhausstandard 55 erreicht, gewährt die KfW einen Tilgungszuschuss von bis zu 18.000 € je Wohneinheit. Die Mehrkosten für ein KfW 40-Effizienzhaus betragen gegenüber den Mindestanforderungen ca. 30.000 €, der maximale Tilgungszuschuss beträgt hier 24.000 €.

## 2.1.2 Thermische Gebäudesimulation

Zur besseren Bewertung der energetischen Gebäudestandards wurde für das Plangebiet „Am Silberbach“ eine thermische Gebäudeanalyse anhand eines dreidimensionalen virtuellen Musterhauses durchgeführt. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit Satteldach, die Firstrichtung verläuft von Osten nach Westen. Das Gebäude entspricht einem KfW 55 Standard. Der Wohnraum im Erdgeschoss und die Photovoltaik-Anlage auf dem Dach sind nach Süden ausgerichtet. Die Fenster (mit Süd- oder Westausrichtung) sind mit einem außenliegenden Sonnenschutz versehen.

		
Musterhaus Ansicht Südwest	Musterhaus Ansicht Nordost	Musterhaus Ansicht Nordwest
Nutzfläche: 153 m <sup>2</sup>   Hüllfläche 378 m <sup>2</sup>   Volumen 477 m <sup>3</sup>   Geschosshöhe 2,80 m		

**Temperaturverlauf:**

Folgende Klimadaten standen für den Standort in Glashütten-Schlossborn zur Verfügung.

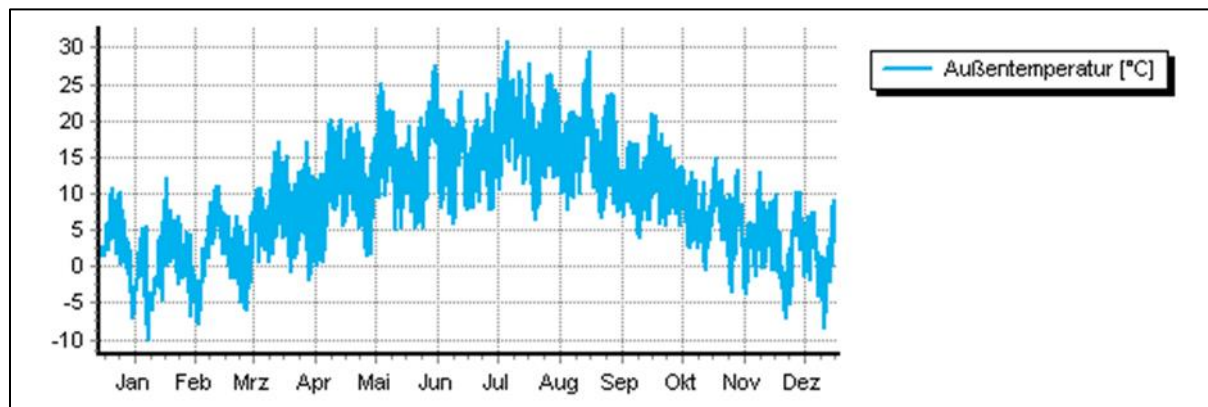


Abbildung 6: Durchschnittliche Außentemperatur Glashütten Taunus

**Strahlungsintensität:**

Das Diagramm zur Strahlungsintensität zeigt den jahreszeitlichen Verlauf der Solarstrahlung auf das Plangebiet. Unter Globalstrahlung<sup>3</sup> versteht man die am Boden auf einer horizontalen Ebene empfangene Sonnenstrahlung. Sie setzt sich zusammen aus der auf direktem Weg

<sup>3</sup> <https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/globalstrahlung.html>

eutreffenden Solarstrahlung, der Direktstrahlung, und der kurzwelligen Diffusstrahlung, welche die Erdoberfläche über Streuung an Wolken, Wasser, oder Staubteilchen erreicht.

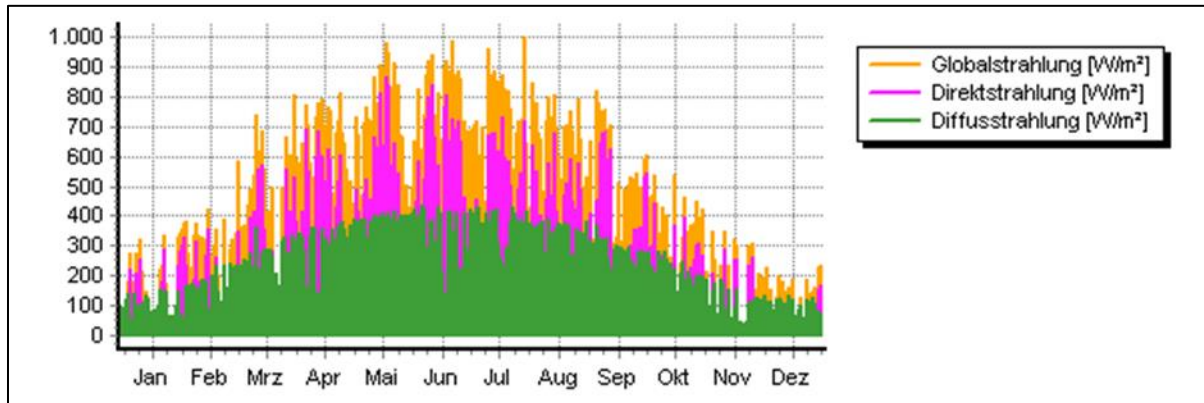


Abbildung 7: Durchschnittliche Strahlungsintensität, Glashütten Taunus

Mit Hilfe der thermischen Simulation lassen sich für die o.g. Randbedingungen die Wärmeverluste und Wärmegewinne für jeden Raum im Gebäude berechnen. Exemplarisch soll das anhand des Wohnraumes im Erdgeschoss erfolgen.

Jahresergebnisse für den Raum 'EG-R1 - Wohnraum'

### Energiebedarf /-abgabe

Heizenergieabgabe	666 kWh
Kühlenergieabgabe	0 kWh
davon latent (zur Entfeuchtung)	0 kWh
Wärmeabgabe Geräte und Beleuchtung	852 kWh
Gesamte Energieabgabe	1518 kWh (52,5 kWh/m <sup>2</sup> )

### Heiz- und Kühllasten

Max. abgegebene Heizleistung	0,56 kW (16. Januar, 15-16 h)
Abgegebene Auslegungs-Heizleistung	0,41 kW (23. Januar, 21-22 h)
Max. abgegebene Kühlleistung	0 kW
davon latent (zur Entfeuchtung)	0 kW
Betriebsstunden	2942 h (Heizung), 0 h (Kühlung)

### Übertemperaturen

Maximale Temperaturüberschreitung	11,7 °
Übertemperaturstunden	3039 h
Übertemperaturgradstunden	10476 °h
Verkehrszeit	8760 h

### Untertemperaturen

Maximale Temperaturunterschreitung	0,3 °
Untertemperaturstunden	21 h
Untertemperaturgradstunden	428 °h

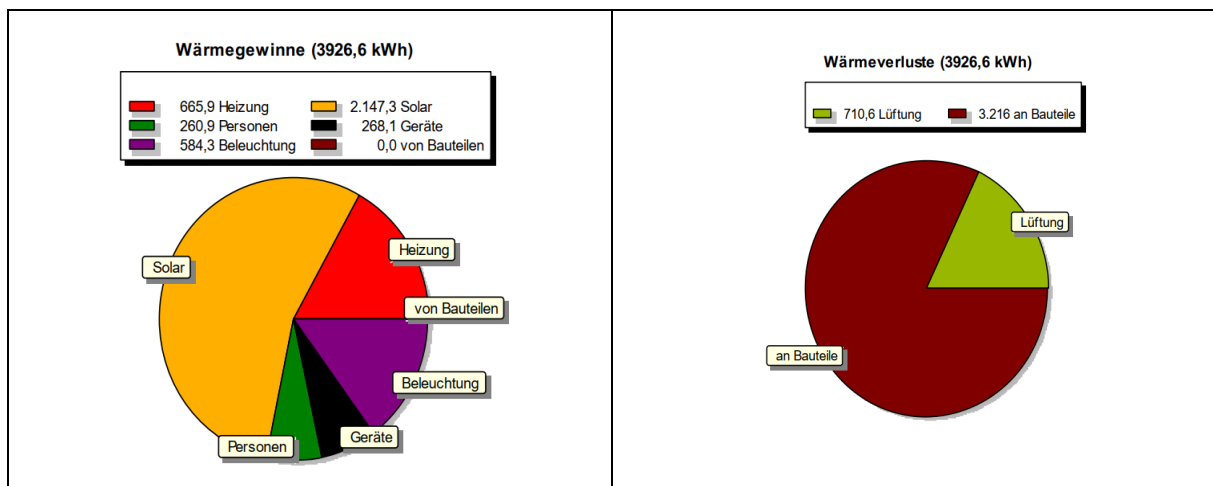


Abbildung 8: Wärmegewinne und Wärmeverluste

### Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit meint thermische Neutralität, das ist das Fehlen negativer Empfindungen (z.B. angenehmes Raumklima). Das folgende Diagramm zeigt einen behaglichen Bereich in dem die Größen „Raumtemperatur“ und „Luftfeuchte“ in einem angenehmen / behaglichen Bereich liegen (orange und gelbe Flächen). Die blaue Punktwolke in der folgenden Abbildung visualisiert die Jahresstunden. Die Abbildung zeigt, an wie vielen Stunden sich ein „behagliches“ Raumklima in einem Wohnraum (Erdgeschoss) einstellt.

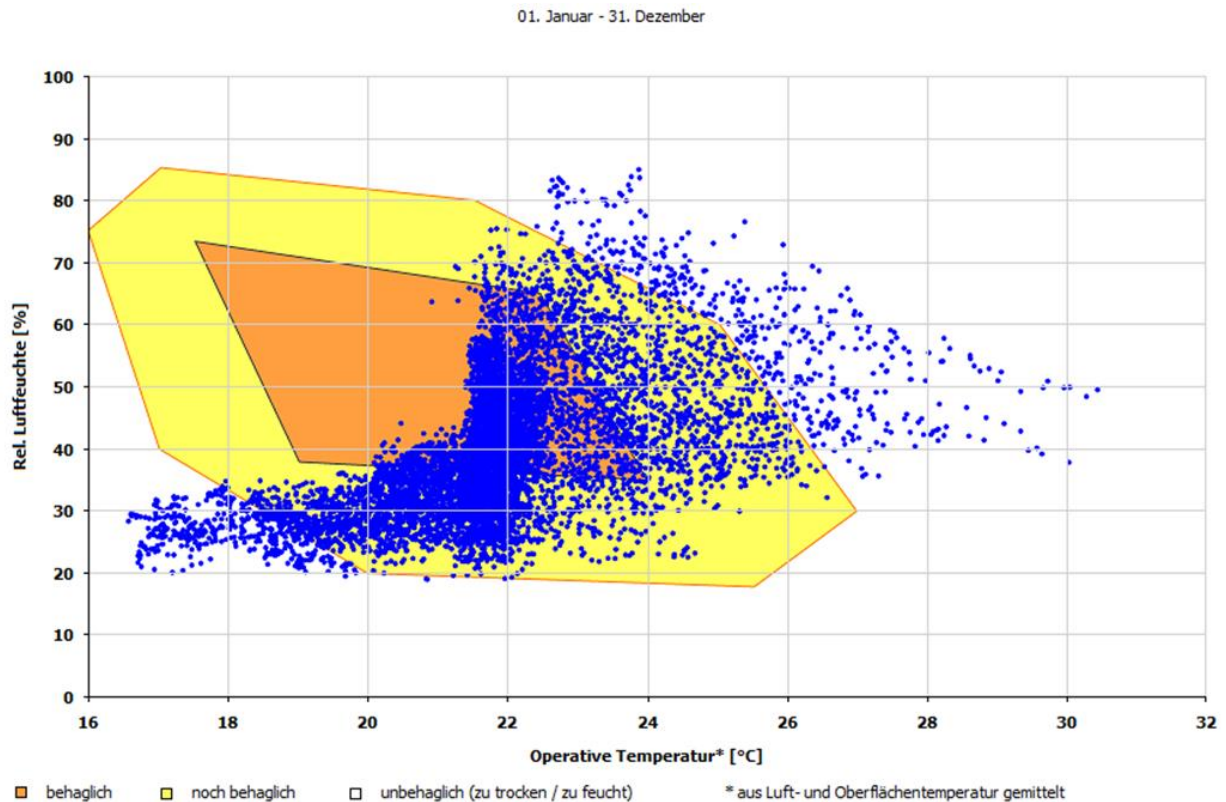


Abbildung 9: Behaglichkeit Raumklima

Gebäudeelement	Stunden behaglich	Stunden noch behaglich	Stunden unbehaglich
EG-R1 - Wohnraum	3721	4181	835

Die Raumtemperatur in einem Wohnraum hängt nicht allein von der Außentemperatur ab. Auch durch die Nutzung des Raumes entstehen interne Wärmequellen (z.B. die Wärmeabstrahlung von Personen, Beleuchtung oder anderen technischen Geräten). Die folgende Grafik zeigt die interne Wärmegevinne und Wärmeverluste des Wohnraumes über 24 Stunden.

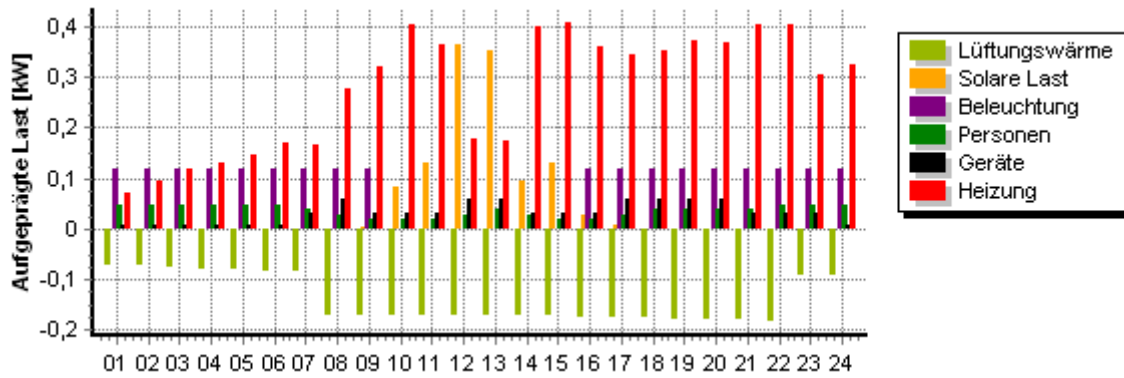


Abbildung 10: Interne Wärmegewinne und Wärmeverluste im Wohnraum

## 2.2 Ermittlung des Strombedarfs

Der zukünftige Strombedarf wurde anhand der geplanten Gebäude, Wohneinheiten und Haushaltsgrößen auf der Grundlage des Bebauungsplans und Angaben der Gemeinde Glashütten berechnet (s. Kapitel 1).

Tabelle 2.4: Strombedarf (energielenker GmbH 2020)

Personen pro Haushalt		spez. Verbrauch	Anzahl der Haushalte ca.:	Haushaltsstromverbrauch
4 +	Personen	4.000 kWh/a	46	184.000 kWh
3	Personen	3.400 kWh/a	52	176.000 kWh
2	Personen	2.700 kWh/a	33	89.100 kWh
1	Personen	1.600 kWh/a	6	9.600 kWh
			<b>Summe:</b>	<b>459.500 kWh</b>

Der zukünftige Gesamtenergiebedarf setzt sich aus dem Wärme- und Strombedarf zusammen. Der Wärmebedarf ergibt sich aus dem jeweiligen energetischen Standard des Gebäudes, hinzugezogen wird der Haushaltsstrombedarf. Für die Gebäudestandards nach EnEV, KfW 55 und KfW 40 ergeben sich folgende Gesamtenergiebedarfe.



Tabelle 2.5: Gesamtenergiebedarf (energielenker GmbH 2020)

Gebäudestandard	Wärmebedarf	Strombedarf	Gesamtenergiebedarf
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
EnEV	1.122.293	459.500	1.581.800
KfW 55	912.550	459.500	1.372.000
KfW 40	702.824	459.500	1.162.300

Der jährliche Gesamtenergiebedarf im Plangebiet wird je nach realisiertem, energetischem Standard der Gebäude zwischen 1.162.000 kWh (KfW 40) und 1.582.000 kWh (EnEV / gesetzliche Mindestanforderung) liegen. Folgendes Diagramm zeigt die Endenergiebedarfe für das zukünftige Wohngebiet „Am Silberbach“:

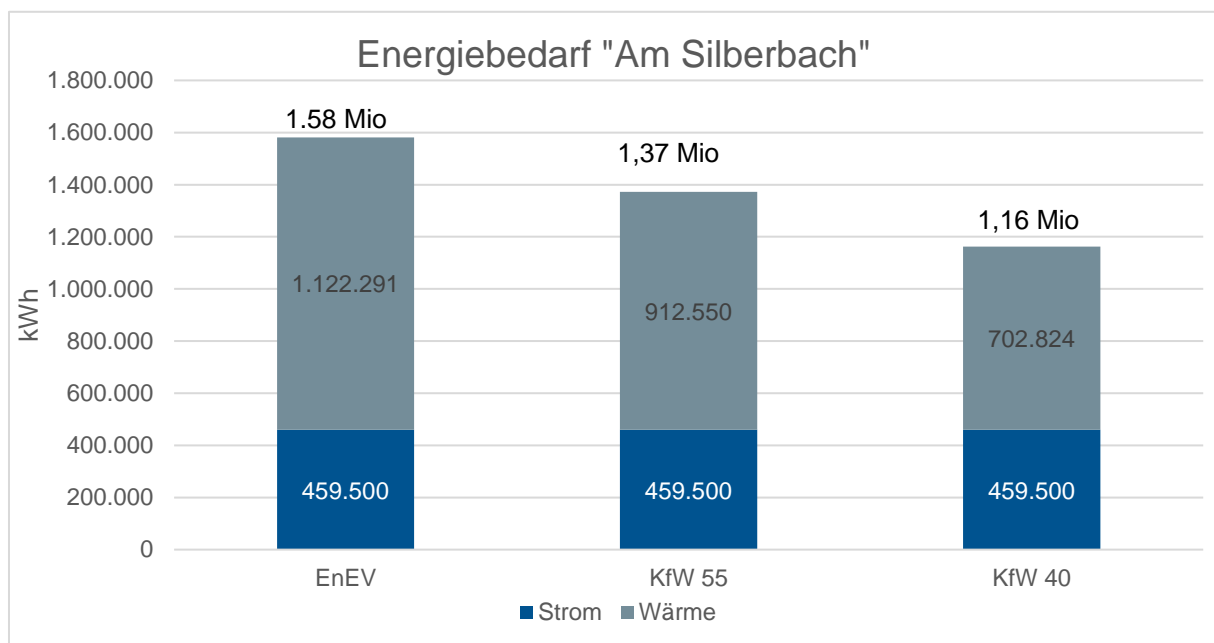


Abbildung 11: Energiebedarf des Baugebietes „Am Silberbach“ (energielenker GmbH 2020)

### 3 Potenzialermittlung zur Nutzung erneuerbarer Energien im Plangebiet

#### Stromversorgung aus erneuerbaren Energien

Für die Ermittlung der zukünftigen Sonnenenergieerträge im Baugebiet „Am Silberbach“ wurden als Referenzobjekte Einfamilienhäuser (EFH) aus dem angrenzenden Wohngebiet (Birkenweg und Akazienweg) einmal mit Firstrichtung ost-west und einmal nord-süd herangezogen. Mittels des Solarpotentialkatasters des Landes Hessen wurden die Potenziale für die Stromerzeugung auf den Dachflächen mit Südausrichtung (Firstrichtung ost-west) und mit Ost-Westausrichtung (Firstrichtung nord-süd) ermittelt.

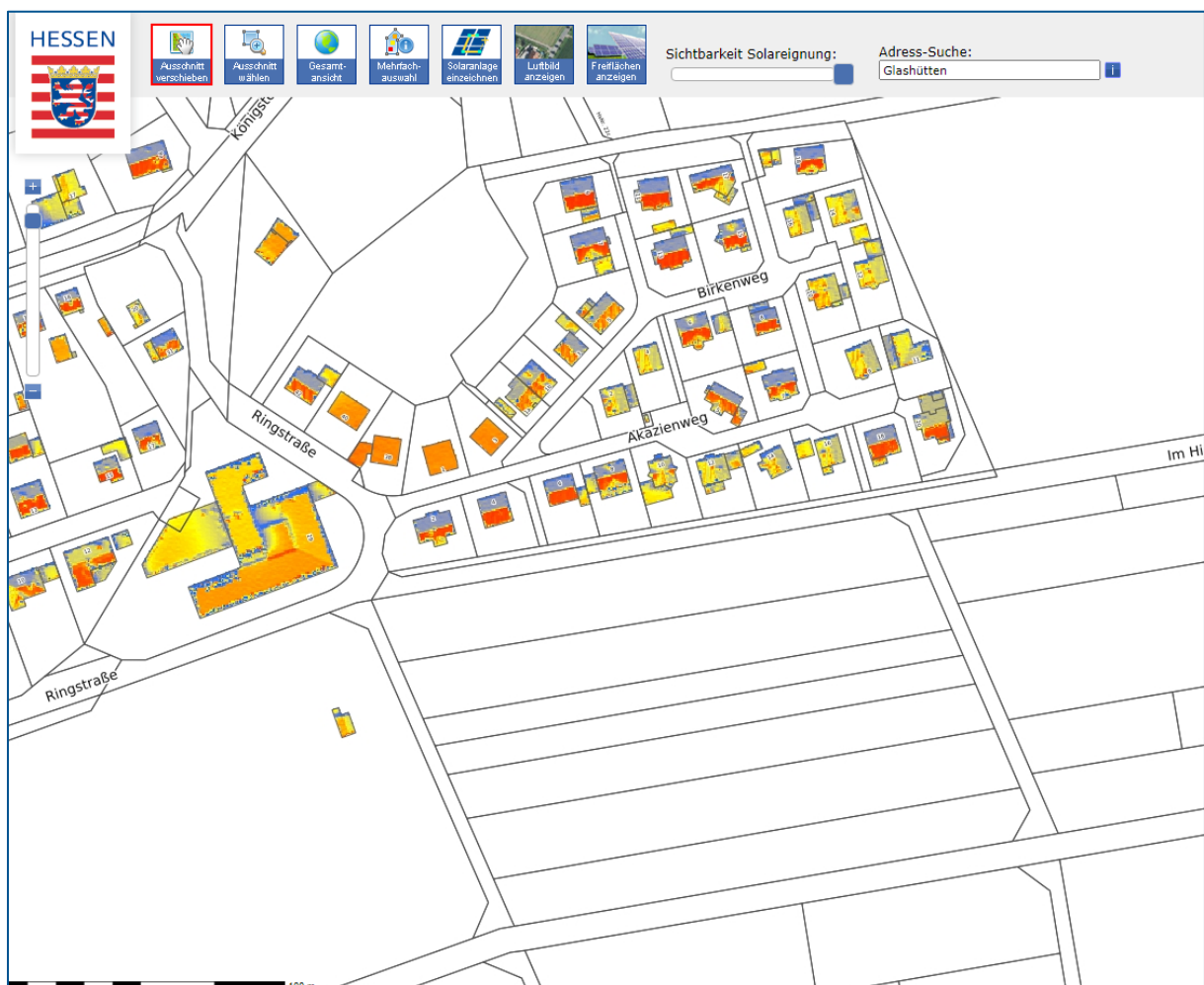


Abbildung 12: Auszug aus dem Solarpotentialkataster des Landes Hessen für Schlossborn (Quelle: Energieland Hessen)

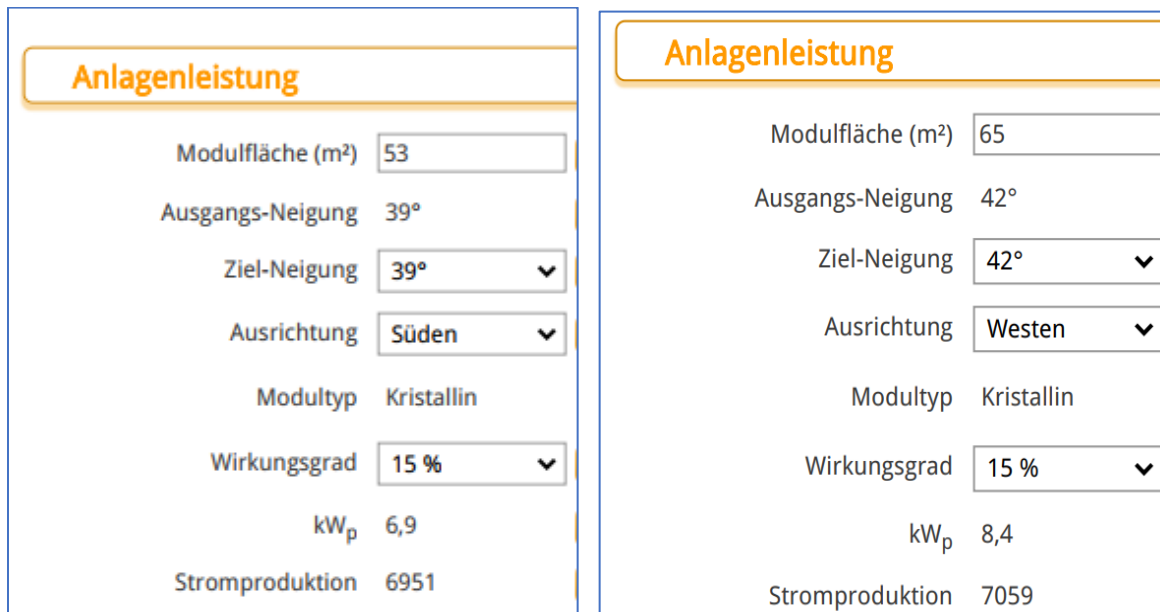


Abbildung 13: Stromproduktion EFH Ausrichtung Süd (links) und Stromproduktion EFH Ausrichtung Ost-West (rechts)

Um die mögliche Stromproduktion im Baugebiet „Am Silberbach“ abzuschätzen wird angenommen, dass die zukünftige Bebauung in Größe und Ausrichtung in etwa der vorhandenen entspricht. Aus den beiden dargestellten Potenzialen ergeben sich folgende gemittelten Werte, die zur Abschätzung des PV-Potenzials dienen.

Tabelle 3.1: Potenzialermittlung Photovoltaik (Solarkataster Hessen)

Steildachflächen	Mittlere Generatortgröße	Mittlere spez. Stromproduktion	Anzahl der Gebäude	Stromproduktion pro Jahr
Einfamilienhaus	7,65 kWp	915 kWh/kWp	81	560.000 kWh
Mehrfamilienhaus	14 kWp	915 kWh/kWp	3	38.430 kWh
Mehrzweckhalle	51 kWp	915 kWh/kWp	1	46.400 kWh
Kreissporthalle	48 kWp	915 kWh/kWp	1	44.000 kWh
Summe PV-Stromproduktion				689.000 kWh

Im Baugebiet können bei maximaler PV-Belegung der Dachflächen jährlich ca. 689.000 kWh Strom regenerativ erzeugt werden.

Laut dem Bebauungsplan „Am Silberbach“ für den ersten Bauabschnitt vom 29.01.2010 sind im Plangebiet im Bereich der Mehrfamilienhäuser Flachdächer mit extensiver Dachbegrünung

vorgesehen. Flachdächer haben den Vorteil, dass sie grundsätzlich in Kombination mit Retentionsflächen ausgestattet werden können. Die Kombination von Dachbegrünung und Solaranlagen ist mithilfe standardisierter Systemlösungen umsetzbar und erzeugt darüber hinaus unterschiedliche Synergieeffekte (u. a. geringere Aufheizung der Module, geringere Verdunstung der Grünflächen durch Verschattung der Solarpaneele; s. folgende Abbildung 14). Da eine begrünte Dachfläche eine bedeutend geringere Oberflächentemperatur aufweist, bleiben die Photovoltaik-Module über einem Gründach kühler und somit der Wirkungsgrad höher. Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht ist die Umsetzung der Photovoltaik-Anlagen in Kombination mit den vorgesehen Retentionsdächern zu empfehlen.

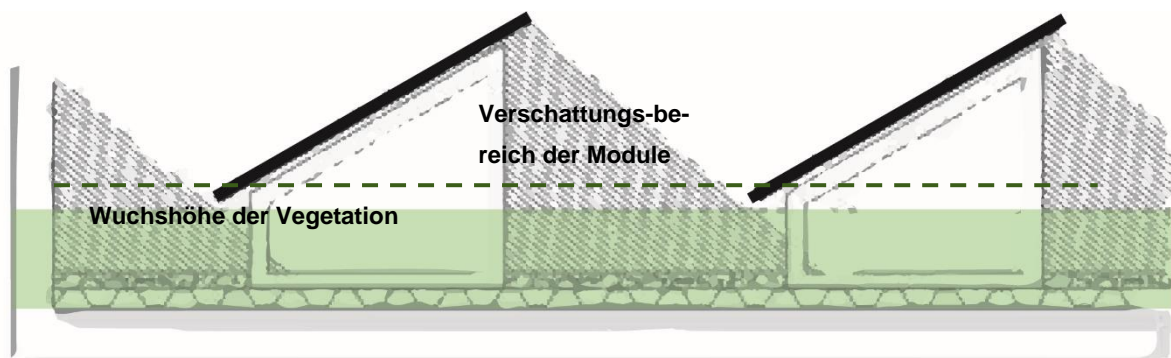


Abbildung 14: Aufbauprinzip eines Solargründaches (energielenker 2019)

Zum Süden ausgerichtete Dachflächen sollten eine Dachneigung von 30-45° aufweisen. Die höchste Stromgewinnung erfolgt um die Mittagszeit. Um eine optimierte Verteilung der Stromproduktion über den Tagesverlauf zu erreichen, wird die Ausrichtung der Solarmodule nach Ost- und Westrichtung empfohlen. Bei Flachdächern im Baugebiet können die Module in die empfohlene Richtung aufgeständert werden.

## Abwärmepotenziale

Im Rahmen der Potenzialermittlung wurden die Möglichkeiten zur lokalen Abwärmenutzung für die Energieversorgung vom Neubaugebiet in Glashütten untersucht. Als Versorgungslösungen wurden dazu sowohl vorhandene örtliche Wärmequellen als auch neu zu errichtende Anlagen untersucht. In der Studie wurden Abwärmequellen aus den Industrie- und Gewerbebetrieben untersucht. In der Analyse zeigte sich, dass die hier verfügbaren Wärmemengen sowohl in der Gesamtmenge als auch in der zeitlichen Verfügbarkeit nicht für die Versorgung des Wohngebietes ausreichen (vgl. Abbildung 15).

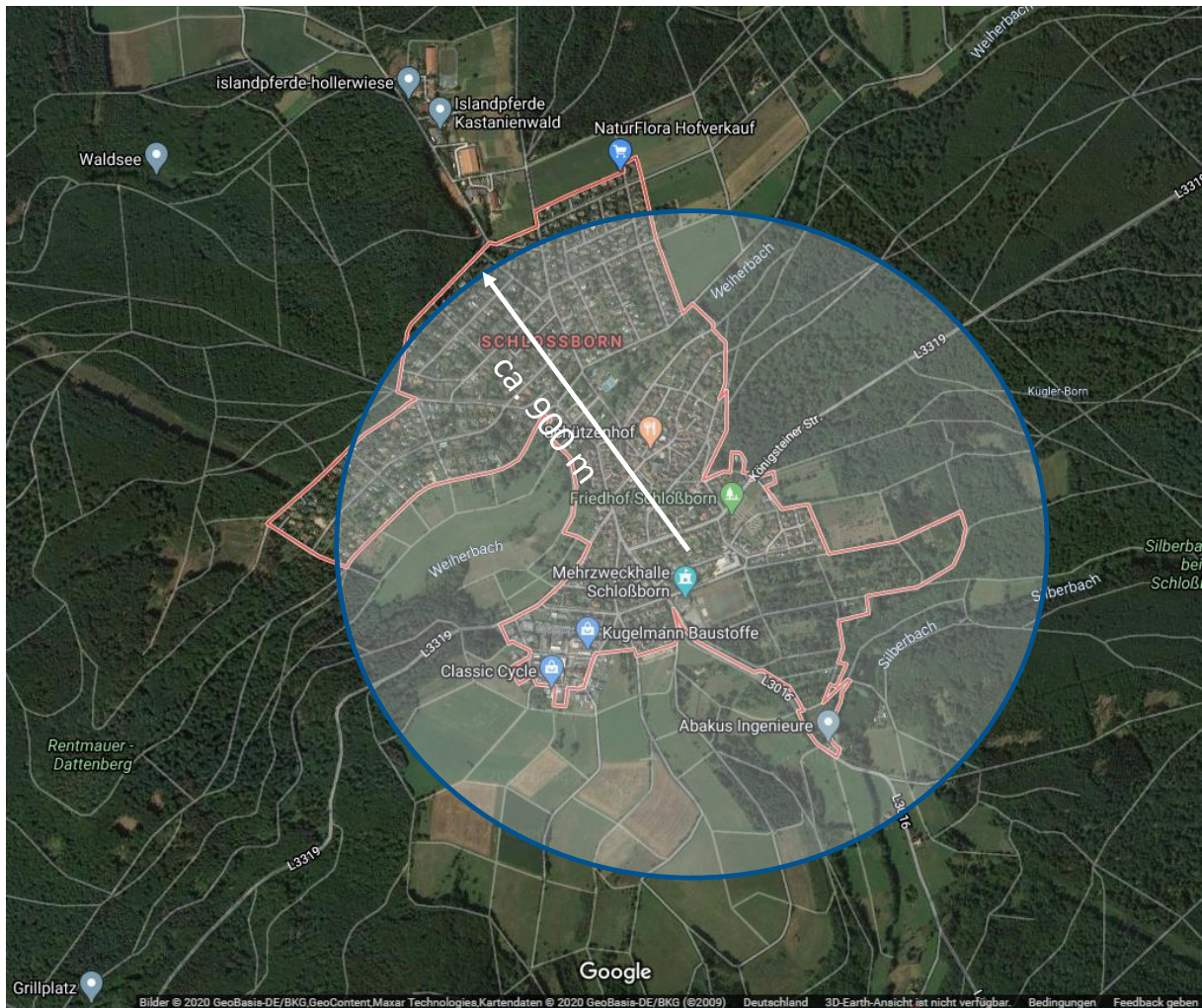


Abbildung 15: Untersuchung möglicher Abwärmeequellen im näheren Umfeld des Plangebietes

Da das Wohngebiet „Am Silberbach“ am Rande der Gemeinde Glashütten erschlossen wird, liegen keine Abwasserleitungen mit ausreichend Potenzial für eine Wärmeintegration vor. Die Abwassermengen aus dem Gebiet selbst, stellt mit einer jährliche Energiemenge von ca. 14.000 kWh ebenfalls kein ausreichendes Potenzial dar.

## 4 Wärmeversorgungskonzepte

Für die Wärmeversorgung des Plangebietes gelten als Mindestanforderungen die Standards des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetzes (EE-Wärme-G), das einen prozentualen Anteil Erneuerbarer Energien oder als Ersatzmaßnahmen einteilig eine Wärmeerzeugung aus dem Prozess der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) vorschreibt.

Bei der Wärmeversorgung können unterschiedliche Ansätze verfolgt werden, die sich in einem zentralen Heizwerk oder einem zentralen Erdwärmesondenfeld mit Nahwärmenetz und einer individuellen Objektversorgung darstellen.

Im Rahmen des Energieversorgungskonzeptes wurden mögliche Varianten für die zukünftige Energieversorgung des Baugebiets „Am Silberbach“ konzipiert. Als Versorgungslösungen wurden dabei untersucht:

- Dezentrale Gasbrennwertthermen mit Solarthermie zur Trinkwassererwärmung mit zentraler Lüftungsanlage (Variante 1 / Referenz-Variante)
- Dezentrale Luftwärmepumpen (Variante 2)
- Dezentrale Sole- Wasserwärmepumpe mit Erdsonde (Variante 3)
- Dezentrale Sole- Wärmepumpe mit Eisspeicher (Variante 4)
- Wärmenetz mit Biomassekessel (Variante 5)
- Wärmenetz mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage und Biomassekessel (Variante 6)
- Kaltes Netz mit Erdsondenfeld als Wärmequelle und dezentralen Wärmepumpen (Variante 7)
- Kaltes Netz mit Erdsondenfeld als Wärmequelle und dezentralen Wärmepumpen ohne Mehrzweckhalle und Kreissporthalle (Variante 7b)
- Kaltes Netz mit zentralem Eisspeicher als Wärmequelle und dezentralen Wärmepumpen (Variante 8)

Im Folgenden werden diese Versorgungslösungen vorgestellt und eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Für die wirtschaftliche Bewertung der zentralen und dezentralen Lösungen und damit eine Vergleichbarkeit der Versorgungslösungen hergestellt werden kann, ist es sinnvoll diesen Vergleich auf Gebäudeebene herzustellen. Aufgrund der Anzahl an unterschiedlichen geplanten Gebäuden würde dies jedoch zu einer zu hohen Komplexität führen. Es werden daher stellvertretend für die geplanten Einfamilienhäuser, Doppelhäuser und Reihenhäuser ein „durchschnittliches EFH“ (im Folgenden ØEFH) sowie ein „durchschnittliches

MFH“ (im Folgenden ØMFH) definiert. Durch die beiden Referenzgebäude ist es möglich die untersuchten Versorgungslösungen nachvollziehbar zu vergleichen. Für die Referenzgebäude wurde ein baulicher Standard nach KfW55 angenommen.

Die Berechnungsgrundlage und die Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung dieser beiden Referenzgebäude sind in der nachfolgenden Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Durchschnittliche Gebäudetypen (Berechnungsgrundlage)

	ØEFH	ØMFH
Wohnfläche	150m <sup>2</sup>	680 m <sup>2</sup>
Nutzfläche	223 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>
Heizleistung	9 kW	17,5 kW
Wärmebedarf	9.500 kWh/a	40.000 kWh/a
Rahmenbedingungen		
Betrachtungszeitraum	20 Jahre	20 Jahre
Nutzungsdauer und Instandhaltungskosten nach	VDI 2067	VDI 2067

## 4.1 Dezentrale Wärmeversorgungskonzepte

### 4.1.1 Variante 1: Objektlösung mit Gasbrennwerttherme und Solarthermie

Die Variante 1 sieht vor, dass im Gebäude eine Gasbrennwerttherme aufgestellt wird, um die Liegenschaft mit Wärme zu versorgen. Für die Trinkwassererwärmung wird zusätzlich eine Solarthermieanlage auf den Dachflächen installiert.

Tabelle 4.2: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 1

Erdgas-Brennwert-Therme				
Investition				
Erdgas-Brennwert-Therme	9	kW		4.800 €
Solarthermie	5	m <sup>2</sup>		5.000,00 €
Baukostenzuschuss Erdgasnetz	pauschal			1.800,00 €
Hausanschlusskosten				2.100,00 €
				13.700,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				920,86 €
Betrieb				
Brennstoffkosten Erdgas	10.106	kWh	0,05 €/kWh	505,32 €
Schornsteinfeger	1	pauschal		40,00 €
Instandhaltung			3%	342,50 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	101	kWh	0,25 €/kWh	25,27 €
				913,09 €
Grundpreis				920,86 €
Arbeitspreis				0,10 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>1.833,94 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,19 €</b>

Bei der dezentralen Wärmeversorgung über eine Gasbrennwerttherme mit Solarthermieanlage setzen sich für die Wärmeabnehmer die Kosten aus einem Grundpreis und einem Wärmepreis bzw. Arbeitspreis zusammen. Der Grundpreis liegt bei 921 € (netto) pro Jahr und enthält alle Kosten, die unabhängig von dem Gasverbrauch entstehen. Dazu zählen Messung, Abrechnung und Netznutzung. Der Arbeitspreis ist gekoppelt an den Erdgastarif und beträgt ca. 10 ct/kWh (netto). Insgesamt ergeben sich aus der Vollkostenrechnung für den Verbraucher bei einem EFH Gesamtkosten von 1834 €/a, woraus sich ein durchschnittlicher Wärmepreis von 19 ct/kWh ableiten lässt. Für ein Mehrfamilienhaus ergibt sich ein etwas geringerer



Wärmepreis, da eine Wärmeerzeugungsanlage von mehreren Wohneinheiten genutzt werden kann. Wärmekosten pro Jahr ca. 6.150 €, daraus ergibt sich ein Wärmepreis von ca. 15 ct/kWh.

#### 4.1.2 Variante 2: Objektlösung mit dezentralen Luftwärmepumpen

Die Variante 2 sieht vor, dass die Liegenschaft über eine Luftwärmepumpe mit Wärme versorgt wird.

Tabelle 4.3: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 2

Luft-Wasser-Wärmepumpe				
Investition				
Luft-Wasser-Wärmepumpe	9	kW		12.500 €
Pufferspeicher	1			1.500,00 €
Förderung			35%	- 4.900,00 €
				9.100,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				611,66 €
Betrieb				
Stromkosten von PV-Anlage	2969	kWh	0,25 €/kWh	742,19 €
Instandhaltung			3%	273,00 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	148	kWh	0,25 €/kWh	37,11 €
				1.052,30 €
Grundpreis				611,66 €
Arbeitspreis				0,11 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>1.663,96 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,18 €</b>

Bei der Objektversorgung durch eine Luftwärmepumpe ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 612 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investition berücksichtigt, im Arbeitspreis die Kosten für Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik sowie der Stromkosten. Für die in Anspruch genommene Strommenge wird ein Strompreis von 25 ct/kWh (netto) veranschlagt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 1.664 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 18 ct/kWh (netto).

Für ein Mehrfamilienhaus ergibt sich ein etwas geringerer Wärmepreis, da eine Wärmeerzeugungsanlage von mehreren Wohneinheiten genutzt werden kann. Wärmekosten pro Jahr ca. 6.250 €, daraus ergibt sich ein Wärmepreis von ca. 15 ct/kWh.

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA</b>				
WP Luft	35 % der förderfähigen Kosten	Luft-Wasser-Wärmepumpe, Pufferspeicher	JAZ = 4,5 (Neubau)	Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

### 4.1.3 Variante 3: Objektlösung dezentrale Sole-/Wasser Wärmepumpe mit Erdsonde

Die Variante 3 sieht vor, dass die Gebäude der Liegenschaft über eine Sole-/Wasserwärmepumpe mit Wärme aus Erdsonden versorgt werden.

Tabelle 4.4: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 3

Sole-Wasser-Wärmepumpe				
<b>Investition</b>				
Sole-Wasser-Wärmepumpe	9	kW		9.500 €
EWS	150	m	60,00 €/m	9.000,00 €
Pufferspeicher	1			1.500,00 €
Förderung			35%	- 7.000,00 €
				13.000,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				873,80 €
<b>Betrieb</b>				
Stromkosten von PV-Anlage	1.900	kWh	0,25 €/kWh	475,00 €
Instandhaltung			3%	390,00 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	95	kWh	0,25 €/kWh	23,75 €
				888,75 €
Grundpreis				873,80 €
Arbeitspreis				0,09 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>1.762,55 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,19 €</b>

Bei der Objektversorgung durch eine Sole-/Wasserwärmepumpe ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 874 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investition, im Arbeitspreis die Kosten für Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik sowie der Stromkosten berücksichtigt. Für die in Anspruch genommene Strommenge wird ein Strompreis von 25 ct/kWh (netto) veranschlagt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 1.763 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 19 ct/kWh (netto).

Für ein Mehrfamilienhaus ergibt sich ein etwas geringerer Wärmepreis, da eine Wärmeerzeugungsanlage von mehreren Wohneinheiten genutzt werden kann. Wärmekosten pro Jahr ca. 6.450 €, daraus ergibt sich ein Wärmepreis von ca. 15,5 ct/kWh.

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA</b>				
WP Luft	35 % der förderfähigen Kosten	Sole-Wasser-Wärmepumpe, Pufferspeicher	JAZ = 4,5 (Neubau)	Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

#### 4.1.4 Variante 4: Objektlösung dezentrale Sole-/Wasserwärmepumpe mit Eisspeicher

Die Variante 4 sieht vor, dass die Gebäude Liegenschaft über eine Sole-/Wasserwärmepumpe mit Wärme aus Eisspeichern versorgt wird. Anders als in Variante 3 dient nicht Geothermie als Wärmequelle, sondern ein im Erdreich befindlicher Eisspeicher. Der Eisspeicher besteht aus einer Zisterne, zumeist aus Beton, die im Erdboden eingelassen wird. Durch das niedrige Temperaturniveau kann auf eine Dämmung verzichtet werden. Innerhalb der Zisterne verlaufen Soleleitungen, die die Wärmeübertragung gewährleisten. Als Wärmespeichermedium wird Wasser eingesetzt. Während des Betriebs wird dem flüssigen Wasser über die Soleleitung Energie entzogen und abgekühlt. Die von der Sole aufgenommene Energie wird von der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser genutzt. Durch den Energieentzug kühlt das Wasser innerhalb der Zisterne ab, bis es gefriert. Der weitere Energieentzug erfolgt isotherm (= konstantes Temperaturniveau). Über die Heizperiode gefriert nach und nach das Wasser innerhalb der Zisterne. Der Vorgang wird durch die fehlende Dämmung und den dadurch auftretenden Wärmeeintrag aus der umliegenden Erde verlangsamt. Außerhalb der Heizperiode, wenn lediglich Warmwasser bereitgestellt werden muss, können sogenannte Solar-Luft-Absorber als Wärmequelle genutzt werden. Diese nutzen sowohl die direkte Sonnenstrahlung wie auch die Wärme aus der Umgebungsluft. Übersteigt die zur Verfügung stehende Wärme den aktuellen Bedarf wird die überschüssige Energie genutzt, um den Eisspeicher zu regenerieren. Zudem kann die in der Zisterne vorherrschende Temperatur um den Gefrierpunkt genutzt werden, um im Sommer eine passive Gebäudekühlung zu ermöglichen. Die schematische Einbindung eines Eisspeichers in die Wärmeversorgung eines EFH ist Abbildung 16 zu entnehmen.

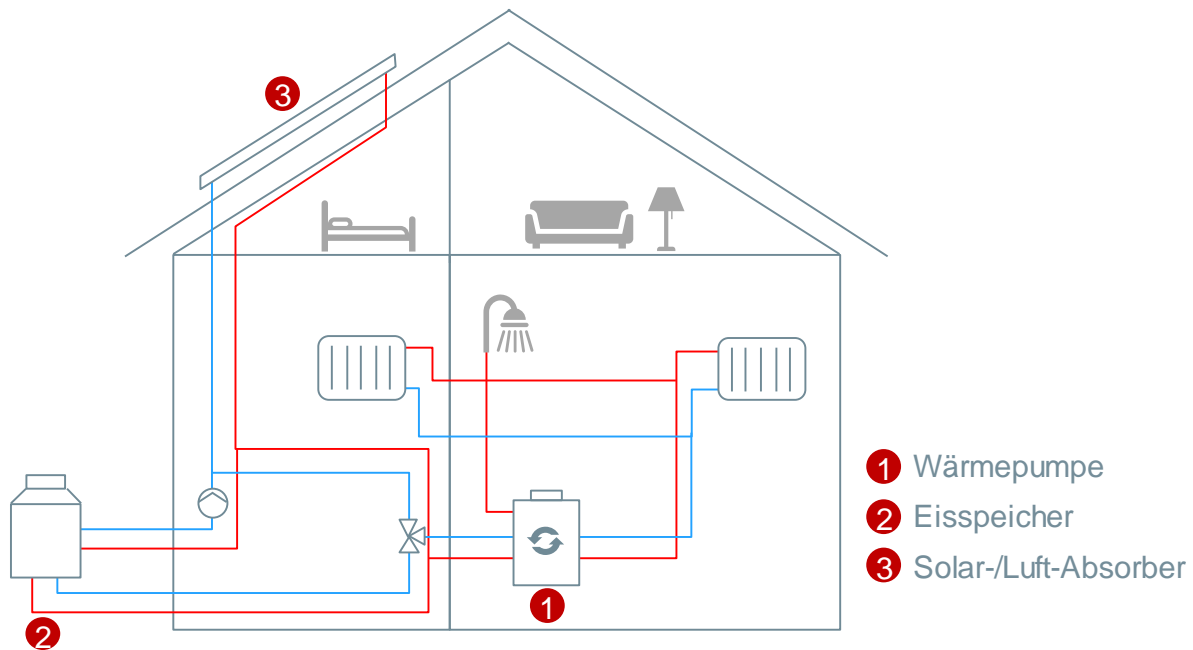


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer Wärmeversorgung mittels Eisspeicher-System (energielenker GmbH 2020 nach Viessmann)

Der Eisspeicher stellt gegenüber konventioneller Wärmeerzeugung zahlreiche Vorteile im Hinblick auf Umwelt und Wirtschaftlichkeit. Gegenüber Geothermieanwendungen besteht der Vorteil, dass keine Genehmigungsverfahren nötig sind. Allerdings werden für die Regeneration Dachflächen genutzt, die alternativ für PV-Stromproduktion nutzbar wären. Hinzu kommt, dass die Investitionskosten Erdkollektoren und Erdsonden übersteigen. Da zusätzliche Kollektoren angeschafft werden müssen. Bei bestehenden Beschränkungen der Bohrtiefen durch Gewässerschutzgründen oder fehlendem Platzbedarf für Erdkollektoren, stellt der Eisspeicher eine sinnvolle Alternative dar.

Tabelle 4.5: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 4

<b>Sole-Wasser-Wärmepumpe</b>				
<b>Investition</b>				
Sole-Wasser-Wärmepumpe	9	kW		9.500 €
Eisspeicher	10	m <sup>3</sup>		8.000 €
Solar-Luft-Absorber	2	Stück	2.000,00 €	4.000,00 €
Erdaushub	10	m <sup>3</sup>	80,00 €	800,00 €
Pumpen, Rohrleitungen		pauschal		1.800,00 €
Pufferspeicher	1		1.500,00 €	1.500,00 €
Förderung			35%	- 8.960,00 €
				16.640,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				1.118,47 €
<b>Betrieb</b>				
Stromkosten von PV-Anlage	1.900	kWh	0,25 €/kWh	475,00 €
Instandhaltung			3%	499,20 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	95	kWh	0,25 €/kWh	23,75 €
				997,95 €
Grundpreis				1.118,47 €
Arbeitspreis				0,11 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>2.116,42 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,22 €</b>

Bei der Objektversorgung durch eine Sole-Wasserwärmepumpe mit Eisspeicher anstelle einer Erdwärmesonde ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.118 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investition, im Arbeitspreis die Kosten für Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik sowie der Stromkosten berücksichtigt. Auf Grund der zusätzlichen Solar-Luft-Absorber sind die Investitionskosten höher im Vergleich zur Variante 3 mit Erdsonde. Für die in Anspruch genommene Strommenge wird ein Strompreis von 25 ct/kWh (netto). Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 2.116 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 22 ct/kWh (netto).

## 4.2 Zentrale Wärmeversorgungskonzepte

Die vorgeschlagenen Energieversorgungs-lösungen sehen neben der dezentralen und individuellen Wärmeversorgungsmöglichkeit auch eine gemeinschaftliche Energieversorgung der Wohngebäude vor. Hierzu könnte ein Nahwärmenetz aufgebaut werden, das von einer Heiz-

zentrale über die geplanten Verkehrswege im Plangebiet die Wärme an die Wärmeübergabestation im Gebäude liefert. Die Heizzentrale beinhaltet die Anlagentechnik zum Betrieb des Wärmenetzes sowie einen Grund- und Spitzenlastwärmeerzeuger. Zur Bereitstellung der Grundwärmeversorgung könnte ein Biomassekessel oder ein Blockheizkraftwerk eingesetzt werden.

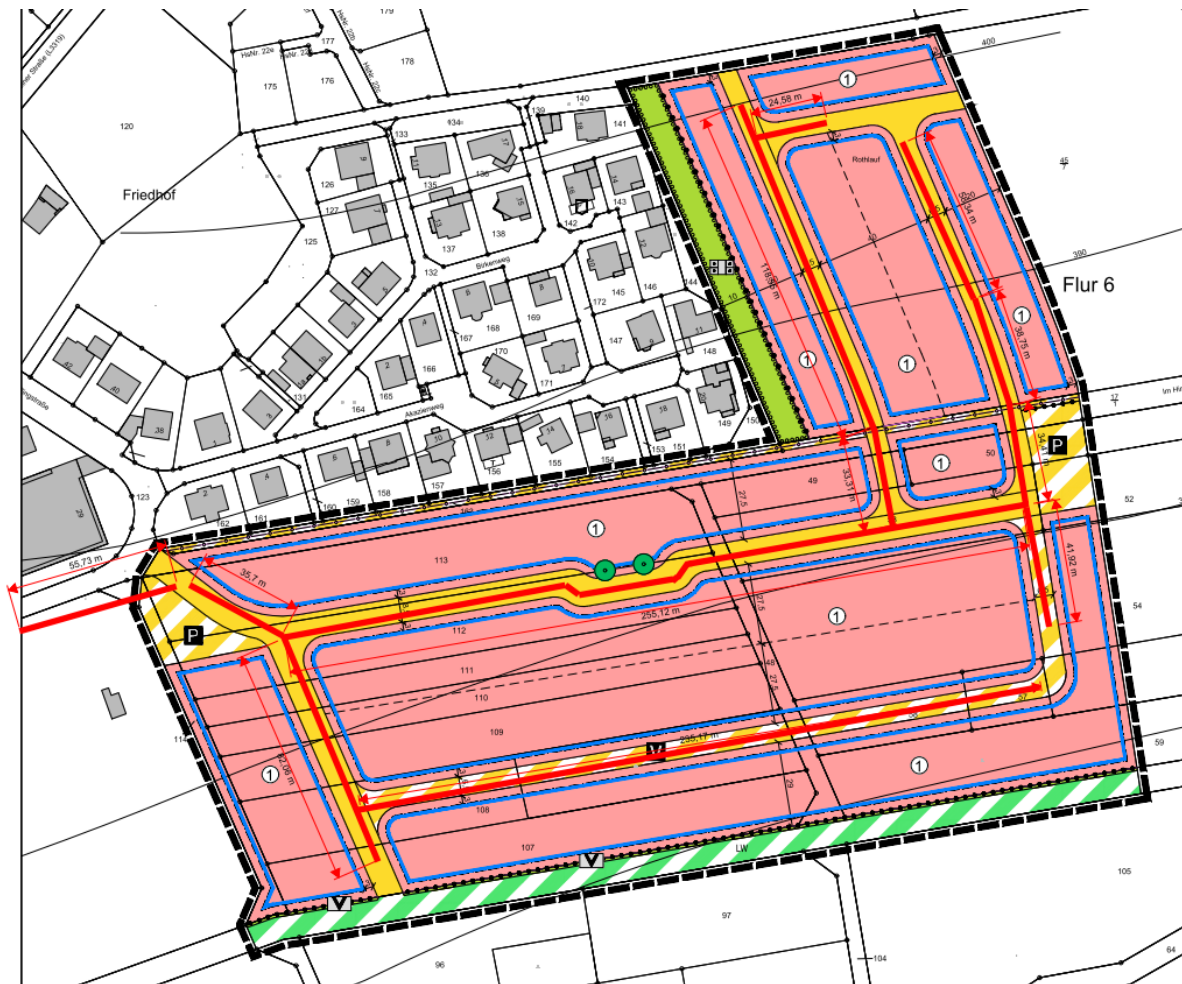


Abbildung 17: Technische Auslegung Wärmenetz (energielenker GmbH 2020)

Die erforderliche Heizzentrale beinhaltet die nötige Anlagentechnik, wie Pumpen, Druckhaltung und Steuerungstechnik. Zudem sollten Spitzenlastkessel in der Heizzentrale vorgesehen werden.

- Erforderliches Verteilnetz für das Baugebiet: ca. 1.150 m
- Hausanschlüsse ca. 1.960 m

Je nach Variante sind in der Heizzentrale die Wärmeerzeuger bzw. die Anlagentechnik zum Transport von der Abwärme eingebaut. Die produzierte Wärme wird anschließend in die Versorgungsleitung (in Abbildung 17 dargestellt) eingespeist. Es werden alle Häuser entlang der

Versorgungstrasse über sogenannte Hausanschlussleitungen an das Wärmenetz angebunden.

Aufgrund der Gegebenheit, dass das Wohnquartier neu errichtet wird und sich daher nicht im Bestand befindet, wird bei der Auslegung der Anlagentechnik angenommen, dass sich 100 % der Gebäude an das Nahwärmenetz anschließen werden.

Als Geschäftsmodell für den Bau und den Betrieb der Anlagentechnik sind grundsätzlich mehrere Varianten möglich. So kann eine Einzelperson (Kaufmann, GbR o. ä.) oder ein Unternehmen das Wärmenetz aufbauen und betreiben oder es gründet sich eine Genossenschaft aus allen Wärmekunden. Darüber hinaus sind zudem Lösungen wie beispielsweise eine GmbH & Co. KG, bestehend aus Unternehmen und den privaten Wärmekunden, grundsätzlich möglich.

Aufgrund der Größe des geplanten Projektvorhabens und zur Bereitstellung der nötigen Versorgungssicherheit sind viele der genannten Betreibermodelle jedoch nicht sinnvoll. Zudem ist mit Hinblick auf den nötigen zeitlichen Horizont eine Neugründung einer Betreibergesellschaft nur schwer umsetzbar. Realistischerweise kommen als Netzbetreiber daher die ortsansässigen Energieversorger in Betracht. Nach Rücksprache mit der Mainova AG ist diese grundsätzlich an Bau und Betrieb als Contractor, eines zentralen Versorgungsnetztes interessiert. Die Umsetzung ist allerdings abhängig von der Zahl der Anschlussnehmer und Baukostenzuschüssen seitens der Gemeinde Glashütten.

#### **4.2.1 Variante 5: Nahwärmeversorgung mit Biomasse [Hackschnitzel]**

In dieser Variante (5) wird als zentraler Wärmeerzeuger ein Biomassekessel (Holzhackschnitzel) eingesetzt. Die Funktion eines Biomassekessel folgt dabei einem einfachen Grundprinzip. Die Biomasse wird als Brennstoff in der Brennkammer des Biomassekessel verbrannt und die dabei entstehende Wärme für die Erhitzung von Wasser genutzt, welches über Wärmeleitungen zu den an das Wärmenetz angeschlossenen Gebäuden geführt wird. Als Brennstoff kommen unter anderem Holzhackschnitzel und Holzpellets in Frage.



Tabelle 4.6: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 5

<b>Nahwärmenetz Biomasse-Wärmeerzeuger</b>				
<b>Investition</b>				
Heizzentrale inkl. Brennstofflager	1	Stück		100.000 €
Holzkessel	600	kW	500 €/kW	300.000,00 €
Pufferspeicher	1	Stück		25.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1150	m	200 €/m	230.000,00 €
Hausanschlüsse	1960	m	180 €/m	352.800,00 €
Wärmeübergabestationen EFH	81	Stück	3.000 €	243.000,00 €
Wärmeübergabestationen MFH	5	Stück	11.500 €	57.500,00 €
Förderung				- 216.600,00 €
Wagnis und Gewinn	pauschal 15 %			203.745,00 €
				1.345.445,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				90.435,04 €
<b>Betrieb</b>				
Brennstoffkosten Hackschnitzel	2.066.555	kWh	0,04 €/kWh	72.329,44 €
Ascheentsorgung			3%	2.169,88 €
Instandhaltung			2%	26.908,90 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	20.666	kWh	0,25 €/kWh	5.166,39 €
				106.574,61 €
Grundpreis				1.051,57 €
Arbeitspreis				0,09 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>1.887,14 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,20 €</b>

Bei einer zentralen Wärmeversorgung mit einem Holzhackschnitzelkessel als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.052€ pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, im Arbeitspreis die Kosten für den Brennstoff, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 1.887€/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 20 ct/kWh (netto).

## Fördermöglichkeiten:

Für diese Variante könnte eine von zwei ähnlichen Förderkulissen genutzt werden. Es sollte vor Antragstellung geprüft werden welche Kulisse die höhere Förderung bringt. In dieser Variante wurde das KFW-Programm 271 „Erneuerbare Energien Premium“ angesetzt.

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderung über „Marktanreizprogramm (MAP)“ - BMWi</b>				
Biomasse (Holz)	Tilgungszuschuss	50 €/kW <sub>th</sub> Leistung, 60 €/m Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren
<b>KFW 271 Erneuerbare Energien Premium</b>				
Biomassekessel	Tilgungszuschuss	Grundförderung 20 €/kW Bonus niedrige Staubemissionen 20 €/kW Bonus für Pufferspeicher 10 €/kW max. 100.000 je Anlage	max. 15mg/m <sup>3</sup> min. 30 l/kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natürliche Personen</li> <li>• Gemeinnützige Antragsteller</li> <li>• Freiberufler</li> <li>• Unternehmen</li> <li>• Kommunen, Gemeindeverbände</li> </ul>
Wärmenetz	Tilgungszuschuss	60 €/m max. 1 Mio. € je Netz		

#### 4.2.2 Variante 6: Nahwärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung [Biomethan]

Die Variante 6 sieht vor, dass an zentraler Stelle eine Heizzentrale mit zwei BHKWs, und einem Spitzenlastkessel errichtet wird, um über ein Nahwärmenetz die Liegenschaften mit Wärme zu versorgen. Die BHKWs und der Spitzenlastkessel werden regenerativ mit Biomethan betrieben.

Tabelle 4.7: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6

Nahwärmenetz - BHKW Wärmeerzeuger				
<b>Investition</b>				
Heizzentrale	1	Stück		50.000 €
BHKW 50 kW <sub>el</sub> /98 kW <sub>th</sub>	2	Stück	90.000 €	180.000,00 €
Spitzenkessel	600	kW	100 €/kW	60.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1150	m	200 €/m	230.000,00 €
Hausanschlüsse	1960	m	180 €/m	352.800,00 €
Wärmeübergabestationen EFH	81	Stück	3.000 €	243.000,00 €
Wärmeübergabestationen MFH	5	Stück	11.500 €	57.500,00 €
Förderung			-	194.440,00 €
Wagnis und Gewinn	15%	pauschal		183.495,00 €
				1.212.355,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				81.489,30 €
<b>Betrieb</b>				
Erzeugter Strom	397.000	kWh	0,25 €/kWh	99.250,00 €
Brennstoffkosten BHKW 1	1.033.929	kWh	0,07 €/kWh	72.375,00 €
Brennstoffkosten BHKW 2	631.667	kWh	0,07 €/kWh	44.216,67 €
Brennstoffkosten Spitzenkessel	887.302	kWh	0,07 €/kWh	62.111,16 €
Instandhaltung BHKW			3%	11.910,00 €
Instandhaltung Anlagen			2%	20.647,10 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	10.339	kWh	0,25 €/kWh	2.584,82 €
				114.594,74 €
Grundpreis				947,55 €
Arbeitspreis				0,09 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>1.846,00 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,19 €</b>

Bei einer zentralen Wärmeversorgung mit einem Biogas-BHKW als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 948 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, im Arbeitspreis die Kosten für den Brennstoff, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 1.846 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 19 ct/kWh (netto).

Bei der Förderung ist darauf hinzuweisen, dass nach der Inbetriebnahme des ersten BHKW 12 Kalendermonate gewartet werden muss bis das zweite BHKW in Betrieb genommen wird, damit die beiden BHKW getrennt voneinander behandelt werden und die volle KWK-Vergütung zugesprochen wird. Die Realisierung der BHKWs im Abstand von einem Jahr stellt dabei keine Problematik für die Versorgungssicherheit dar. Da aller Voraussicht nach, nicht alle potenziellen Wärmekunden ab dem ersten Tag mit Wärme versorgt werden müssen, da das Gebiet erst nach und nach erschlossen wird.

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderung über „Marktanreizprogramm (MAP)“ - BMWi</b>				
BHKW (Bio-methan)	Tilgungszuschuss	40 €/kW <sub>th</sub> Leistung, 60 €/m Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

#### 4.2.3 Variante 7a: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Erdsondenfeld als Wärmequelle

Neben dem Betrieb eines konventionellen Wärmenetzes mit einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage oder einem Biomasseheizkessel besteht auch die Möglichkeit ein kaltes Netz mit dezentralen Wärmepumpen zu betreiben. Im Falle des kalten Wärmenetzes befinden sich alle Wär-

meerzeuger dezentral in den Wohngebäuden. Die Heizzentrale beinhaltet nur die Versorgungstechnik und kann daher sehr kompakt ausgeführt werden. Zudem kann über die Sole eine sommerliche Kühlung bereitgestellt werden. Als Wärmequelle zur Speisung des kalten Wärmenetzes wird ein zentrales Erdsondenfeld eingerichtet. Da das kalte Nahwärmenetz geringere Vorlauftemperaturen hat, muss der Volumenstrom entsprechend größer ausgelegt werden als bei einem vergleichbaren warmen Netz. Dafür müssen größere Rohrdimensionen verlegt werden. Dadurch das bei einem kalten Netz auf die Rohdämmung verzichtet werden kann, relativiert sich der Gesamtdurchmesser im Vergleich zum konventionellen Nahwärmenetz. Anhand der errechneten Heizlast lässt sich der notwendige Rohrdurchmesser ermitteln. Für die Auslegung wird eine Spreizung von 4 K bei einer Fließgeschwindigkeit von ca. 1 m/s zu Grunde gelegt. Für die Haupttrassen muss ein Rohrdurchmesser von DN 200 gewählt werden. Für die Verlegung ist ein Rohrgraben von ca. 1 m vorzusehen. Die Überdeckung sollte etwa der einer Trinkwasserleitung entsprechen.

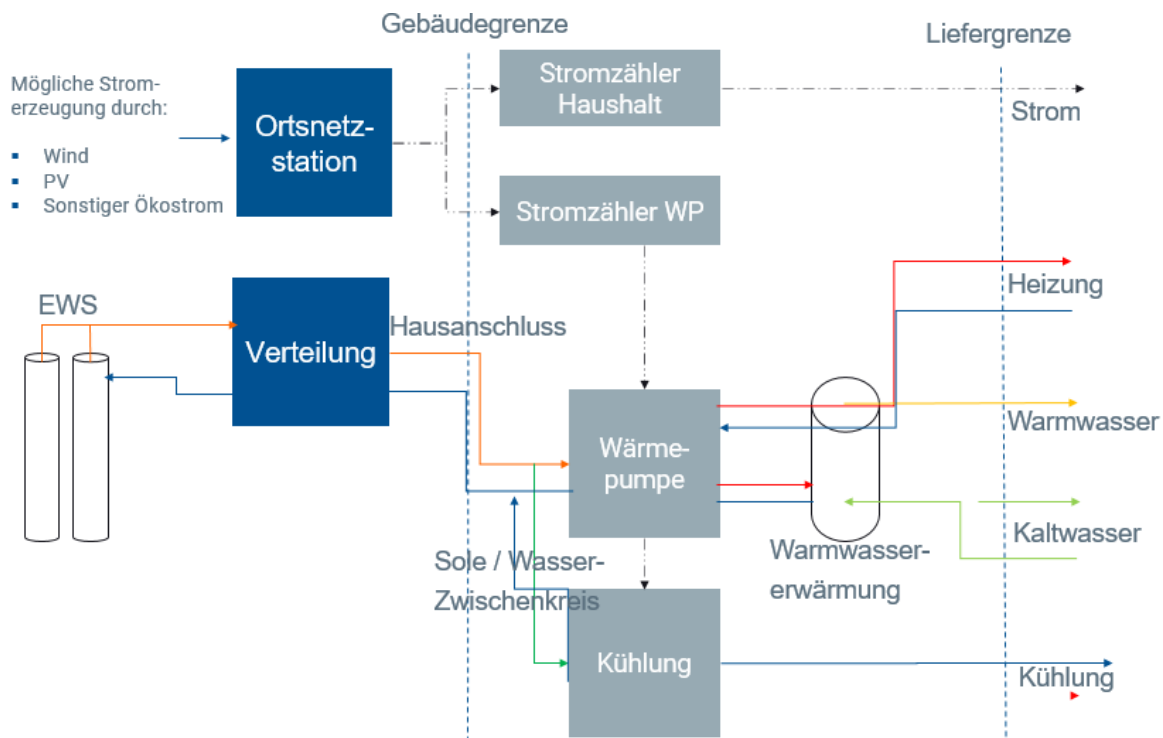


Abbildung 18: Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld (energielenker GmbH 2020)

Die insgesamt ca. 141 Sonden (Sonden-Abstand 6 m; Sondenlänge 100 m), die für die Beheizung der zukünftigen Gebäude nötig wären, könnten innerhalb von drei Potenzialflächen und angrenzend an die Sportfläche realisiert werden (s. Abbildung 19). Die erforderliche Fläche

zur gemeinschaftlichen Versorgung beträgt etwa 5.000 m<sup>2</sup> und wäre innerhalb der unbebauten Flächen gegeben.



Abbildung 19: Potenzialflächen Erdsondenfeld zur Nutzung von Geothermie (energielenker GmbH 2020)

Gemäße Auskunft der HLG gibt es östlich an das Plangebiet angrenzend zwei Flurstücke die evtl. für das Niederbringen der notwendigen Erdsonden in Frage kommen. Die Flurstücke haben eine Größe von 9.300 m<sup>2</sup> bzw. von 4.480 m<sup>2</sup> und weisen damit genügend Fläche für ein notwendiges Erdsondenfeld auf. Die folgende Abbildung zeigt die violett markierten Potenzialflächen. Nach Rücksprache mit dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) ist am betrachteten Standort aus hydrogeologischer Sicht die Nutzung von Erdwärme möglich.

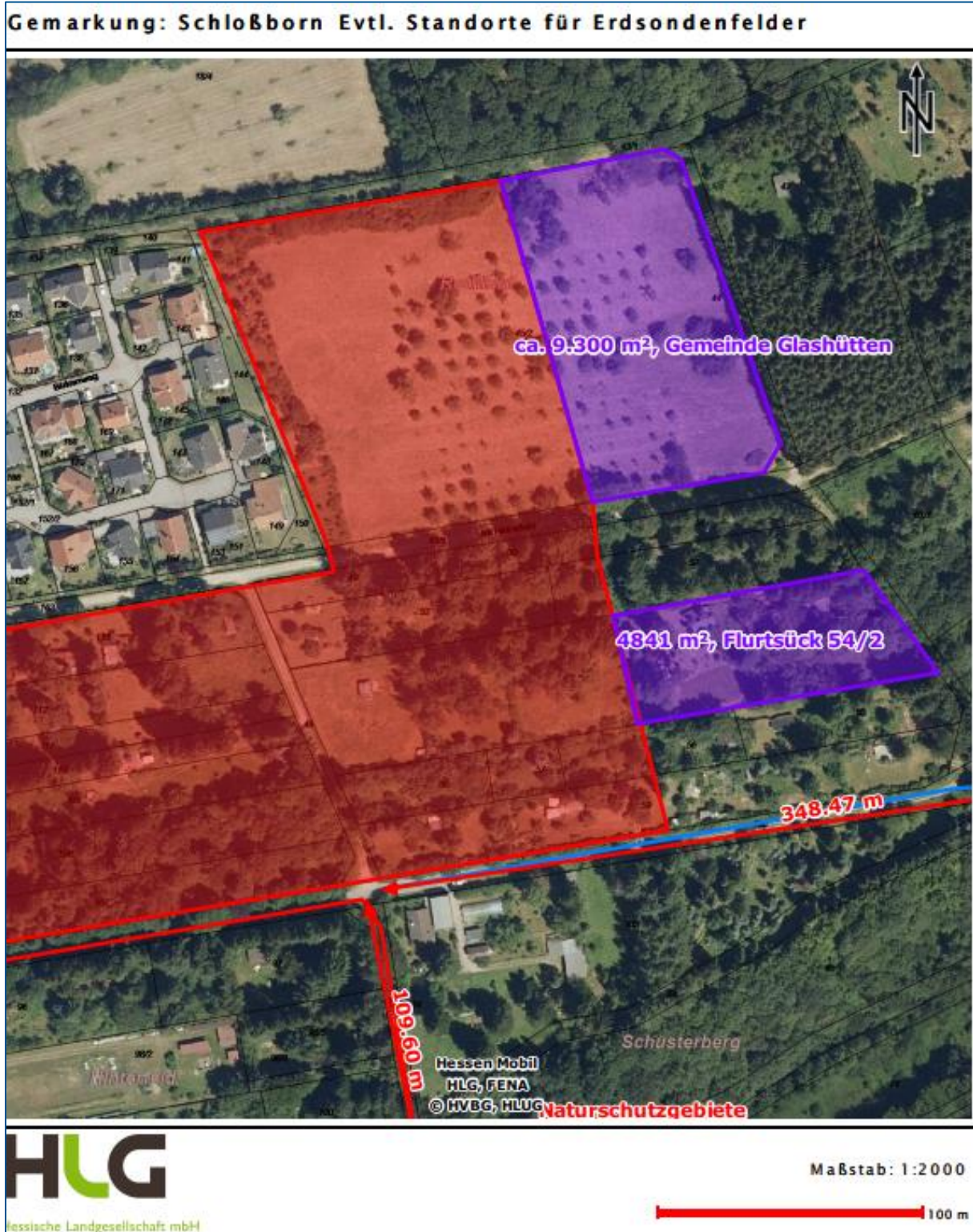
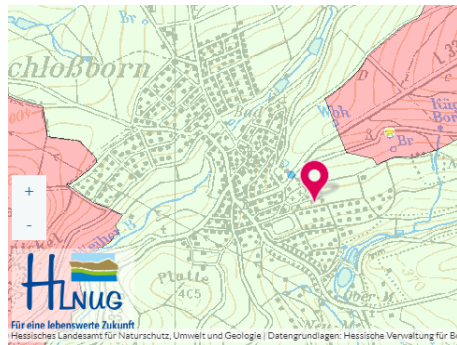


Abbildung 20: Mögliche Standorte für Erdsondenfelder angrenzend an das Plangebiet „Am Silberbach“ (Quelle: HLG)

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) veröffentlicht auf seiner Internetseite (HLNUG 2020 <https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie>) Karten zur Standortbeurteilung zur Nutzung von Oberflächennahen Geothermie für ganz Hessen. Der Kartenauszug für Glashütten Ortsteil Schlossborn gibt für das Plangebiet folgenden Hydrogeologische Beurteilung: „Hydrogeologisch günstig“.



#### Wasserwirtschaftliche Beurteilung

- Wasserwirtschaftlich unzulässig, WSG I,II,III bzw. IIIA; HQSQ I,II,III,III/1,A

#### Hydrogeologische Beurteilung

- Hydrogeologisch günstig

Abbildung 21: Kartenausschnitt hydrogeologische Beurteilung zur Nutzung von Geothermie

Angrenzend an das Plangebiet befindet sich die Grundschule Schloßborn, deren Wärmeversorgung ebenfalls über Geothermiesonden gespeist wird. Dort kommt eine Kombination aus Mini-BHKW, Sole-/Wasserwärmepumpen mit Erdsonden und ein Gas-Spitzenlastkessel zum Einsatz. Nach Rücksprache mit dem Hochbauamt des Hochtaunuskreises wurde am Standort der Grundschule Schloßborn ein Thermal Response Test (TRT) durchgeführt und anhand dessen der wirtschaftliche und ökologische Einsatz von Geothermiebohrungen bestätigt. Die 12 Erdsonden á 100 m dienen einer 125 kW Sole-/Wasserwärmepumpe als Energiequelle.

Für die Beurteilung der Nutzung von Geothermie für das Wohngebiet „Am Silberbach“ wurden ebenfalls Informationen bei der zuständigen unteren Wasserbehörde des Hochtaunuskreises eingeholt. Auf Anfrage, ob es aus hydrogeologischer Sicht Einwände gegenüber der Nutzung von Erdsonden gibt, wurde geäußert, dass sich das „genannte Grundstück in einem wasserwirtschaftlich sowie hydrogeologisch günstigen Gebiet in Bezug auf die Errichtung von Erdwärmesondenanlagen“ befindet. Es wurde zudem darauf verwiesen, dass die Errichtung prinzipiell zulässig ist, aber eine wasserrechtliche Erlaubnis beantragt werden muss.

Genaueren Aufschluss über die tatsächlichen Verhältnisse bieten die Daten von bereits vorhandenen Bohrungen. Ca. 250 m nordwestlich des Plangebietes befindet sich ein 120 m tiefe Bohrung mit der Bezeichnung 0551 Schlossborn 5816/211. Diese weist für eine Bohrtiefe bis 100 m eine mittlere Wärmeleitfähigkeit von 1,597 W/mK aus. Anhand dieser Daten kann die genaue Anzahl und Tiefe der Erdsonden überschlägig ermittelt werden.



Generell können Geothermiefelder bepflanzt und teilweise bebaut werden, beispielsweise durch Spielplätze oder Parkanlagen. Allerdings ist von einer flächendeckenden Versiegelung der Flächen, aufgrund der sommerlichen Regeneration des Bodens abzusehen. Zudem ist eine Bepflanzung mit Tief- und Herzwurzeln ungeeignet, da diese zu Schäden an den Erdsonden sowie den Versorgungsleitungen führen können.

Tabelle 4.8: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 7

<b>Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld mit MZH u. Kreisporthalle</b>				
<b>Investition</b>				
Heizzentrale	1	Stück		50.000 €
Erdsondenfeld	17.300	Bohrmeter	60 €/m	1.038.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1.150	m	150 €/m	172.500,00 €
Hausanschlüsse	1.960	m	120 €/m	235.200,00 €
Wärmepumpe	81	Stück	9.500 €	769.500,00 €
Wärmepumpe MFH	5	Stück	25.000 €	125.000,00 €
Förderung WP			35% -	676.375,00 €
Wagnis und Gewinn		pauschal 15 %		366.030,00 €
				2.129.855,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				143.159,71 €
<b>Betrieb</b>				
Strombedarf aus PV-Anlage	242.340	kWh	0,25 €/kWh	60.585,00 €
Instandhaltung Wärmepumpe			1%	7.695,00 €
Instandhaltung Anlagen			1%	10.918,55 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	12.117	kWh	0,25 €/kWh	3.029,25 €
				82.227,80 €
Grundpreis				1.664,65 €
Arbeitspreis				0,07 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>2.309,33 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,24 €</b>

Bei einer zentralen „kalten“ Wärmeversorgung mit dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.665 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wär-

meverteilung berücksichtigt, im Arbeitspreis die Kosten für den Strom, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von ca. 2.309 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 24 ct/kWh (netto).

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA</b>				
Kaltes Nahwärmenetz	35 % der förderfähigen Kosten	Erdsondenfeld, Wärmepumpe, Hausübergabestationen,  Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

#### **4.2.4 Variante 7b: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Erdsondenfeld als Wärmequelle ohne Mehrzweckhalle und Kreissporthalle**

Aufgrund der relativ großen Bedarfe an Heizwärme und an Warmwasser sind die Mehrzweckhalle und die noch zu errichtende Kreissporthalle keine optimalen Abnehmer für „kalte“ Nahwärme. Zudem liegen diese beiden Liegenschaften außerhalb des Plangebietes „Am Silberbach“. Vor dem Hintergrund für das Neubaugebiet einen Plus-Energie-Standard zu erreichen ist es sinnvoll diese beiden „Großverbraucher“ nicht über das Erdsondenfeld mit Energie zu versorgen. Für diese beiden Liegenschaften wäre eine andere (regenerative) Wärmeversorgung zum Beispiel auf Basis von Holzpellets zu konzipieren. In dieser Variante wird ein kaltes Nahwärmenetz ohne die Mehrzweckhalle und ohne die Kreissporthalle dargestellt.

Tabelle 4.9: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 7b

<b>Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld ohne MZH u. Kreisporhalle</b>				
<b>Investition</b>				
Heizzentrale	1	Stück		50.000 €
Erdsondenfeld	14.100	Bohrmeter	60 €/m	846.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	950	m	150 €/m	142.500,00 €
Hausanschlüsse	1.960	m	120 €/m	235.200,00 €
Wärmepumpe EFH	81	Stück	9.500 €	769.500,00 €
Wärmepumpen MFH	3	Stück	25.000 €	75.000,00 €
Förderung WP			35%	- 591.675,00 €
Wagnis und Gewinn		pauschal 15 %		325.230,00 €
				1.901.755,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				127.827,81 €
<b>Betrieb</b>				
Strombedarf aus PV-Anlage	208.273	kWh	0,25 €/kWh	52.068,21 €
Instandhaltung Wärmepumpe			1%	7.695,00 €
Instandhaltung Anlagen			1%	10.557,55 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	9.125	kWh	0,25 €/kWh	2.281,26 €
				72.602,01 €
Grundpreis				1.521,76 €
Arbeitspreis				0,08 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>2.277,61 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,24 €</b>

Bei einer zentralen „kalten“ Wärmeversorgung ohne die Mehrzweckhalle und die Kreissporthalle ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.522 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, im Arbeitspreis die Kosten für den Strom, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von ca. 2.278 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 24 ct/kWh (netto). Die geringeren Investitionskosten durch

die geringere Anzahl an Erdsonden und das kürzere Wärmenetz haben keinen signifikanten Einfluss auf den spezifischen Wärmepreis.

#### 4.2.5 Variante 8: „kalte“ Nahwärmeversorgung mit Eisspeicher als Wärmequelle

Als Alternative zu dezentralen Eisspeichern können Synergieeffekte genutzt und ein zentraler Eisspeicher installiert werden. Dieser versorgt die Liegenschaft über ein kaltes Nahwärmenetz. Dabei wird die Entzugsleistung aus der Zisterne über das kalte Netz an die Anschlussnehmer verteilt. In Variante 8 werden ebenfalls die Großabnehmer Mehrzweckhalle und Kreissporthalle alternativ versorgt (vgl. Variante 7b). Der Einfluss der zusätzlichen Wärmeabnehmer Mehrzweckhalle und Kreissporthalle wirkt sich in dieser Variante lediglich auf die zusätzlichen Kosten für ein längeres Wärmenetz aus. Das zusätzlich benötigte Eisspeichervolumen fällt hingegen kaum ins Gewicht.

Projekte und Umsetzungen sind bereits in einigen Liegenschaften ausgeführt worden. Tabelle 4.10 zeigt eine Auswahl an Praxisbeispielen für zentrale Eisspeicher.

Tabelle 4.10: Praxisbeispiele für Quartierseisspeicher

Ort	Versorgung	Zusätzliche Wärmequellen	Volumen	Inbetriebnahme	Quelle
Friedrichsdorf (Hessen)	350 WE über warmes Netz	2 zentrale BHKW + 2 zentrale WP	1.200 m <sup>3</sup>	2021	<a href="https://www.frank-gruppe.de/themen-einzelansicht/news/xuid143-in-der-oekosiedlung-wird-aus-eis-waerme-erzeugt/">https://www.frank-gruppe.de/themen-einzelansicht/news/xuid143-in-der-oekosiedlung-wird-aus-eis-waerme-erzeugt/</a>
Rendsberg (Schleswig-Holstein)	200 Haushalte über kaltes Netz	Dezentrale WP + Energiezaun	600m <sup>3</sup>	2019	<a href="https://energie.blog/in-rendsberg-versorgt-ein-eisspeicher-gebaeude-mit-heizenergie/">https://energie.blog/in-rendsberg-versorgt-ein-eisspeicher-gebaeude-mit-heizenergie/</a>
Hamburg-Wilsdorf	483 WE	Gas-Brennwertkessel + Solar-Luft-Absorber (430m <sup>2</sup> )	1.680m <sup>3</sup>	2014	<a href="https://www.waermepumpe-regional.de/hamburg/hamburg-wilstorf-groesste-eisspeicher-heizung-deutschlands-halbiert-heizkosten#:~:text=Hamburg%2DWilstorf%3A%20Gr%C3%B6%C3%9Ft">https://www.waermepumpe-regional.de/hamburg/hamburg-wilstorf-groesste-eisspeicher-heizung-deutschlands-halbiert-heizkosten#:~:text=Hamburg%2DWilstorf%3A%20Gr%C3%B6%C3%9Ft</a>

					<a href="#">e%20Eisspeicher%2D,2014%20(Inbetriebnahme)%20f%C3%BCr%20Schlagzeilen.</a>
Monheim (NRW)	Büro- und Laborkomplex ECOlab	2x WP + 65 Solar-Luft-Kollektor + Gasbrennwertkessel	1.600 m <sup>3</sup>	2013	<a href="https://www.tab.de/news/tab_1464478.html">https://www.tab.de/news/tab_1464478.html</a>

Für die Wärmeversorgung des Gebietes „Am Silberbach“ und einem baulichen Standard von KfW55 wird ein Eisspeicher mit einem Fassungsvermögen von ca. 1.700 m<sup>3</sup> benötigt. Dieser besteht aus einem Betonzylinder mit einem Durchmesser von ca. 19 m, bei einer Höhe von 6 m. Für die sommerliche Regeneration werden ca. 58 Solar-Luft-Absorber mit einer Gesamtfläche von ca. 455 m<sup>2</sup> (exkl. Abstandsflächen) vorgesehen.

Tabelle 4.11: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 8

<b>Kaltes Nahwärmenetz mit Eisspeicher</b>				
<b>Investition</b>				
Heizzentrale	1	Stück		50.000 €
Eisspeicher mit Wärmetauschersystem	1	Stück		480.000,00 €
Solar-Luft-Absorber	58	Stück	2.000 €	116.000,00 €
Erdaushub	2.662	m <sup>3</sup>	70 €/m <sup>3</sup>	186.346,30 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1.150	m	150 €/m	172.500,00 €
Hausanschlüsse	1.960	m	120 €/m	235.200,00 €
Wärmepumpe	81	Stück	9.500 €	769.500,00 €
Wärmepumpe MFH	5	Stück	25.000 €	125.000,00 €
Förderung WP			35%	- 481.075,00 €
Wagnis und Gewinn		pauschal 15 %		327.681,94 €
				2.031.153,24 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				136.525,40 €
<b>Betrieb</b>				
Strombedarf aus PV-Anlage	242.340	kWh	0,25 €/kWh	60.585,00 €
Instandhaltung Wärmepumpe			1%	7.695,00 €
Instandhaltung Anlagen			1%	15.511,53 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	12.117	kWh	0,25 €/kWh	3.029,25 €
				86.820,78 €
Grundpreis				1.587,50 €
Arbeitspreis				0,07 €
<b>Wärmekosten EFH pro Jahr</b>				<b>2.268,20 €</b>
<b>Wärmekosten pro kWh Wärme</b>				<b>0,24 €/kWh</b>

Bei einer zentralen „kalten“ Wärmeversorgung mit dezentralen Sole-Wasserwärmepumpen als Wärmeerzeuger und einem zentralen Eisspeicher als Wärmequelle ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.588€ pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, im Arbeitspreis die Kosten für den Strom, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von ca. 2.268 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 24 ct/kWh (netto).

Die Berechnungen der Versorgungsvariante ohne die „Großabnehmer“ Mehrzweckhalle und Kreissporthalle ergaben ähnliche Ergebnisse wie in Variante 7. Die jährlichen Kosten für die Wärmeversorgung eines EFH werden nicht signifikant beeinflusst.

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
<b>Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA</b>				
Eisspeicher mit Wärmepumpe	35 % der förderfähigen Kosten	Wärmepumpe, Eisspeicher		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

### 4.3 Vergleich der Versorgungsvarianten

Insgesamt wurden sieben verschiedene Wärmeversorgungsvarianten untersucht. Die Variante 1 beschreibt die Basisvariante. Ein Einfamilienhaus mit einer Erdgas-Brennwert-Heizung zur Heizwärmeerzeugung und einer Solarthermieanlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung stellt in Bestandswohngebieten noch den Stand der Technik dar. In Neubaugebieten verhält sich dies etwas anders. Aufgrund des niedrigen Heizenergiebedarfes von neuen Häusern, wird bei der Erschließung eines Gebietes auf den Bau eines Erdgasnetzes verzichtet. Die hohen Investitionskosten können durch die geringen Erlöse aus der Netznutzung kaum erwirtschaftet werden. Eine Erdgasversorgung käme wahrscheinlich nur bei einer ganz oder teilweisen Kostenübernahme durch die Gemeinde Glashütten (Baukostenzuschüsse) zustande. Allein in der genannten Variante 1 kommt ein fossiler nicht regenerativer Energieträger zum Einsatz. Die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf sind dementsprechend in dieser Variante am höchsten.

In der folgenden Tabelle werden die Varianten gegenübergestellt. Es werden die Investitions- und Betriebskosten sowie die zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergiebedarfe und -faktoren dargestellt. Für alle Varianten wurden jeweils zwei verschiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmt. Die bilanziellen CO<sub>2</sub>-Emissionen beruhen auf der Grundlage, dass das Wohngebiet den Plus-Energie-Status einhält. Die für die Wärmebereitstellung benötigten Energien werden in diesem Szenario rein aus dem im Quartier erzeugten PV-Strom gedeckt. In der Bestimmung der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden für den genutzten Wärmepumpen- und

Hilfsenergiestrom spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen des deutschen Strommix angewendet. Für die ermittelten Primärenergiebedarfe und Primärenergiefaktoren wird die Methode nach FW309-1 verwendet. Diese berücksichtigt den eingesetzten Strom und im Falle des zentralen Netzes mit BHKW die Stromgutschriften aus der KWK.

Neben den betrachteten monetären Vergleichsebenen ist als Vorteil für die Varianten 3, 4, 7 und 8 zu beachten, dass diese Versorgungsmöglichkeiten eine sommerliche passive Gebäudekühlung ermöglichen. Diese Möglichkeit setzt kaum zusätzliche Investitionen voraus, da viele Wärmepumpen mit dieser Technik ausgestattet sind. Die passive Gebäudekühlung ist am Komfort nicht mit handelsüblichen Klimageräten vergleichbar, benötigt allerdings bedeutend geringeren energetischen Aufwand und setzt keine gebäudetechnischen Maßnahmen voraus.



Tabelle 4.12: Vergleich der Varianten 1 bis 8 (alle genannten Kosten zzgl. MwSt.)

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7a	Variante 7b	Variante 8
	dezentral				zentral Nahwärmenetz		zentral "kalte Nahwärme"	Wie 6a ohne MZH und Spa	Zentral „kalte Nah- wärme“
	Brennwert-Hei- zung mit Solar- thermie	Luft-/Wasser- Wärmepumpe	Sole-/Wasser- Wärmepumpe	Eisspeicher	Biomasse	BHKW	Erdsondenfeld	Erdsondenfeld	Eisspeicher
Energieträger	Erdgas	Umweltwärme	Geothermie	Umgebungs- und Erdwärme, Kristallisa- tionsenergie	Holz	Biomethan	Geothermie	Geothermie	Umgebungs- und Erd- wärme, Kristallisationse- nergie
Investitionskosten	13.700 €	14.000 €	20.000 €	25.600 €	1.562.045 €	1.406.795 €	2.806.230 €	2.493.430 €	2.227.186 €
Mögliche Fördermittel	- €	- 4.900 €	- 7.000 €	- 8.960 €	- 216.600 €	- 194.440 €	- 676.375 €	- 591.675 €	- 442.575 €
<b>Investitionskosten nach Förderung</b>	13.700 €	9.100 €	13.000 €	16.640 €	1.345.445 €	1.212.355 €	2.129.855 €	1.901.755 €	1.784.611 €
Kapitalkosten	921 €	612 €	874 €	1.118 €	90.435 €	81.489 €	143.160 €	127.828 €	119.954 €
Brennstoff-/ Stromkosten	531 €	779 €	499 €	498,75 €	77.496 €	82.038 €	63.614 €	54.349 €	47.906,36 €
Betriebsführung/ Instandhaltung	383 €	273 €	390 €	499 €	29.079 €	35.142 €	18.614 €	18.253 €	21.341 €
<b>Wärmekosten je EFH pro Jahr</b>	1.834 €	1.664 €	1.763 €	2.116 €	1.887 €	1.846 €	2.309 €	2.278 €	2.149 €
Wärmepreis je kWh Wärme	0,19 €	0,18 €	0,19 €	0,22 €	0,20 €	0,19 €	0,24 €	0,24 €	0,23 €
CO <sub>2</sub> -Emissionen bilanziell	219 t/a	0 t/a	0 t/a	0 t/a	60 t/a	165 t/a	0 t/a	0 t/a	0 t/a
CO <sub>2</sub> -Emissionen absolut	226 t/a	236 t/a	163 t/a	163 t/a	66 t/a	171 t/a	137 t/a	105 t/a	137 t/a
Primärenergiebedarf nach FW309-1	1.214.378 kWh	790.634 kWh	545.265 kWh	545.265 kWh	435.122 kWh	198.776 kWh	458.023 kWh	350.311 kWh	458.023 kWh
Primärenergiefaktor nach FW309-1	1,00	0,65	0,45	0,45	0,36	0,16	0,38	0,38	0,38

#### 4.4 Zielsetzung Energie-Plus-Siedlung

Untersuchungsschwerpunkt war es, ein zentrales Strom- und Wärmeversorgungssystem zu entwickeln, das auf Grundlage erneuerbarer Energien oder von Kraft-Wärme-Kopplung zu einer positiven Energiebilanz führt (sog. Plus-Energie-Standard). Darüber hinaus erfolgte die Untersuchung von dezentralen Maßnahmen zum Einsatz erneuerbarer Energien, ebenfalls unter der Zielsetzung eine positive Energiebilanz zu erreichen.

Die folgenden Bilanzierungen beinhalten jeweils den ermittelten Energiebedarf je nach Gebäude-Standard EnEV 2016 und dem KfW-Effizienzhaus-Standard 55 und 40. Der unterschiedliche Wärmebedarf ergibt sich aus der jeweiligen Gebäudedämmung.

Außerdem wurde der berechnete Haushaltsstrom (s. Kapitel 2.1.2) für das zukünftige Wohngebiet herangezogen. Neben dem Energiebedarf für Strom und Wärme, lässt sich in der Abbildung 22 das Potenzial an erneuerbaren Energien ablesen, welches innerhalb des zukünftigen Wohngebiets erreicht werden könnte. Das Potenzial ergibt sich aus der Stromerzeugung mittels Photovoltaik mit 689.000 kWh im Jahr (s. Kapitel 3).

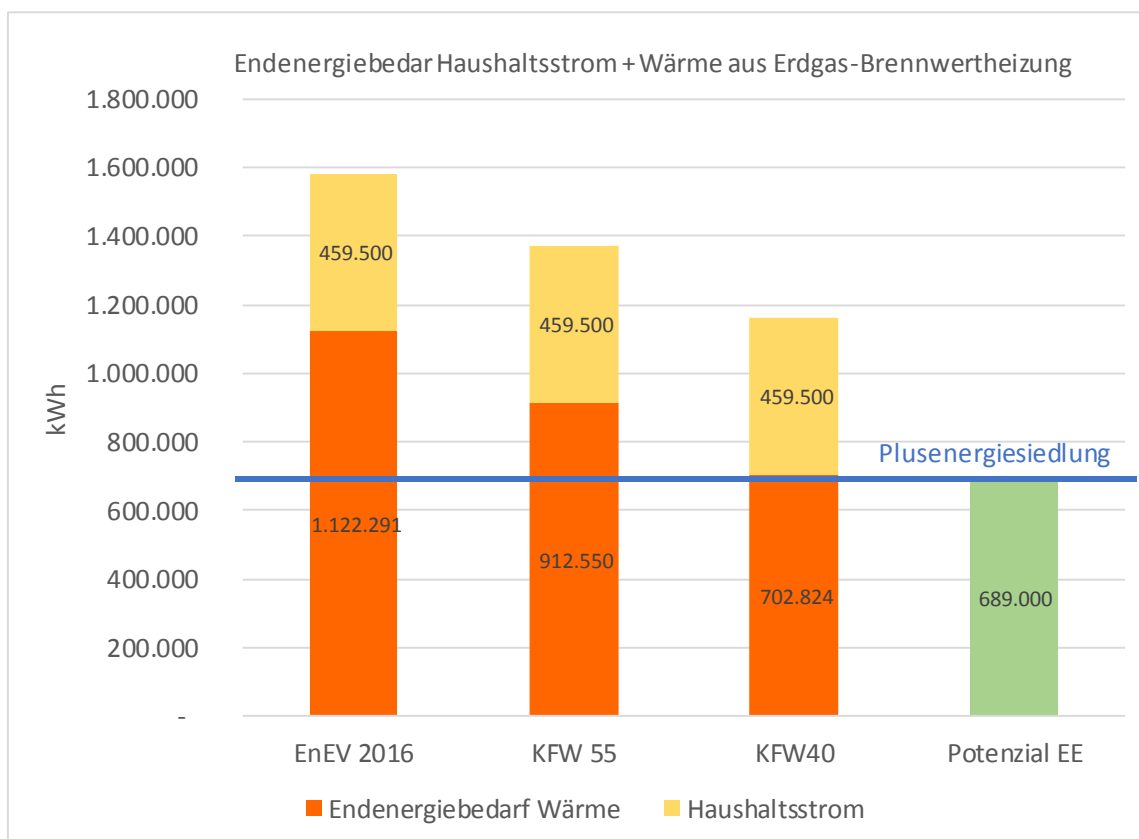


Abbildung 22: Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 1: Erdgas-Brennwertheizung (energielenker GmbH 2020)

Die Abbildung 23 zeigt den ermittelten Strom- und Wärmebedarf sowie das Potenzial der Photovoltaikanlagen. Der größere Heizwärmebedarf, resultiert aus den Wärmeverlusten des Nahwärmenetzes. Das Ziel Plus-Energiesiedlung wird nicht erreicht.

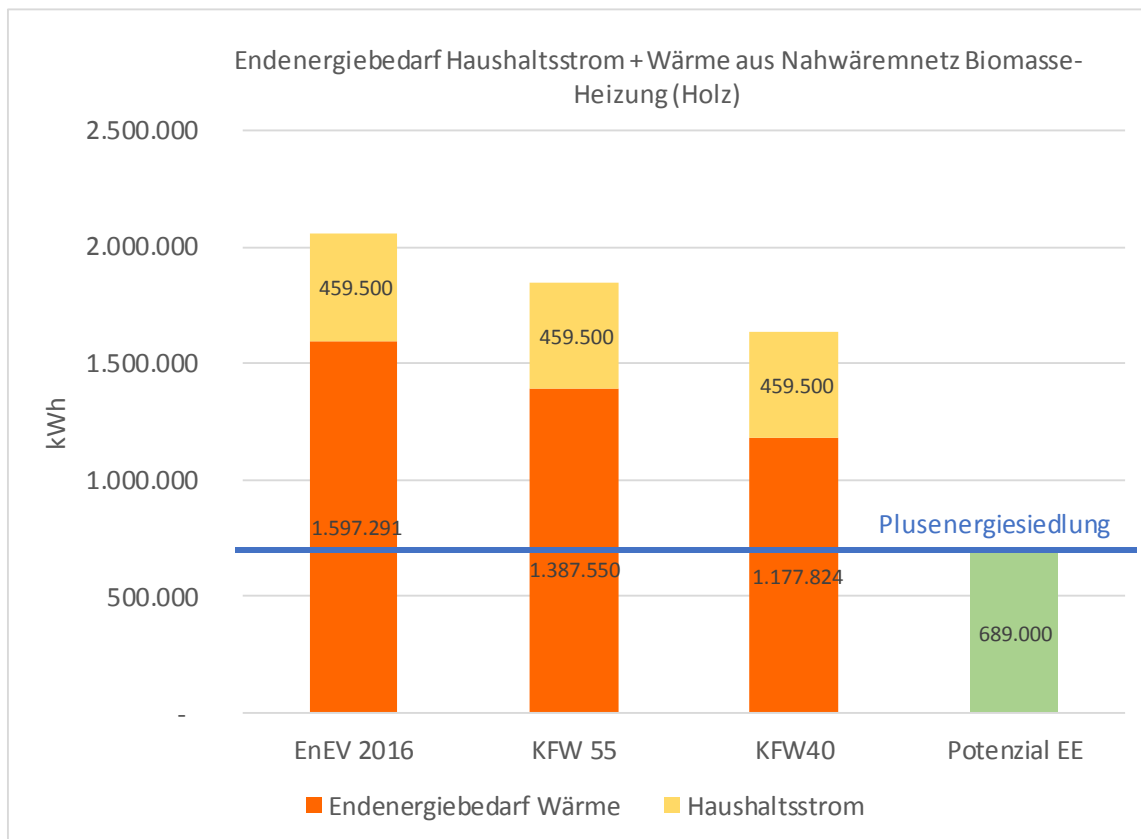


Abbildung 23: Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 5: Nahwärmenetz mit Biomass-ekessel (energielenker GmbH 2020)

Die Versorgungsvariante mit Kraftwärmekopplung (s. Abbildung 24) führt neben dem Energiebedarf des Haushaltsstrom auch den Energieeinsatz (Biomethan) für das BHKW und den Brennstoffeinsatz (Biomethan) durch den Spitzenlastkessel auf. Neben der Strombereitstellung durch die Photovoltaikanlagen wird in dieser Variante auch der erzeugte Strom des BHKWs mitbetrachtet. Dementsprechend erhöht sich sowohl der Energiebedarf als auch das Versorgungspotenzial durch das BHKW. Dennoch wird das Ziel Plus-Energie-Siedlung nicht erreicht.

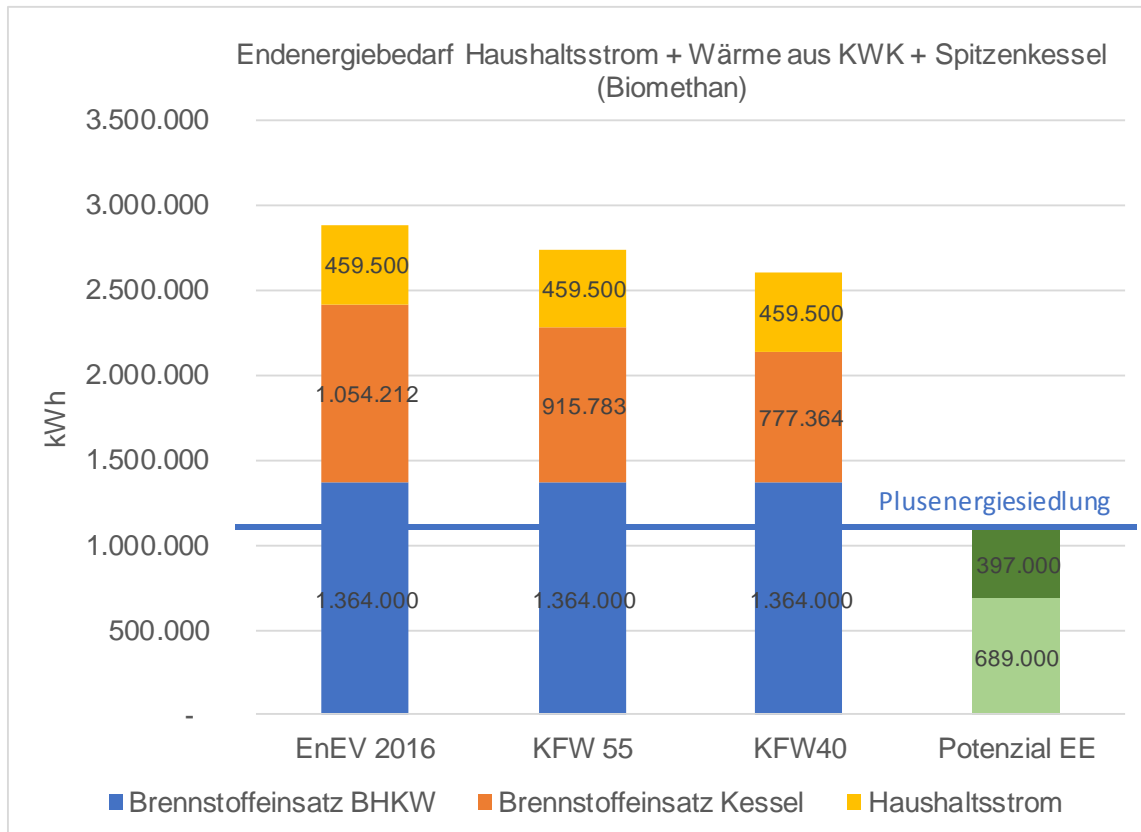


Abbildung 24: Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 6: Nahwärmenetz mit KWK und Spitzenkessel (energielenker GmbH 2020)

Der Wärmeanteil in der Versorgungsvariante mit Luft-Wasser-Wärmepumpen (Abbildung 25) verringert sich, da der Wärmebedarf zum größten Teil aus der Umweltwärme gedeckt werden kann. Anhand der Berechnung lässt sich im Gebäudestandard KfW 40 ein Energieüberschuss durch das Potenzial an erneuerbaren Energien von ca. 10.000 kWh gewinnen. Dieses gilt analog zur Variante 7b, wenn die Mehrzweckhalle und die Sporthalle eine eigene Wärmeversorgung erhalten.

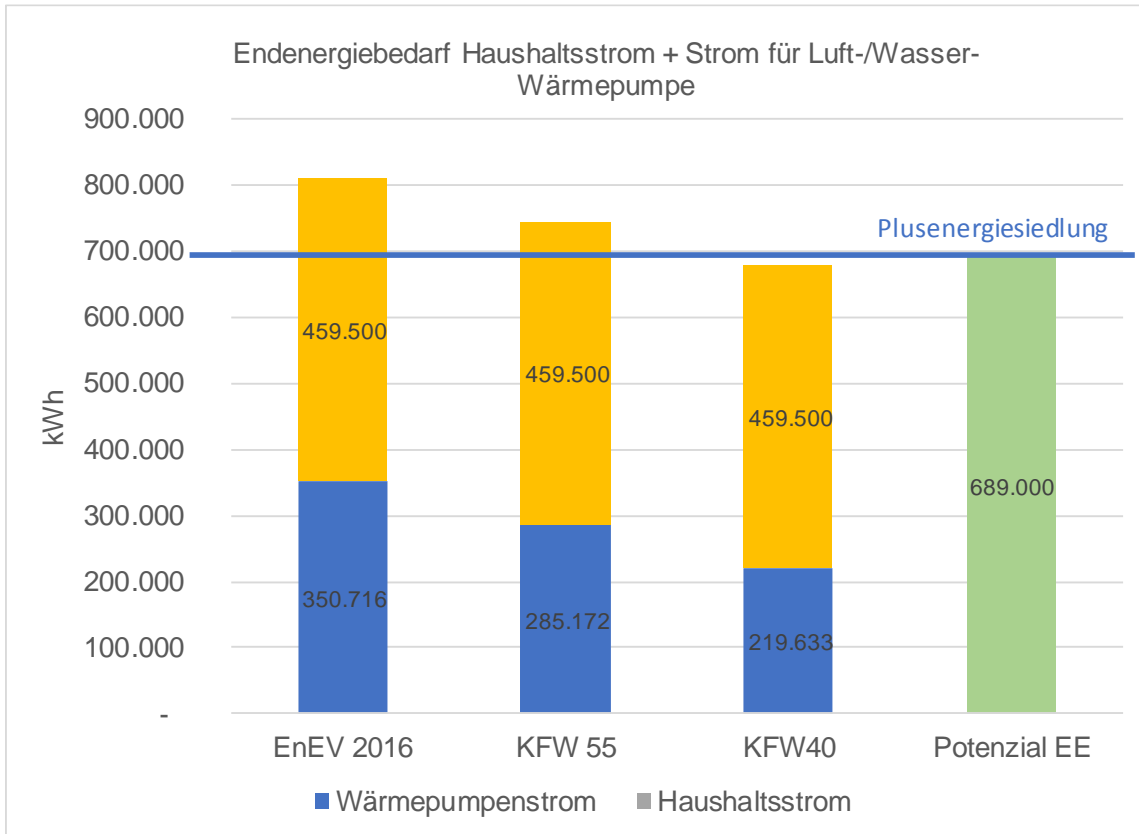


Abbildung 25: Bilanzierung von Variante 2: Haushaltsstrom und Strom für Luft-Wasser-Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020)

In der Variante 7a werden die MZH und die Kreissporthalle über das „kalte“ Nahwärmenetz versorgt. Wie die Abbildung 26 zeigt, reicht das Potenzial an PV-Strom in Verbindung mit der Nutzung der Geothermie nur im KfW40-Standard aus. Es wird ein Energieüberschuss durch das PV-Potenzial von ca. 45.000 kWh erzielt.

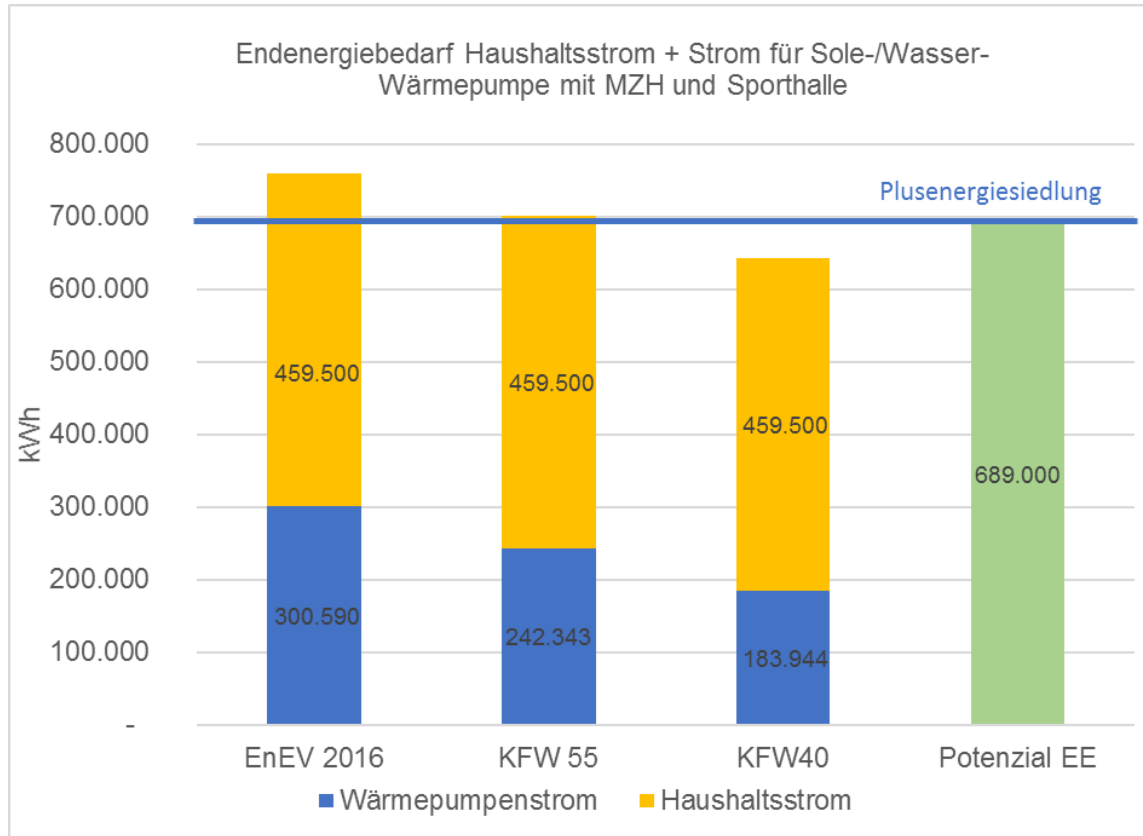


Abbildung 26: Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Sole-/Wasser-Wärmepumpen in Variante 7a (energielenker GmbH 2020)

In der Versorgungsvariante 7b mit Geothermie (Abbildung 27) verringert sich der Strombedarf für die Wärmepumpen, da die „Großverbraucher“ Mehrzweckhalle und Kreissporthalle nicht berücksichtigt werden. In dieser Variante wird das Ziel Energie-Plus-Siedlung für alle energetischen Baustandards erreicht.

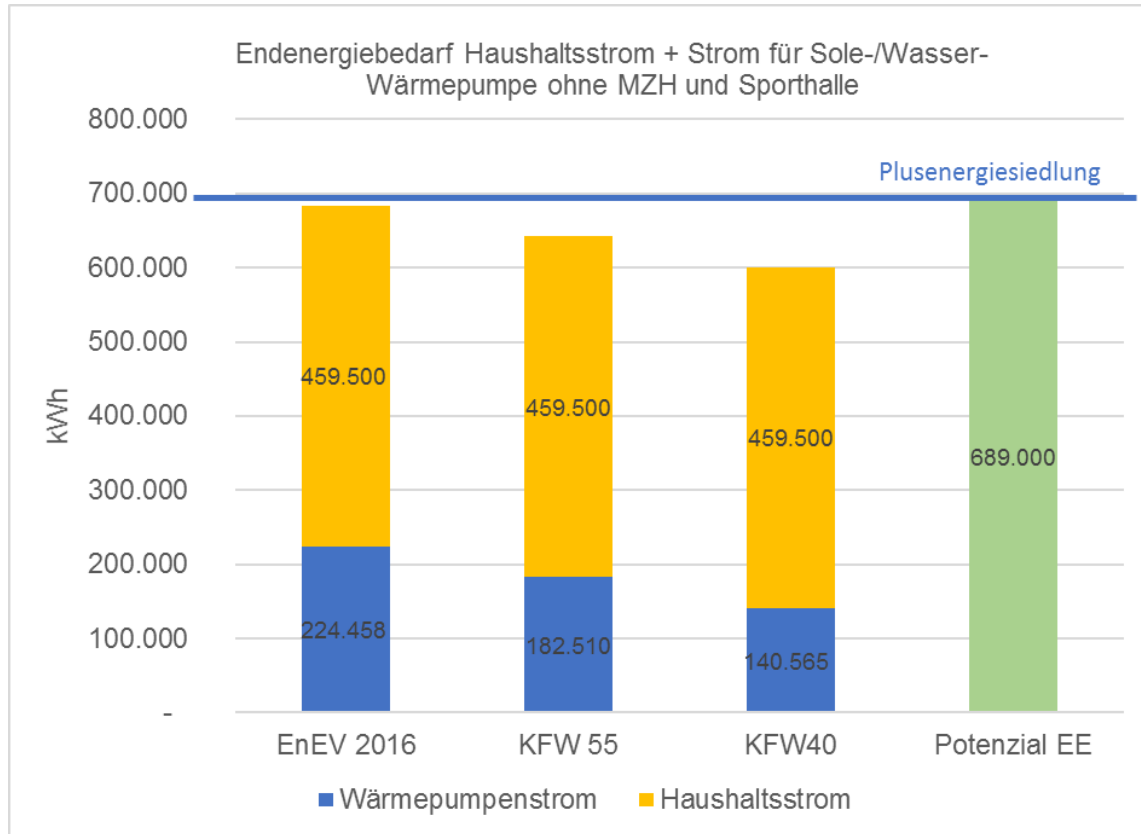


Abbildung 27: Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Sole-Wasser Wärmepumpen in Variante 7b (energielenker GmbH 2020)

Für die Versorgung des Gebiets über Eisspeicher (vgl. Variante 4 und vgl. Variante 8) können ähnliche Jahresarbeitszahlen wie bei der Geothermienutzung angenommen werden. Der Bedarf an Wärmepumpenstrom ist demnach identisch und die Abbildung 27 ebenfalls für die Varianten 4 und 8 anwendbar. Für diese Varianten ist ebenfalls die Realisierung einer Energie-Plus-Siedlung für alle energetischen Baustandards möglich. Ebenso ist die Versorgung im KfW40 Standard bei Versorgung des Quartiers ohne die Hallen im Energie-Plus-Standard möglich.

Anhand der dargestellten Versorgungsmöglichkeiten zur Wärme- und Strombereitstellung kann im Plangebiet „Am Silberbach“ ein Energieüberschuss in den folgenden Versorgungsvarianten erzielt werden:

- Versorgungsvariante 2: Nutzung von Luft-/Wasserwärmepumpen → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 3: Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 3: Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 mit Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 4: Nutzung von Eisspeichern → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 4: Nutzung von Eisspeichern → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 mit Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 7a: Nutzung Geothermie zur Wärmegewinnung → zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“ mit Mehrzweckhalle und Sporthalle und KfW-Effizienzhaus-Standard 40
- Versorgungsvariante 7b: Nutzung Geothermie zur Wärmegewinnung → zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“ ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 8: Nutzung eines Eisspeichers → zentral mit „kaltem Netz“ ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 8: Nutzung eines Eisspeichers → zentral mit „kaltem Netz“ mit Mehrzweckhalle und Sporthalle und KfW-Effizienzhaus-Standard 40

Zu beachten ist, dass in den dargelegten Betrachtungen stets das PV-Potenzial sowohl der Kreissporthalle als auch der Mehrzweckhalle mitbilanziert wurden. Ein Erreichen des Ziels Plus-Energie-Siedlung ist ohne Nutzung dieser Dachflächen nicht möglich.

Die ermittelten Grafen können in Tabelle 4.13 zusammengefasst werden. Die grün-markierten Zellen stellen die Kombinationen aus Versorgungsvariante und baulichem Standard dar, die einen Plus-Energie-Standard im Baugebiet „Am Silberbach“ erreichen.



Tabelle 4.13: Plus-Energie-Bilanz der Versorgungsvarianten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7a	Variante 7b	Variante 8
	dezentral				zentral Nahwärmenetz		zentral "kalte Nahwärme"	wie 6a ohne MZH und Spha	zentral "kalte Nahwärme"
	Brennwert-Heizung mit Solarthermie	Luft-/Wasser-Wär- mepumpe	Sole-/Wasser- Wärmepumpe	Sole-/Wasser- Wärmepumpe Eisspeicher	Biomasse	BHKW	Erdsondenfeld	Erdsondenfeld	Eisspeicher
	Erdgas	Umweltwärme	Geothermie	Erdwärme	Holz	Biomethan	Geothermie	Geothermie	Erdwärme
EnEVmin	-892.791 kWh	-121.216 kWh	5.042 kWh	5.042 kWh	-1.367.791 kWh	-1.791.712 kWh	-71.090 kWh	5.042 kWh	5.042 kWh
KfW55	-683.050 kWh	-55.672 kWh	46.990 kWh	46.990 kWh	-1.158.050 kWh	-1.653.283 kWh	-12.843 kWh	46.990 kWh	46.990 kWh
KfW40	-473.324 kWh	9.868 kWh	88.935 kWh	88.935 kWh	-948.324 kWh	-1.514.864 kWh	45.556 kWh	88.935 kWh	88.935 kWh

## 5 Speichertechnologien

Neben der Wende in der Stromproduktion, rückt der Energiebedarf im Gebäudebereich mehr und mehr in den Vordergrund. Der Gebäudebereich und damit insbesondere der Energieeinsatz in den eigenen vier Wänden für Heizung und Warmwasser, hat einen Anteil von ca. 35 % am gesamten Endenergieverbrauch der Bundesrepublik. Kernziel ist es, diese Bedarfe zunehmend mit erneuerbaren Energien und effizient zu decken.

Diese zunehmend komplexen Rahmenbedingungen an Energieerzeugung und -verbrauch, erfordern neben dem klassischen Netzausbau, flexible und planbare Stromerzeuger. Zudem müssen die volatilen Erzeugungen aus Wind und Sonne vorgehalten und im Bedarfsfall abrufbar sein oder Verbräuche flexibilisiert werden. Sowohl Strom als auch Wärme müssen, abhängig vom Erzeugungskonzept, sicher und auf Abruf bereitgestellt werden können. Dafür sind Energiespeicher in der zukünftigen Energieversorgung unabdingbar.

Im städtebaulichen Bereich und zukunftssträchtigen Wohnsiedlungen müssen Energiespeicher ein fester Bestandteil des Energiesystems darstellen. Dabei ist irrelevant, ob die Energieversorgung zentral oder dezentral bereitgestellt wird. In beiden Varianten sind entsprechende Energiespeicher zu beachten und dabei jeweils Wärme- und Stromspeicher.

Aktuell existieren eine Vielzahl an verschiedenen Speichertechnologien mit unterschiedlichem Technik- und Erfahrungsstand (s. Abbildung 28, gestrichelt: Für Eigenheime und Quartiere relevant). Zu betrachten sind vorab grundsätzlich Kriterien wie Speicherkapazität, Speicherdauer und Speicherleistung. Die unterschiedlichen Technologien zeichnen sich dabei durch verschiedene Wirkprinzipien aus und müssen für spezifische Anwendungsgebiete detailliert betrachtet werden.

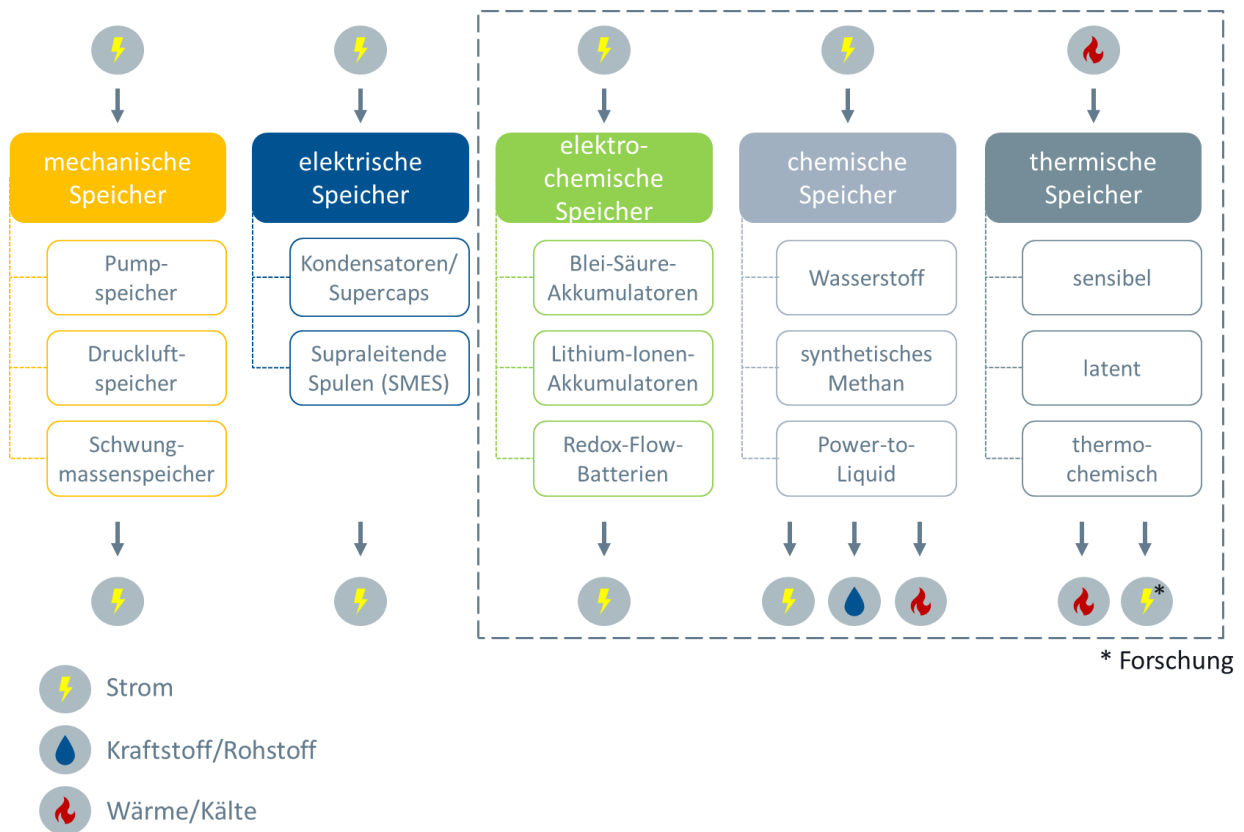


Abbildung 28: Überblick Speichertechnologien (energielenker GmbH 2020)

## 5.1 Wärmespeicher

Wärmespeicher (auch thermische Speicher) können in sensible, latente und thermochemische Speicher klassifiziert werden. Sensible Wärmespeicher speichern Energie durch die Veränderung der fühlbaren Temperatur eines Speichermediums. Als Speichermedium werden häufig Flüssigkeiten eingesetzt, allerdings sind auch Feststoffe und Gase möglich und einsetzbar. Als häufigstes Speichermedium wird Wasser verwendet. Wasser besitzt eine hohe spezifische Wärmekapazität, ist umweltfreundlich und günstig verfügbar.

Im Gegensatz zu sensiblen Wärmespeichern nutzen latente Wärmespeicher neben der fühlbaren Wärme eines Speichermediums auch die Phasenwechselenergie des Mediums. Dafür werden Phasenwechselmaterialien (Phase Change Material, PCM) genutzt. Während des Phasenwechsels wird die zu- oder abgeführte Energie bei konstanter Temperatur gespeichert. Durch die Nutzung des Phasenwechsels können auch bei kleinen Temperaturunterschieden hohe thermische Energien gespeichert werden. Dadurch haben latente Wärmespeicher gegenüber sensiblen Wärmespeichern eine deutlich höhere Speicherdichte, ermöglichen also

eine hohe Speichermenge auf kleinerem Raum. Durch die Verwendung spezieller Phasenwechselmaterialien haben latente Wärmespeicher höhere Investitionskosten. Die aktuelle Forschung sucht stetig nach geeigneten und zugleich kostengünstigen Materialien. Derzeit finden Eisspeicher, Paraffinspeicher und Thermobatterien praktische Anwendung.

Thermochemische Speicher nutzen die zu speichernde Wärmemenge für endotherme chemische Reaktionen und speichern diese so in Form von chemischer Energie. Die Ausspeicherung erfolgt über entsprechende exotherme Umkehrreaktionen. Durch die chemische Speicherung können sehr hohe Energiespeicherdichten und lange Speicherzeiträume erzielt werden. Thermochemische Speicher befinden sich aktuell in der Forschungs- und Erprobungsphase. Sie stellen aktuell keine Option für praktische Anwendungen im Privatsektor dar.

Für den Einsatz von Wärmespeichern bei einer dezentralen Quartiersversorgung, können die oben genannten Speicherformen grundsätzlich eingesetzt werden. Die Möglichkeiten der Speicherung sind stets abhängig vom verwendeten Versorgungskonzept. Dabei muss der Stand der Technik der genannten Speichertechnologien im Einklang mit der Wirtschaftlichkeit stehen. Aktuell stellen lediglich sensible Warmwasserspeicher sowohl für Heizungs- als auch für Trinkwarmwasser solche Konzepte dar. Für die zentrale Wärmeversorgung einer Wohnsiedlung, können ein kaltes Nahwärmenetz und ein konventionelles Nahwärmenetz betrachtet werden. Für das kalte Nahwärmenetz wird kein zentraler Wärmespeicher benötigt. In den einzelnen Haushalten kann ein Heizpufferspeicher nach der Wärmepumpe installiert werden, häufig ist allerdings die sensible Speicherfähigkeit der Fußbodenheizung bereits ausreichend für Puffervorgänge. Wird ein warmes Versorgungsnetz vorgesehen, muss ein zentraler Pufferspeicher integriert werden. Dieser fängt Lastspitzen ab, steigert die Versorgungssicherheit und fördert den schonenden Betrieb der Wärmeversorgungsanlage. Aktuell werden für zentrale Wärmespeicher sensible und latente Wärmespeicher eingesetzt.

Neben der Speicherung von hohen Temperaturen können ebenfalls Speicher für tiefe Temperaturen, beispielsweise sogenannte Eisspeicher, eingesetzt werden. Eisspeicher nutzen die sensible Wärmekapazität von Wasser und die Kristallisationsenergie. Eisspeicher dienen als saisonale Speicher. Während der Heizperiode dient das Speichermedium als Wärmequelle für Wärmepumpen. Daher fungieren Eisspeicher weniger als Energiespeicher im herkömmlichen Sinn, sondern als Energiequelle. Eisspeicher sind sowohl dezentral (vgl. Variante 4) als auch zentral (vgl. Variante 8) einsetzbar.

## 5.2 Stromspeicher

Stromspeicher dienen zur kurz-, mittel-, und langfristigen Speicherung elektrischer Energie. Sie können nach der Art und Weise ihres Wirkungsprinzips in elektrische, mechanische, elektrochemische und chemische Speicher unterteilt werden.

Zu den elektrischen Speichern gehören Spulen und Kondensatoren, diese werden zur kurzfristigen Speicherung eingesetzt, um Netzschwankungen auszugleichen oder kommen für technische Anwendungen mit Reaktionszeiten im Millisekundenbereich zum Einsatz. Zur Anwendung in einem Wohnquartier sind elektrische Stromspeicher ungeeignet.

Mechanische Speicher sind beispielsweise Pumpspeicher, Druckluftspeicher oder Schwungmassenspeicher. Pumpspeicherkraftwerke speichern elektrische Energie als potenzielle Höhenenergie, indem Wasser, unter Einsatz von Strom, auf ein höheres geodätisches Niveau gehoben wird. Da diese Art der Speicherung vorrangig in einem sehr großen Maßstab rentabel ist (Bsp. Stauseen), sind Pumpspeicherkraftwerke für den hier vorgesehenen Anwendungsfall ungeeignet. Eine ähnliche Technologie namens Hubspeicher (auch Lageenergiespeicher) speichert elektrische Energie ebenfalls als potenzielle Energie, indem ein Festkörper schwimmend auf einem variierenden Wasserspiegel gelagert wird. Durch Pumpen und Turbinen wird der Speicher be- und entladen. Aufgrund des hohen Platzbedarfs für den Schwimmkörper und des aktuell geringen Forschungsstands, ist auch diese Variante keine Option für das Wohnquartier. Gleichermaßen verhält es sich mit Druckluftspeichern die Luft, mittels elektrischer Verdichter, unter hohem Druck einspeichern und bei Bedarf in Turbinen ausspeichern. Schwungmassenspeicher speichern Energie in Form von kinetischer Rotationsenergie einer Schwungmasse. Diese kann sehr schnell abgerufen werden, daher dienen Schwungmassenspeicher häufig als Notstromversorgung. Für eine längerfristige Speicherung ist aufgrund der Reibung, die Selbstentladung zu hoch und die Technologie daher für ein Wohnquartier aus wirtschaftlicher Sicht unattraktiv.

Die bekannteste und verbreitetste Form der Stromspeicherung stellt die elektrochemische Speicherung dar. Dazu zählen Akkumulatoren (oder Batterien). Sie stellen eine eher mittlere Kapazität und Speicherdauer bereit und eignen sich daher gut für Haushalts- und Quartiersanwendungen. Den aktuellen Stand der Technik bilden Blei-Säure- und Lithium-Ionen-Batterien, wobei Lithium-Ionen-Batterien mittlerweile, durch die Mobilfunkentwicklung und zuletzt der Elektroautomobilentwicklung, den Großteil des Marktes ausmachen. Für den Hausbereich gibt es zahlreiche Batteriespeicher von diversen Herstellern. Durch die rasante Entwicklung

sanken die Preise in den letzten Jahren kontinuierlich. Neben den klassischen Batterien rücken Redox-Flow Batterien mehr und mehr in den Fokus. Diese nutzen flüssige Speichermedien, die getrennt von der Zelle vorliegen. Dadurch kann die gespeicherte Energiemenge unabhängig von der Zelle beliebig variiert werden. Durch die räumliche Trennung der Elektrolyte (Speichermedium) findet zudem keine Selbstentladung statt. Die Elektrolyte werden in separaten Tanks gelagert und stellen dadurch entsprechende Platz- und Gewichtsanforderungen. Aktuell werden daher Redox-Flow Batterien auf Vanadium Basis hauptsächlich im stationären, zentralen Bereich eingesetzt. Einige Hersteller bieten aber auch Lösungen für den Privatgebrauch an. Der Großteil der Technologie befindet sich aktuell allerdings im Entwicklungsstadium. Daher können kaum Aussagen zu Langzeitproblemen und Haltbarkeit gemacht werden. Dennoch haben Redox-Flow Batterien den Vorteil gegenüber Lithium-Ionen-Batterien, dass keine Degradation der Kapazität einsetzt. Auch nach Jahren des Betriebs verfügen sie über die Kapazität wie am ersten Tag, anders als beispielsweise Mobiletelefone oder Laptops. Außerdem lassen sie sich deutlich leichter recyceln. Aktuell werden Alternativen für Vanadium gesucht, um die Vorteile der Redox-Flow Technologie zukünftig wirtschaftlich umsetzen zu können. Dann könnten diese optimal für Quartiere eingesetzt werden.

Neben den genannten Möglichkeiten kann Strom ebenfalls in chemischer Form gespeichert werden. Dafür wird mittels Elektrolyse aus Wasser und elektrischem Strom Wasserstoff produziert und damit die Energie langfristig speicherbar. Der Wasserstoff kann direkt in Brennstoffzellen rückverstromt oder in weiteren Umwandlungsschritten weiterverarbeitet werden. Diese Speicherform von Strom wird als Power-to-Gas bezeichnet. Neben der Speicherung in Gas, kann der Strom in flüssige Energieträger (Power-to-Liquid) oder in Form von Wärme (Power-to-Heat) gespeichert werden. Die generelle Speicherung von elektrischer Energie durch die chemische Umwandlung wird als Power-to-X bezeichnet. Der Power-to-X Prozess ermöglicht so eine langfristige Speicherung in flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen mit hoher Energiedichte. Nachteile bei der chemischen Umwandlung sind die jeweiligen Umwandlungsverluste. Für großtechnische Power-to-X Anwendungen reichen die erzeugten Strommengen der PV-Anlagen im Wohngebiet nicht aus, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Neben großtechnischen Anlagen gibt es bereits auch Anwendungen für Wohngebäude, die als Komplettkonzept funktionieren. Darin enthalten sind Komponenten zur Erzeugung, Speicherung und Rückverstromung von Wasserstoff aus elektrischem Strom. Durch die Speicherung innerhalb der eigenen vier Wände kann eine gewisse Autarkie und Notstromsicherheit erzielt werden. Diese Systeme werden von einzelnen wenigen Unternehmen angeboten, die mit hohen Investitionskosten verbunden sind. Ohne den persönlichen Mehrwert der

Autarkie und Notstromversorgung sind diese aktuell nicht wirtschaftlich umzusetzen. Zudem kommt es auch hier zu Umwandlungsverlusten.

### 5.3 Bewertung

Für die Entwicklung des Neubaugebietes „Am Silberbach“ wird ein Plus-Energie-Konzept angestrebt. Anhand der ermittelten Daten für Wärme- und Stromverbrauch sowie energetischen Potenzialen, kommen als dezentrale Versorgungskonzepte eine Versorgung über Geothermie (Sole-Wasser-Wärmepumpen) und Umweltwärme (Luft-Wasser-Wärmepumpen) und eine zentrale Wärmeversorgung mittels kaltem Nahwärmenetz, welches über ein Erdsondenfeld versorgt wird, in Frage. Da ein konventionelles Wärmenetz mit von außen eingebrachten Energieträgern den Plus-Energie-Standard nicht umsetzen kann, ist der Einsatz eines zentralen Wärmespeichers nicht erforderlich. Auf dezentraler Ebene kann in den Haushalten ein Wärmespeicher vorgesehen werden. Da der Wärmebedarf in beiden Versorgungsvarianten über Wärmepumpen bereitgestellt wird, kann der Pufferspeicher genutzt werden, um überschüssigen Strom der PV-Anlagen aus den Mittagsstunden für den Betrieb der Wärmepumpe bereitzustellen. Der Pufferspeicher wird in den Sonnenstunden beladen und erhöht dadurch die Eigennutzung des PV-Stroms. Da konventionelle, sensible Wasserspeicher erprobt, kostengünstig und wirtschaftlich betrieben werden können, ist der Einsatz von dezentralen Wasser-Pufferspeichern naheliegend.

Um den nötigen Plus-Energie-Standard im Wohngebiet „Am Silberbach“ zu erreichen, ist die Installation von PV-Anlagen auf allen Dachflächen vorgesehen. Mit dem Hintergrund der steigenden Strombezugskosten und sinkenden Einspeisevergütungen wird ein hoher Eigenverbrauch des produzierten PV-Stroms immer entscheidender. Für die Realisierung eines möglichst hohen Eigenbedarfs sind dezentrale Stromspeicher oder ein zentraler Quartiersspeicher vorzusehen. Aus technischer und ökologischer Sicht sind zentrale Quartiersspeicher sinnvoller und wirtschaftlicher als viele Einzelspeicher, da Skaleneffekte genutzt werden können. Zudem kann der Großspeicher netzdienliche Dienstleistungen erbringen. Zum einen kann der Speicher zur Stabilität des lokalen Netzbetriebs beisteuern. Zum anderen sind Leistungen innerhalb des Quartiers möglich, wie Peak-Shaving oder die Teilnahme am Regelenergiemarkt. In zahlreichen Pilotprojekten werden die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen solcher Quartiersspeicher untersucht. Diese können aus technischer Sicht größtenteils als positiv bewertet werden, allerdings sind diese Projekte selten wirtschaftlich. Da es keine klare Definition von Batteriespeichern im energiewirtschaftlichen Recht gibt, ergeben sich viele organisatorische und rechtliche Unklarheiten. Zudem werden nach aktuellem Recht, Speicher

als Letztverbraucher eingestuft. Dadurch werden für den Endkunden doppelte Netzentgelte fällig. Alternativ müsste im gesamten Quartier ein separates Stromnetz angelegt werden, dass neben dem öffentlichen Netz existiert. Die europäische Union hat Anfang 2019 beschlossen diese Doppelbelastung aufzuheben. Bisher wurde diese Forderung im deutschen Recht nicht umgesetzt, daher ist eine Prognose schwer zu formulieren. Neben den rechtlichen Schwierigkeiten muss bei solchen Quartiersprojekten immer die Frage nach dem Betreiber und dem Investor gestellt werden.

In Hessen wird aktuell ein neues Geschäftsmodell mit Quartiersspeichern eingeführt. Nach erfolgreicher Test- und Erprobungsphase wird in der Stadt Groß-Umstadt ein neuer zentraler Stromspeicher installiert. Der Regionalversorger Entega AG betreibt den Speicher und ermöglicht die Anmietung einer gewissen monatlichen Speicherkapazität. Der Speicher dient als Tagesausgleich. Durch den zentralen Speicher entfallen für den Hausbesitzer hohe Investitionskosten und Risiken. Ein solches Konzept kann auch für das Gebiet „Am Silberbach“ in Betracht gezogen werden. Der Betreiber des Konzepts, die Entega AG, ist auch im Bereich Glashütten als Regionalversorger tätig. Die Bereitschaft ein solches Konzept wie am Beispiel Groß-Umstadt auch in Glashütten umzusetzen, muss im Austausch mit der Entega AG ermittelt werden. (Projektinformationen: <https://www.entega.ag/quartierspeicher>)

Als alternative zu einem Quartierspeicher ist der dezentrale Einsatz von Batteriespeichern in jedem Haushalt möglich. Dieser kann den Eigenbedarf des erzeugten PV-Stroms erhöhen und damit das Ziel der Plus-Energie-Siedlung unterstützen. Für die Bewertung der möglichen PV-Stromgewinne werden unterschiedliche Anordnungen und Neigungswinkel der Module verglichen. Dieser Vergleich kann der folgenden Tabelle 5.1 entnommen werden. Dabei ist jede Ausrichtung- Neigung- Kombination zweifach ausgeführt, einmal mit und einmal ohne Speicher.



Tabelle 5.1: Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; mögliche Stromgewinne (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020)

Ausrichtung	Neigung Dachfläche	Neigung Modul	Lastprofil	Modulfläche	Leistung	Speicher	Stromproduktion	Deckungsgrad	Eigenstromnutzung	Investition
	[°]	[°]		[m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kWh]	[kWh/a]	[%]	[%]	[€]
Süd-Süd-Ost	40	40	Haushalt	55	7,1	0	7201	33%	27%	9.124 €
Süd-Süd-Ost	40	40	Haushalt	55	7,1	6	7201	53%	55%	15.524 €
Ost West +	40	40	Haushalt	108	14	0	10362	40%	23%	15.582 €
Ost West +	40	40	Haushalt	108	14	8	10362	72%	42%	23.112 €
Süd-Süd-Ost	0	30	Haushalt	45	5,8	0	6154	31%	30%	7.453 €
Süd-Süd-Ost	0	30	Haushalt	45	5,8	6	6154	50%	49%	13.853 €
Ost West +	0	10	Haushalt	88	11,4	0	10600	40%	23%	13.657 €
Ost West +	0	10	Haushalt	88	11,4	8	10600	72%	41%	21.187 €

Die ermittelten Daten stammen aus dem Solar-Kataster-Hessen und wurden für ein durchschnittlich geplantes Einfamilienhaus mit ca. 130 m<sup>2</sup> Grundfläche ermittelt. Abbildung 29 zeigt das Plangebiet im Solar-Kataster.

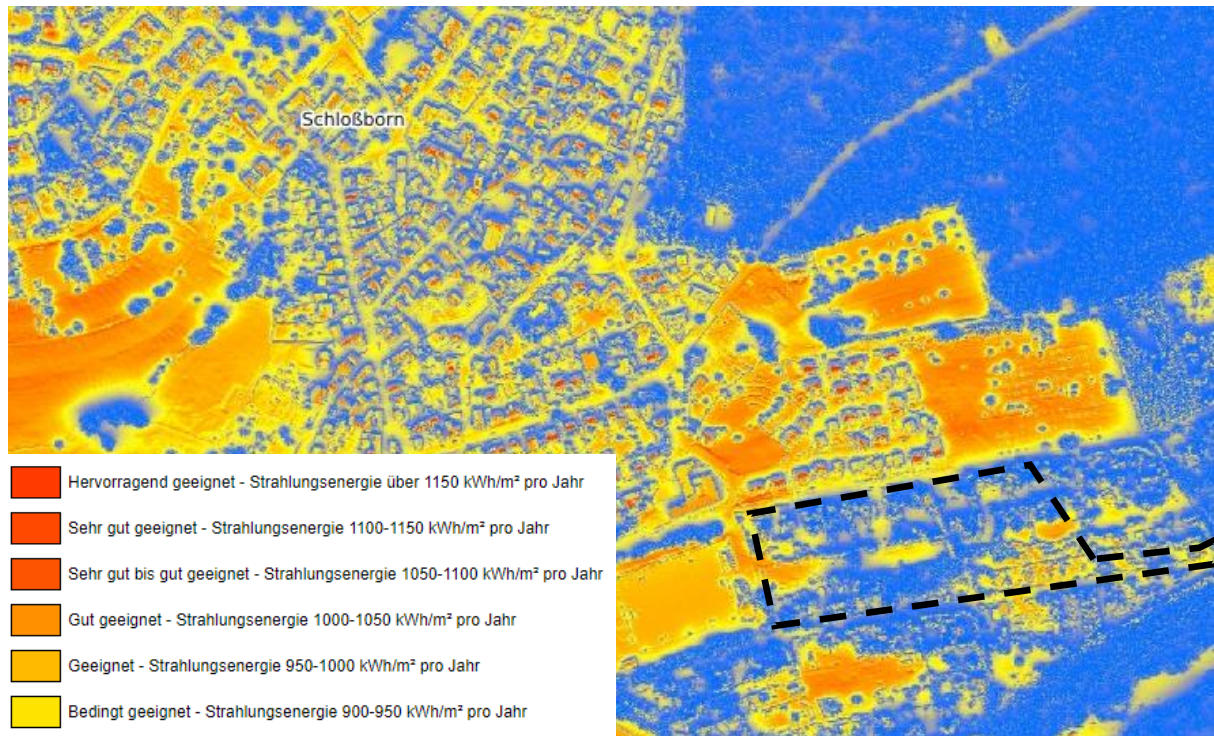


Abbildung 29: Darstellung Plangebiet im Solar-Kataster

Annahmen für mögliche Dachgestaltungen stammen aus dem Bebauungsplan des Gebietes (Stand: 26.01.2020). Der Bebauungsplan sieht Dachneigungen von maximal 40°, Pultdächer mit maximal 15° und Flachdächer mit maximal 5° Neigung vor. Neben den allgemeinen Anlagendaten wie Anlagengröße, Wirkungsgrad, Anlagenpreis, Laufzeit usw. hat der Eigenverbrauch bzw. die Eigenstromnutzung Auswirkungen auf den Ertrag einer PV-Anlage. Der Eigenverbrauch nimmt an Bedeutung zu, da die EEG-Vergütung in den vergangenen Jahren stetig sank. Generell gilt, dass die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage umso größer ist, je höher der Anteil des selbstverbrauchten Stroms ist. Eine Möglichkeit den Eigenverbrauch zu steigern ist die Nutzung eines Speichers. Für eine zukunftsorientierte, nachhaltige Energieversorgung ist ebenfalls die Verbindung zur Mobilität entscheidend. So können Elektrofahrzeuge mit „eigenem“ Strom aus der PV-Anlage betankt, der Eigenverbrauch erhöht und damit die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage verbessert werden. Eine detaillierte Betrachtung des Einflusses der Mobilitätsaspekte sind dem Kapitel 7 zu entnehmen.

Die Auswertung zeigt für ein Standard-Einfamilienhaus mit der Hangausrichtung Süd-Süd-Ost ein PV-Potential von ca. 7 kWp. Das entspricht einer jährlichen Stromproduktion von ca. 7.200 kWh bei einer Eigenstromnutzung von 27 %. Eine entsprechende Anlage kann sich innerhalb von 13 Jahren amortisieren, mit Annahme aktueller EEG-Umlage und Strombezugs-kosten. Durch den Einsatz eines Speichers kann der im eigenen Haushalt genutzte Strom auf

bis zu 55 % erhöht werden. Die zusätzlichen Investitionskosten für den Speicher verlängern jedoch die Amortisationszeit auf ca. 18 Jahre. In Hinblick auf steigende Strombezugskosten und sinkende Einspeisevergütungen kann sich der Speicher früher amortisieren und zudem die Unabhängigkeit von zukünftigen Preissteigerungen erhöhen. Alternativ zu einer nach Süden ausgerichteten Photovoltaik-Anlage können Satteldächer nach Osten und Westen ausgerichtet werden und die gesamte Dachfläche mit Solarmodulen bebaut werden. Durch die fehlende Südausrichtung sinken spezifische Erträge, allerdings verlagert sich die Stromproduktion mehr in die Morgen- und Abendstunden wodurch die Eigenstromnutzung, speziell im Hinblick auf den Einsatz einer Wärmepumpe, erhöht wird.

Durch die Einflüsse des Nutzerverhaltens und der Gebäudegeometrie ist eine optimale Ausrichtung und Konfiguration der PV-Anlagen im Gebiet „Am Silberbach“ individuell zu ermitteln. Die Auswertung der Daten aus dem hessischen Solar-Katasters zeigen ein gutes bis sehr gutes PV-Potential für die Region. Eine flächendeckende Installation von Photovoltaik-Anlagen im Einfamilienhaus-Bereich ist im Hinblick auf das Ziel der Plus-Energie-Siedlung zu empfehlen.

Für die Mehrfamilienhäuser im Quartier ergeben sich folgende Daten.

Tabelle 5.2: Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; Stromgewinne MFH (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020)

Ausrichtung	Neigung Dachfläche	Neigung Modul	Modulfläche	Leistung	Speicher	Stromproduktion	Deckungsgrad	Eigenstromnutzung	Investition
	[°]	[°]	[m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kWh]	[kWh/a]	[%]	[%]	[€]
Süd	0	30	142	18,4	0	19093	27%	52%	15.626 €
Süd	0	10	218	28,3	0	21863	29%	49%	23.381 €
Ost + West	0	10	276	35,8	0	32754	38%	43%	36.874 €

Im Bereich WA2 werden Mehrfamilienhäuser mit Flachdächern vorgesehen. Für die Installation von PV-Anlagen auf Flachdächern ist der Aufstellwinkel entscheidend. Der minimale Aufstellwinkel muss ca. 10° betragen, um entsprechende Selbstreinigungseffekte zu nutzen. Bei der Aufständigung der Module muss eine gegenseitige Verschattung vermieden werden, wodurch die gesamte Modulfläche sinkt. Alternativ zu einer Aufständigung nach Süden, können die Module abwechselnd nach Osten und Westen installiert werden, um eine größere Fläche nutzen zu können. Durch diese Art der Aufständigung können deutliche Ertragsvorteile

erzielt werden. Diese stehen dem erhöhten Investitionsaufwand aufgrund der höheren Modulzahl gegenüber. Aus ökologischer Sicht und unter dem Aspekt zur Erreichung des Ziels einer Plus-Energie-Siedlung wird eine Ost-West Aufständigung empfohlen.

### Handlungsempfehlung

Im Wohnquartier „Am Silberbach“ können sinnvoll, zukunftssträftig und wirtschaftlich dezentrale Strom- und Wärmespeicher eingesetzt werden. Diese ermöglichen eine hohe Eigennutzung des PV-Stroms und wirken sich positiv auf die Gesamtenergiebilanz des Wohngebietes aus. Dafür werden marktgängige Lithium-Ionen Batteriespeicher und Pufferspeicher empfohlen. Für die aktuellen Stromspeicherkosten ist mit einer Investition von ca. 8.000 € für einen 10 kWh Speicher zu rechnen. Neben der reinen Speicherung von Energie kann ebenfalls der Einsatz von Eisspeichern in Betracht gezogen werden. Diese ersetzen dezentrale Geothermieanwendungen wie Erdsonden und Flächenkollektoren und dienen daher als Energiequelle. Eisspeicher werden aktuell marktreif angeboten. Sie erfordern zur Regeneration im Sommer eine Energiezufuhr. Diese wird über Solar-Luft-Absorber bereitgestellt. Der zusätzliche Platzbedarf der Solar-Luft-Absorber wirkt sich negativ auf die Photovoltaikflächen aus. Alternativ gibt es Kombinationen aus PV und Solar-Luft-Absorbern, sogenannte „Kraftdächer“, diese nutzen Synergieeffekte beider Technologien und steigern jeweils den Wirkungsgrad, erhöhen allerdings die Investitionskosten. Die Verwendung eines Eisspeichers muss im Einzelanwendungsfall geprüft werden.

Für die Verwendung eines zentralen Stromspeichers stellt das Projekt der Entega AG, am Beispiel Groß-Umstadt, eine Option dar. Für die mögliche Realisierung eines solchen Quartiersspeichers im betrachteten Gebiet „Am Silberbach“, muss die Bereitschaft der Entega AG zur Umsetzung in Erfahrung gebracht werden.

## 6 Smart Grid

Der Begriff „Smart Grid“ steht für ein intelligentes Stromnetz. Unter einem intelligenten Stromnetz versteht man ein Netz indem ein Informationsaustausch erfolgt. Der Informationsaustausch ermöglicht eine dynamische Steuerung von Stromerzeugung, Verbrauch und Speicherung. Abbildung 30 verdeutlicht die Komponenten und Kommunikationswege die für ein Smart Grid entscheidend sind.



Abbildung 30: Grafische Zusammenfassung Smart Grid (Quelle: Smart City – Made in Germany, Etezadzadeh, Chirine)

Um die erforderlichen Informationen bereitzustellen müssen alle Hausanschlüsse innerhalb eines Verbundnetzes mit sogenannten Smart Metern ausgestattet werden. Da eine solche Smart Meter Pflicht bereits 2015 von der Bundesregierung beschlossen wurde, werden alle Haushalte im Wohngebiet „Am Silberbach“ mit einem solchen Smart Meter ausgestattet sein. Damit ist bereits der Grundstein für ein Smart Grid im lokalen Verbundnetz gelegt. Neben der Datenerhebung muss ebenfalls eine entsprechende Dateninfrastruktur und zentrale Steuerungszentrale vorgesehen werden. Für die erforderliche Dateninfrastruktur können gängige

Möglichkeiten wie Glasfasernetze, Powerline, Funknetzwerke oder LoRaWAN in Betracht gezogen werden. Da das Quartier neu erschlossen wird, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Glasfasernetz installiert werden, welches daher ebenfalls für den Datentransfer des Smart Grids genutzt werden kann. Neben Informationen der Endverbraucher sind Informationen über das Netz an sich entscheidend, deshalb ist es notwendig, das Netz mit entsprechender Sensorik auszustatten, um frühzeitig Probleme zu lokalisieren, identifizieren und zu lösen.

Aktuell werden Smart Grids in Forschungsprojekten untersucht und deren Potenzial für den zukünftigen Energiemarkt analysiert. Ein wichtiges Förderprogramm stellt dabei das Projekt „Schaufenster intelligenter Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) dar. Das Projekt wird von vom BMWi und privaten Investoren gefördert. Das Ziel ist es praxisnah Lösungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung bei hohen Anteilen an fluktuierender Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie zu entwickeln. Das Projekt SINTEG begann 2017 und läuft über vier Jahre. Erkenntnisse und Ergebnisse aus diesem Projekt können nach Abschluss des Projektes für das betrachtete Quartier adaptiert werden. Dafür ist es entscheidend bereits frühzeitig die nötigen Grundlagen im Gebiet sicherzustellen.

## 7 Zukunftsorientierte Mobilität

Im Rahmen der Erarbeitung des Energieversorgungskonzeptes „Am Silberbach“ für die Gemeinde Glashütten spielt, neben der klimagerechten Bauweise und der Energieversorgung auch das Thema Mobilität eine wichtige Rolle, wenn es um die Einsparung von Energie und THG-Emissionen geht. Denn der Verkehrssektor war im Jahre 2018 mit einem Anteil von 19 % der der drittgrößte Verursacher von THG-Emissionen in Deutschland (vgl. BMU 2019). Davon wiederum macht allein der Pkw-Verkehr rund 60% der THG-Emissionen aus, u. a. da die Fahrleistung weiter ansteigt und fossile Kraftstoffe weiterhin dominieren (vgl. BMU 2019).

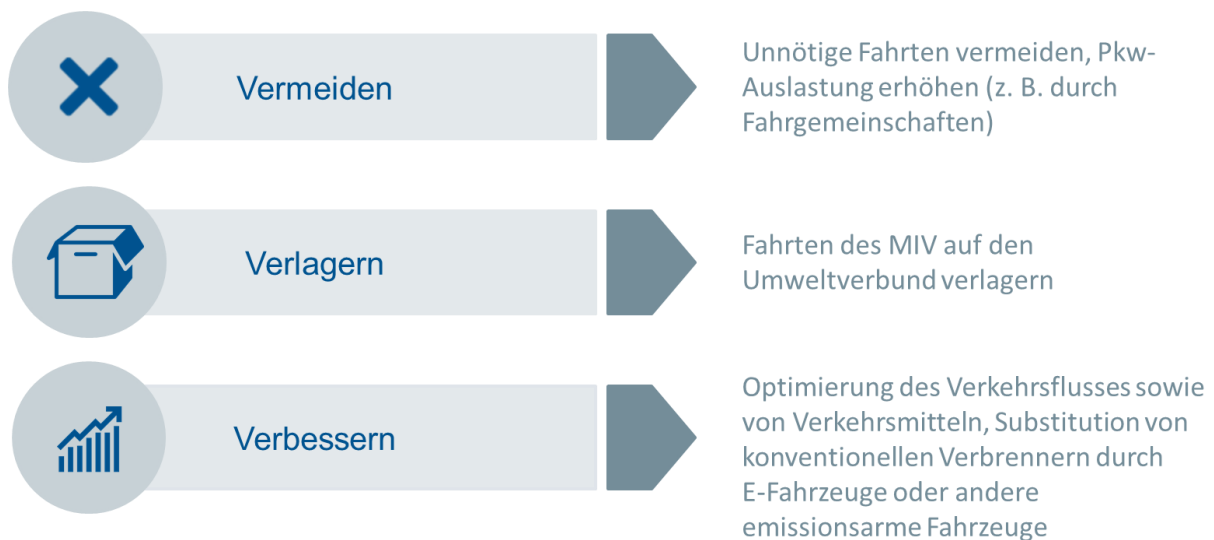


Abbildung 31: Strategien einer nachhaltigen Mobilität (energielenker GmbH 2020).

Insbesondere in Neubauquartieren sollten daher die Grundlagen für eine nachhaltige Mobilität geschaffen werden. Dazu kann auf die nachfolgend dargestellten grundsätzlichen Strategien einer nachhaltigen Mobilität zurückgegriffen werden (s. Abbildung 31):

- **Vermeiden:**
  - Siedlungsstrukturen (auch im ländlichen Raum) sollten dem Leitbild einer „Stadt der kurzen Wege“ folgen, um unnötige Fahrten zu vermeiden (d. h. bspw. fußläufige Erreichbarkeit von Einrichtungen des täglichen Bedarfs, attraktive Fuß- und Radwegeverbindungen in den Ortskern);
  - Zudem sollte versucht werden, die Auslastung bei Pkw-Fahrten zu erhöhen; dies kann z. B. über die Förderung von Fahrgemeinschaften erfolgen
- **Verlagern:**
  - Wohnsiedlungen sollten eine fußläufig erreichbare ÖPNV-Anbindung aufweisen, um den Umstieg vom MIV auf den Umweltverbund zu fördern
- **Verbessern:**
  - Der Einsatz von E-Fahrzeugen (z. B. über eCarSharing im Quartier) sollte gefördert werden, um die Entwicklung der E-Mobilität zu unterstützen;

- Installation von E-Ladeinfrastruktur im Quartier zur Förderung von E-Fahrzeugen ist insbesondere in stärker verdichteten Quartieren (z. B. Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser) sinnvoll

Um diese Strategien umzusetzen ist die Beteiligung zahlreicher Akteure, wie beispielsweise der Gemeindeverwaltung, der Wohnungswirtschaft, CarSharing-Anbietern oder dem Energieversorger wichtig (s. Abbildung 32). Die Gemeindeverwaltung hat insbesondere Steuerungsmöglichkeiten in den Bereichen Schaffung kompakter Siedlungsstrukturen und attraktiver Rad- und Fußwegeverbindungen. Zudem kann sie zusammen mit dem Energieversorger die Installation von öffentlicher Ladeinfrastruktur initiieren und vorantreiben. Die Wohnungswirtschaft kann in Kooperation mit CarSharing-Anbietern steuernd im Bereich CarSharing und Ladeinfrastruktur, bspw. auf den Grundstücken von Mehrfamilienhäusern eingreifen. Energieversorger können in Zusammenarbeit mit der Gemeindeverwaltung und Anwohnern Standorte für öffentliche Ladeinfrastruktur festlegen. Diese ist insbesondere an viel und dauerhaft frequentierten Orten, wie der Mehrzweck- oder der Kreissporthalle sinnvoll.

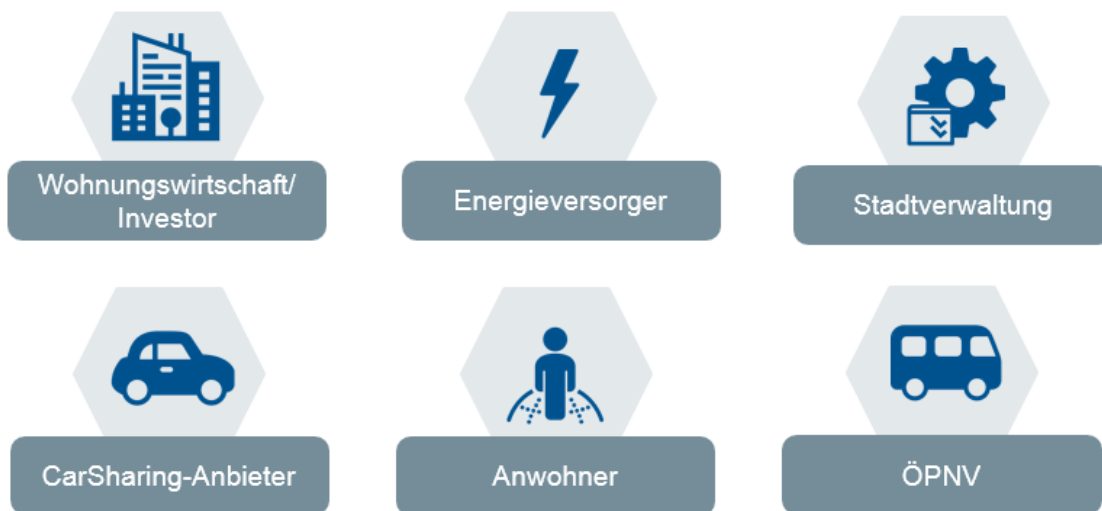


Abbildung 32: Relevante Akteure im Bereich nachhaltige Mobilitätsentwicklung im Quartier (energielenker GmbH 2020).



## 7.1 Variantenbetrachtung zur Reduktion des Endenergiebedarfes und der THG-Emissionen

Um abschätzen zu können, wie sich der Endenergiebedarf des Verkehrssektors im Quartier entwickeln könnte und wie hoch der zukünftige Strombedarf von E-Fahrzeugen sein kann, werden nachfolgend Szenarien dargestellt. Sie zeigen auf, wie sich in Zukunft die Fahrleistungen und die damit verbundenen Energiebedarfe von Verbrennern und E-Fahrzeugen im Quartier unter bestimmten angenommenen Rahmenbedingungen verändern können. Dazu wird zunächst ein Basisszenario entwickelt, das den verkehrsinduzierten Endenergiebedarf und die THG-Emissionen darstellt, die entstehen würden, wenn die Bewohner des Neubaugebietes ein ähnliches Mobilitätsverhalten annehmen würden, wie die derzeitige Bevölkerung der Gemeinde Glashütten.

### Basisszenario „weiter wie bisher“

Zur Bilanzierung der verkehrsinduzierten Endenergiebedarfe und die THG-Emissionen wurden die Kfz-Melddaten der Gemeinde Glashütten über den potenziellen Anteil der Einwohner im Neubaugebiet (Annahme: 314 Einwohner) berechnet. Annahme des Basisszenarios ist, dass die Bewohner des Neubaugebietes ein ähnliches Mobilitätsverhalten aufweisen wie die Bewohner der Gemeinde Glashütten (→ gleicher Pkw-Besatz).

Für das Neubaugebiet ergibt sich somit eine Gesamtzahl von 287 Kfz, die sich auf 261 privat genutzte Pkw und 26 Krafträder (private Nutzung) belaufen. Über die durchschnittliche Verteilung der Kraftstoffarten in Hessen des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) und durchschnittliche Jahresfahrleistungen des Deutschen Instituts für Wirtschaftsförderung (DIW) wurden somit die Jahresverbräuche an Kraftstoffen ermittelt und in MWh umgerechnet. Bei der Zusammensetzung dominieren nach wie vor Pkw, die fossile Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel nutzen, elektrisch betriebene Pkw gibt es nur einen im Neubaugebiet.

Zusammenfassend beläuft sich der verkehrsbezogene Kraftstoffbedarf im Basisszenario auf 2.547 MWh/a, was einen Primärenergiebedarf von 3.137 MWh/a und THG-Emissionen von 848 t/a verursacht.

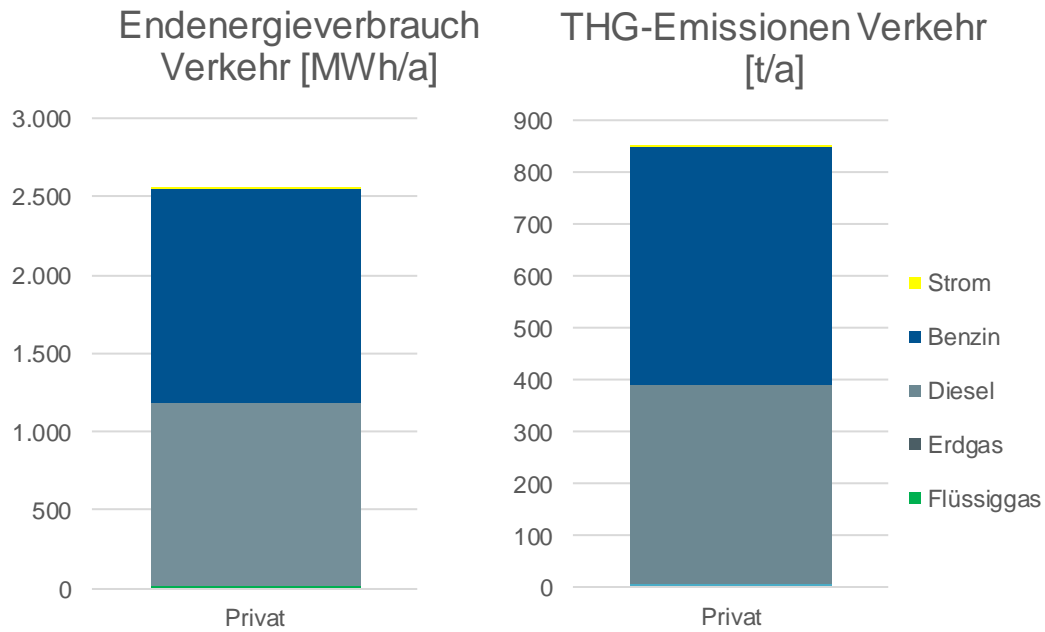


Abbildung 33: Endenergieverbrauch (links) und THG-Emissionen (rechts) des Verkehrs. (energielenker GmbH 2020)

Die folgenden Tabellen zeigen die einzelnen, kraftstoffbezogenen Verbräuche und Emissionen des Verkehrssektors für das Basisszenario.

Tabelle 7.1: Basisszenario - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).

Kraftstoff	Endenergieverbrauch [MWh/a]	Primärenergieverbrauch [MWh/a]	THG-Emissionen [t/a]
Benzin	1.353	1.704	459
Diesel	1.176	1.411	383
Flüssiggas	14	15	5
Erdgas	3	4	1
Strom	1	2	1
<b>Summe</b>	<b>2.547</b>	<b>3.137</b>	<b>848</b>

## Szenario „vermeiden und verlagern“

Als Berechnungsgrundlage für das Szenario „vermeiden“ wird das Basisszenario herangezogen und die durchschnittliche Jahresfahrleistung des MIV um 15 % reduziert (vgl. Öko-Institut et al. 2015). Es wird davon ausgegangen, dass der MIV zu Gunsten des Umweltverbundes reduziert wird. Darüber hinaus unterstützen die folgenden planerischen und regulatorischen Umsetzungsmaßnahmen die THG-Einsparungen:

- Es wird eine umfassendere Änderung des Mobilitätsverhaltens jüngerer Menschen vorausgesetzt:
  - Personen besitzen weniger einen eigenen Pkw, sondern nutzen stattdessen vermehrt Car-Sharing-Angebote
  - der intermodale Verkehrsanteil erhöht sich, wobei hier das Fahrrad als Verkehrsmittel eine zentrale Rolle spielt.
- Weitere Annahmen:
  - eine erhöhte Auslastung der Pkw (erhöhte Besetzungsgrade)
  - Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs (MIV)
- Rückgang der Personenverkehrsnachfrage: es findet eine Verkehrsverlagerung zum Fuß- und Radverkehr statt (vgl. Öko-Institut et al. 2015).

Insgesamt bleibt der Pkw-Besatz von 914 Fahrzeugen pro 1.000 Einwohnern jedoch bestehen. Dies führt dazu, dass auch der Flächenbedarf für den ruhenden Verkehr zunächst gleichbleibt. Allein für die Pkw im Gebiet fallen somit Flächen von insgesamt 4.573 m<sup>2</sup> an.

Die folgenden Tabellen zeigen die einzelnen kraftstoffbezogenen Verbräuche und Emissionen des Verkehrssektors für das Szenario „vermeiden und verlagern“. Im Vergleich zum Basisszenario können so 128 t (rund 15 %) der THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 7.2: Szenario „vermeiden und verlagern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).

Kraftstoff	Endenergieverbrauch [MWh/a]	Primärenergieverbrauch [MWh/a]	THG-Emissionen [t/a]
Benzin	1.150	1.449	390
Diesel	1.000	1.200	326
Flüssiggas	12	13	3
Erdgas	3	3	1
Strom	1	2	0
<b>Summe</b>	<b>2.165</b>	<b>2.666</b>	<b>720</b>

### Szenario „vermeiden, verlagern und verbessern“

Als Berechnungsgrundlage für das Szenario „vermeiden, verlagern und verbessern“ wird das Szenario „vermeiden und verlagern“ herangezogen und die Fahrleistungsanteile von E-Fahrzeugen erhöht (vgl. Öko-Institut et al. 2015: 223 ff). Von den 261 privat genutzten Pkw im Neubaugebiet wird im Basisszenario nur ein Fahrzeug mit Strom betrieben. Für das Szenario „verbessern“ wurde angenommen, dass 26 E-Pkw (ca. 9 %) im Quartier vorhanden sind.<sup>4</sup>

Wie im Szenario zuvor bleibt der Pkw-Besatz von 914 Fahrzeugen pro 1.000 Einwohnern jedoch bestehen. Dies führt dazu, dass auch der Flächenbedarf für den ruhenden Verkehr zunächst gleichbleibt. Allein für die Pkw im Gebiet fallen somit Flächen von insgesamt 4.573 m<sup>2</sup> an.

Die folgenden Tabellen zeigen die einzelnen energieträgerbezogenen Verbräuche und Emissionen des Verkehrssektors für das Szenario „verbessern“. Im Vergleich zum Basisszenario

---

<sup>4</sup> Hinweis: Die Anzahl der E-Fahrzeuge ergibt sich aus dem überschüssigen regenerativ erzeugten Strom im Quartier (s. Kap. V2G).

können so 163 t (rund 19 %) der THG-Emissionen eingespart werden. Wird der für die E-Mobilität verwendete Strom regenerativ (bspw. über die PV-Anlagen im Quartier) erzeugt, können 184 t (rund 22 %) der THG-Emissionen eingespart werden.

Tabelle 7.3: Szenario „verbessern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).

Kraftstoff	Endenergieverbrauch [MWh/a]	Primärenergieverbrauch [MWh/a]	THG-Emissionen [t/a]
Benzin	979	1.233	332
Diesel	1.000	1.200	326
Flüssiggas	12	13	3
Erdgas	3	3	1
Strom	47	93	23
Summe	2.040	2.542	685

Eine Übersicht über die Berechneten Szenarien und ihre THG-Emissionen gibt folgende Abbildung 34.

### Vergleich der Szenarien - THG-Emissionen in t

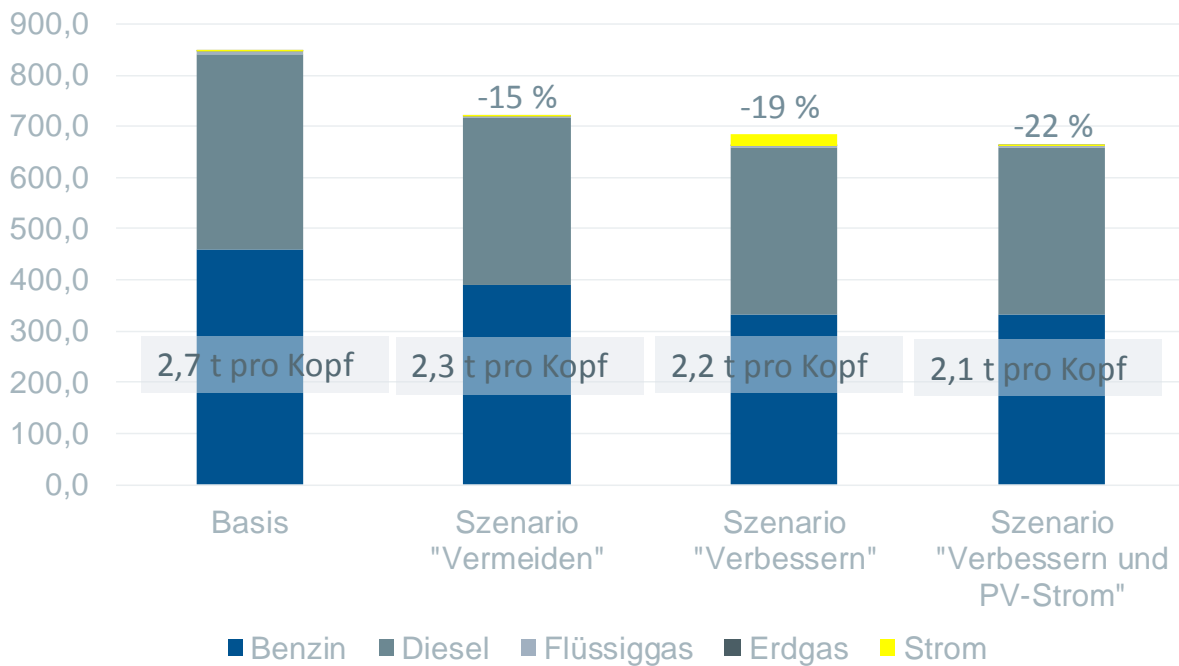


Abbildung 34: Szenarien im Vergleich (energielenker GmbH 2020).

Tabelle 7.4: Szenarien im Vergleich – THG-Emissionen nach Energieträgern, Angaben in t (energielenker GmbH 2020)

Energieträger (THG-Emissionen in t)	Basisszenario	Szenario "Vermeiden"	Szenario "Verbessern"	Szenario "Verbessern und PV-Strom"
Benzin	458,5	389,8	331,8	331,8
Diesel	383,4	325,9	325,9	325,9
Flüssiggas	5,0	3,1	3,1	3,1
Erdgas	0,8	0,7	0,7	0,7
Strom	0,4	0,4	23,4	2,3
<b>Summe</b>	<b>848,3</b>	<b>719,9</b>	<b>684,9</b>	<b>663,9</b>
<b>Reduktion in % im Vergleich zum Basisszenario</b>		<b>15%</b>	<b>19%</b>	<b>22%</b>

## 7.2 Maßnahmen zur Verringerung von Lärmemissionen und Luftschadstoffen sowie des MIV-Aufkommens

Zur Förderung einer nachhaltigen und klimagerechten Mobilität und zur Erreichung der voran beschriebenen Einsparungspotenziale im Bereich Verkehr könnten/ sollten im Neubaugebiet „Am Silberbach“ folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

### Verkehrsberuhigte Bereiche

Im gesamten Wohngebiet sollten verkehrsberuhigte Bereiche zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Förderung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum umgesetzt werden. Dies wurde bereits im Rahmen der B-Plan-Begründung so angedacht. Hier heißt es auf Seite 18: „Der Bebauungsplan setzt zur Sicherung der verkehrlichen Erschließung innerhalb des Plangebietes gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 11 BauGB Verkehrsflächen mit der besonderen Zweckbestimmung Verkehrsberuhigter Bereich fest.“. Diese geplante Form der Erschließung trägt durch ihren Charakter (→ Ausbaubreiten und Verkehrsberuhigung) zu einer Förderung der Nahmobilität im Quartier bei. Erschließungsanlagen über die Haupteerschließung hinaus werden somit auch aufgrund der Größe des Plangebietes als nicht notwendig angesehen.

### Förderung der Nahmobilität und des Umweltverbundes

Vor dem Hintergrund einer Förderung des Umweltverbundes sollte auf eine gute Erreichbarkeit der bestehenden Bushaltestellen im Nordwesten des Quartiers geachtet werden. Die Strecke aus der Quartiersmitte bis zur Haltestelle beträgt rund 600 m Luftlinie. Aufgrund der Entfernung sollte hier eine attraktive Radwegeverbindung vom westlichen Teil des Quartiers aus in Richtung Gemeindezentrum und der Haltestellen entstehen (gute Beleuchtung auch in den Abendstunden). Dabei sollte auch an den bestehenden Bushaltestellen in Schloßborn auf ausreichend vorhandene Radabstellmöglichkeiten geachtet werden.

### Schaffung von überdachten, hochwertigen Fahrradabstellanlagen im Bereich der Mehrfamilienhäuser (Westen)

An den Mehrfamilienhäusern im westlichen Teil des Neubauquartiers sollten überdachte (ggf. abschließbare), qualitativ hochwertige Fahrradabstellanlagen installiert werden. Nutzer benötigen insbesondere für Pedelecs / E-Bikes (u. a. aufgrund des Wertes und des Gewichtes der Fahrräder) abschließbare und v. a. ebenerdig zugängliche Abstellanlagen.

## Schaffung von (e-)CarSharing-Möglichkeiten im Bereich der Mehrfamilienhäuser

Auf ausgewählten Stellflächen der Mehrfamilienhäuser und/oder auf den öffentlichen Parkplätzen im Nordwesten des Plangebietes sollte eine (e-)CarSharing-Möglichkeit geschaffen werden.

Wohnbauunternehmen, die im Wohngebiet Mehrfamilienhäuser zur Miete anbieten, könnten neben der Vermietung von Wohnungen auch Mobilität als Dienstleistung anbieten. Derartige Modelle existieren bereits in den Niederlanden. Hier werden den Mietern (e-)CarSharing-Fahrzeuge auf den Stellplätzen von Mehrfamilienhäusern durch die Wohnbaugesellschaft bereitgestellt. Die Abrechnung der CarSharing-Nutzung erfolgt entweder anhand von gefahrenen Kilometern oder als „Flatrate“ gekoppelt mit der Miete. Die CarSharing-Fahrzeuge stehen damit allein den Mietern des Objektes und damit einer eingegrenzten Nutzergruppe zur Verfügung. Dies hat den Vorteil, dass durch die soziale Kontrolle weniger Nutzer, die Fahrzeuge in einem besseren Zustand verbleiben.

## Öffentliche Ladeinfrastruktur

Im stärker verdichteten Bereich der MFH im Westen des Neubauquartieres sollte öffentliche Ladeinfrastruktur errichtet werden. Die Ladestation könnte insbesondere durch die Bewohner der Mehrfamilienhäuser genutzt werden, insbesondere dann, wenn das entsprechende Wohnbauunternehmen keine eigene Ladeinfrastruktur auf den Stellplätzen des MFH vorsieht.

## PV-Anlagen mit Speicher und Ladeinfrastruktur

Im Bereich der Einfamilienhäuser und Doppelhaushälften sollten PV-Anlagen mit Pufferspeichern und Ladeinfrastruktur eingesetzt werden. Um die Themen E-Mobilität und erneuerbare Energien zu fördern, könnte der Energieversorger entsprechende Contracting-Angebote entwickeln.



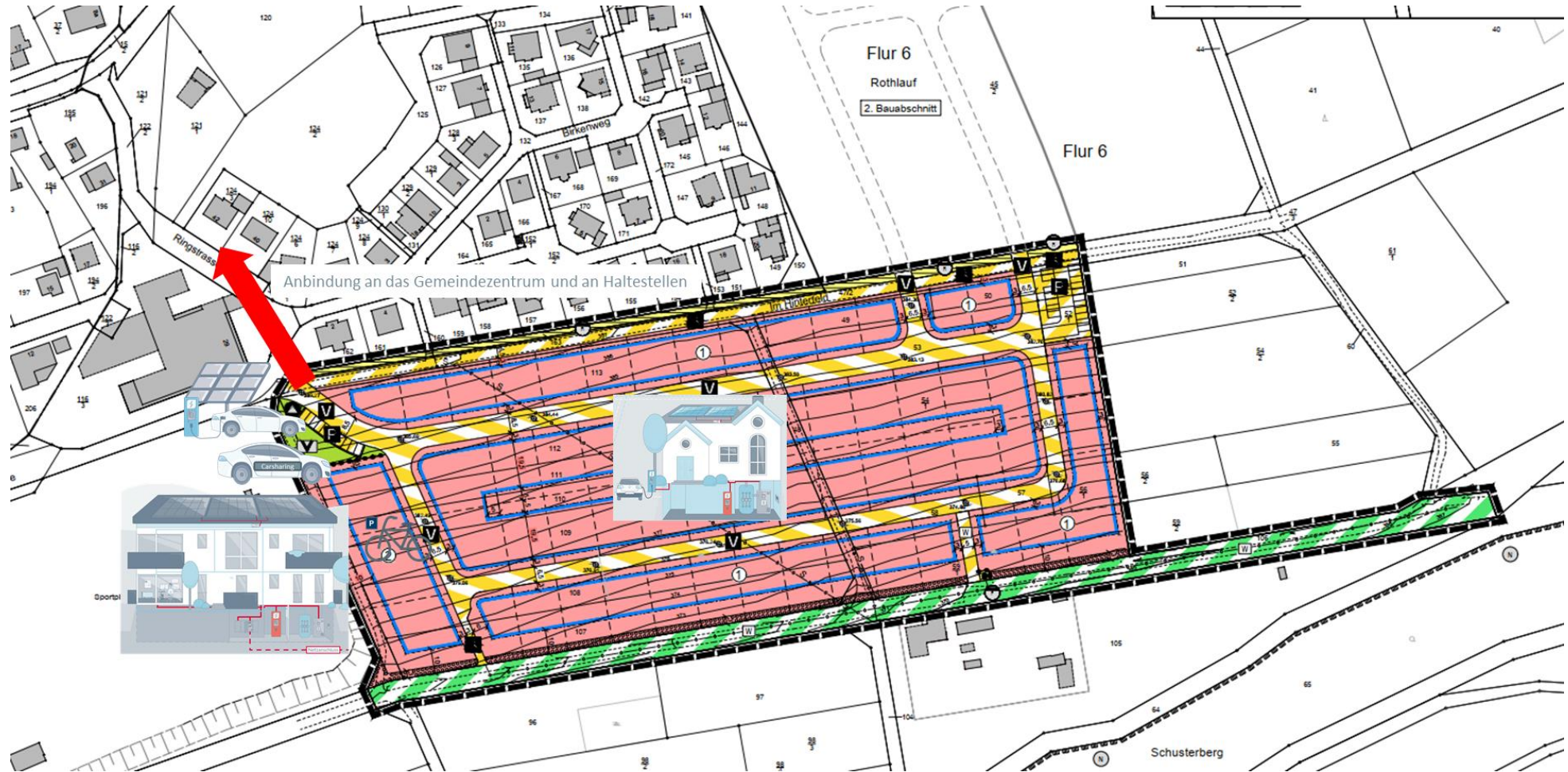


Abbildung 35: Maßnahmen nachhaltiger Mobilität im Quartier (energielenker GmbH 2020 auf Kartengrundlage des Bebauungsplans der Gemeinde Glashütten).

### 7.3 Nutzung von lokal produziertem PV-Strom für E-Fahrzeuge und Möglichkeiten einer Sektorenkopplung

E-Mobilität bringt vor dem Hintergrund des hohen EE-Anteils am Stromverbrauch zwei Vorteile mit sich: Zum einen können durch E-Fahrzeuge, die mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, die THG-Emissionen (insbesondere lokal) reduziert werden. Zum anderen könnten E-Fahrzeuge als kurz- bzw. mittelfristige Zwischenspeicher für den Ausgleich der volatilen Einspeisung der erneuerbaren Energien fungieren. Denn die Verfügbarkeit von Solarenergie ist stark abhängig von den Wetterverhältnissen vor Ort.

Daher wird im nachfolgenden Kapitel E-Mobilität als Stromspeicher, der aktuelle Stand zum Thema Vehicle to Grid (V2G) näher erläutert. Unter Vehicle to Grid wird grundsätzlich ein „Konzept zur Rückspeisung von gespeicherter Energie in Fahrzeugbatterien von reinen Elektroautos und Plug-In-Hybridautos in das elektrische Versorgungsnetz“ (Richter/Steiner 2011) verstanden.

#### Vehicle to Grid (V2G)

Die Energieproduktion war bisher immer eine Angelegenheit großer Versorgungsunternehmen, eingebunden in eine zentrale Netzstruktur. Mit zunehmenden Anteilen erneuerbarer Energien an der Stromproduktion steigt das Problem, mit den stark schwankenden Residuallasten umgehen zu müssen. Die Residuallast beschreibt den Anteil am gesamten deutschen Stromverbrauch, der unabhängig von den unbeständigen Energieträgern Sonne und Wind ist (= der Stromanteil, der nicht regenerativ erzeugt wird). Eine nationale Durchschnittsbetrachtung ist für einzelne Quartiere mit einer hohen Produktion an erneuerbaren Energien, wie dem Neubaugebiet in Glashütten wenig hilfreich. Damit wächst der Druck, flexible Lasten in sektorenübergreifende Smart Grid-Lösungen zu integrieren. Durch ein dezentrales Lastmanagement können Bedarf und Angebot an Energie besser ausgeglichen werden. Diese Art der Netzorganisation wird auch „schlaue Netze“ genannt und zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Dezentralität bietet den Vorteil einer effizienteren Versorgung mit einer transparenten Lastenzuschreibung und Lastenverteilung (vgl. Canzler/Knie 2013).

Eine Möglichkeit, um das Problem mit den stark schwankenden Residuallasten zu lösen, ist die Integration von Elektroautos ins Stromnetz. So ergibt sich ein interessanter Spielraum für den Stromeinspeiser, wenn bspw. bei einer Nachtladung lediglich vereinbart wird, dass morgens um 7:00 Uhr die Batterie des Elektroautos vollständig geladen sein soll, das Fahrzeug

aber bereits ab 21:00 Uhr an der Steckdose hängt. Innerhalb von 10 Stunden kann das Energieversorgungsunternehmen dann gesteuert laden, wenn es zur Stabilisierung den andernorts nicht nachgefragten Strom „loswerden“ möchte.

Die Flexibilität kann durch das bidirektionale Laden nochmals erhöht werden. Bei erhöhtem Strombedarf im Netz kann dann eine Rückspeisung aus der Batterie erfolgen.



Abbildung 36: Integration von Elektroautos in das Stromnetz (WWF/LichtBlick SE 2017).

### "Vehicle to Grid" (V2G) in der Praxis

In einem Feldversuch wurde bereits die Praxistauglichkeit und die Nutzerakzeptanz erprobt: Im Mittelpunkt standen die Potenziale der Elektromobilität in Bezug auf die Integration der erneuerbaren Energien ins Stromnetz. Ferner wurde das natürliche Verhalten der Nutzer in Hinblick auf die Elektromobilität und Steuerbarkeit des Ladeverhaltens untersucht (vgl. Vattenfall 2011).

Des Weiteren wird in Langzeittests die Kopplung von Elektrofahrzeugen mit Photovoltaikanlagen analysiert. Die Fahrzeuge sollen einen Teil ihres Strombedarfs direkt aus den Solarmodulen aufnehmen und somit das Netz in der Mittagsspitze weniger belasten (vgl. Solar).

Insgesamt ist Vehicle to Grid nur umsetzbar, wenn das E-Fahrzeug an die Ladeinfrastruktur angeschlossen ist und die Nutzer mit einer Rückspeisung der Energie ins Netz einverstanden sind. Es ist bisher aber nicht absehbar, in welchem Umfang private Nutzer über das Nachtladezeitfenster hinaus, die Kontrolle über den Ladezeitraum ihres Fahrzeuges abgeben werden. Eine potenzielle Zielgruppe für gesteuertes Laden sind Pendler, die auf Betriebsparkplätzen ihr Fahrzeug ans Netz anschließen und damit zur Absorption der PV-Mittagsspitze beitragen. Weitergehende Chancen eröffnet der professionelle Flottenbetrieb: Sowohl das zeitlich versetzte Puffern als auch das bidirektionale Laden ist deshalb vor allem für Flotten von Unternehmen eine realistische Perspektive, weil diese ein vorausschauendes Lastenmanagement wesentlich einfacher und verbindlicher gewährleisten können, als es durch die individuelle Nutzung bei privaten Pkw möglich ist.

Bei dem vorliegenden Neubauquartier handelt es sich jedoch um ein Allgemeines Wohngebiet mit KiTa. Daher werden die privaten Pkw tagsüber nur bedingt im Quartier verbleiben, da sie durch die Pendler für den Weg zur Arbeit genutzt werden.

Alle Prognosen gehen von sinkenden Batteriepreisen aus. Dies hat zur Folge, dass Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge sinken und zudem Kosten für die Integration von Batteriespeichern in Smart Grids reduziert werden können. Damit würden grundsätzlich Rahmenbedingungen geschaffen werden, die Speicherkapazitäten der Fahrzeuge als Puffer für die fluktuierend einspeisenden regenerativen Energien zu nutzen.

Neben den Anschaffungspreisen ist auch die Lebensdauer der Batteriespeicher für V2G-Konzepte von Bedeutung. Die Batterielebensdauer ist abhängig vom tatsächlichen Alter der Batterie (in Jahren) und der Zyklen-Lebensdauer (Anzahl der möglichen Entladungen und Wiederaufladungen). Herstellerangaben zufolge ist die Lebensdauer der Batterien nicht mehr systemrelevant: Je nach Batterietyp ergibt sich eine Lebensdauer von 8-10 Jahren und bis zu 7.000 Ladezyklen (vgl. FGSV 2018). Das ergibt bspw. bei 3.000 Ladezyklen und einer elektrischen Reichweite von 100 km eine potenzielle Reichweite von rund 300.000 km (vgl. FGSV 2018). Je nach Zyklen-Lebensdauer könnten weitere Ladezyklen durch V2G-Anwendungen genutzt werden, ohne dass dies zu Lasten der Fahrzeugnutzung für Mobilitätszwecke ging. Problematisch ist es jedoch, wenn die Lebensdauer der Batterie durch V2G vor dem Lebensende des E-Fahrzeugs endet und ausgetauscht werden muss. Damit würden sich die Batteriekosten für den Fahrzeugnutzer verdoppeln. Dies wiederum hätte zufolge, dass die Mindesteinnahmen durch V2G (€ pro eingespeiste kWh Strom) sehr hoch angesetzt werden müssten, um eine Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten (vgl. Richter/Steiner 2011).

Ein weiterer Aspekt, der gegen V2G spricht, ist, dass die Lebensdauer einer Batterie ansteigt, wenn diese nur auf 80 % der Maximalkapazität aufgeladen wird. Dementsprechend kann es unter bestimmten Rahmenbedingungen (regelmäßige Pendelstrecken) vorteilhafter für den Nutzer sein, keine V2G-Anwendung zu nutzen (vgl. Richter/Steiner 2011).

Angesichts des hohen Anteils an Strom aus erneuerbaren Energien im Quartier, könnte es vermehrt zu der Situation kommen, dass die Stromproduzenten mehr Strom erzeugen als der Markt benötigt (= negative Residuallast). Welche Bedeutung stationäre Batterien und batterieelektrische Fahrzeuge für die Dämpfung der negativen Residuallast haben können, hängt nicht nur von ihrer Größe, der nutzbaren Kapazität und ihrer Netzfähigkeit, sondern auch davon ab, ob es gelingt, wirtschaftlich tragfähige Puffermodelle zu etablieren. Diese wiederum dürften nur dann zu realisieren sein, wenn genügend Zeitintervalle als Speicheroption vergütet werden.

Insgesamt werden zwar viele Modell- und Forschungsprojekte zum Thema V2G durchgeführt, eine praxisnahe Anwendung scheitert derzeit allerdings noch an der mangelnden Wirtschaftlichkeit des Konzeptes. Vor dem Hintergrund der hohen EE-Stromproduktion im Quartier und einer zunehmenden Anzahl an E-Fahrzeugen, kann das V2G-Modell zukünftig in Einzelfällen Einsatz finden. Denn die Fahrzeuge müssen entsprechend der Stromeinspeisespitzen auch im Quartiersgebiet vorhanden sein.

Dies ist bei einem Quartier, das aus Wohnbebauung besteht, aber nur bedingt der Fall. Darüber hinaus besteht bilanziell nur ein sehr geringes Delta zwischen den Potenzialen des PV-Stroms und des gebäudebezogenen Strombedarfes, so dass für E-Mobilität nur wenig regenerativ erzeugter PV-Strom übrigbleibt (s. nachfolgende Abbildung). Beispielsweise würden unter der Annahme, dass die Gebäude dem KfW 55 Standard entsprechen und Wärmepumpen genutzt werden, bilanziell nur und 21.200 kWh EE-Strom für E-Fahrzeuge im Quartier übrigbleiben. Bei einem durchschnittlichen Strombedarf von rund 20 kWh/100 km, könnten bilanziell mit dem EE-Strom rund 106.000 km im Jahr gefahren und somit rund 11 E-Fahrzeug im Quartier versorgt werden.

Vor dem Hintergrund der zeitlichen Unterschiede bei PV-Stromerzeugung und EE-Stromnutzung beim Ladevorgang der E-Pkw, sollten somit lokale Stromspeicher eingesetzt werden (s. Kapitel 5).

## 8 Umsetzungskonzept und Handlungsempfehlung

Mit der Realisierung des Wohngebiets „Am Silberbach“ könnte in der Gemeinde Glashütten ein Neubaugebiet geschaffen werden, welches konsequent den landes- und bundespolitischen Vorgaben zum Klimaschutz verfolgt und zukünftige Standards bereits heute anstrebt.

Um das Ziel einer Plus-Energie-Siedlung im Plangebiet „Am Silberbach“ zu erreichen wären folgende Maßnahmen erforderlich:

### Energieversorgung

- Versorgungsvariante 2: Nutzung von Luft-/Wasserwärmepumpen → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 3: Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 3: Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 mit Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 4: Nutzung von Eisspeichern → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 4: Nutzung von Eisspeichern → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40 mit Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 7a: Nutzung Geothermie zur Wärmegewinnung → zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“ mit Mehrzweckhalle und Sporthalle und KfW-Effizienzhaus-Standard 40
- Versorgungsvariante 7b: Nutzung Geothermie zur Wärmegewinnung → zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“ ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 8: Nutzung eines Eisspeichers → zentral mit „kaltem Netz“ ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle
- Versorgungsvariante 8: Nutzung eines Eisspeichers → zentral mit „kaltem Netz“ ohne Mehrzweckhalle und Sporthalle und KfW-Effizienzhaus-Standard 40

Eine Alternative zur Erreichung des Plus-Energie-Standards ist neben der Nutzung von Geothermie und Eisspeichern (zentral oder dezentral) die oft in der Praxis eingesetzte Luftwärmepumpe. Die Wärmepumpe nutzt die Wärme aus der Umwelt und ist zudem einfach und kostengünstig zu installieren. Nachteilig bei dieser Art der Heizung ist, dass bei geringen Temperaturen, wenn die größte Heizleistung benötigt wird, sowohl der Anlagenwirkungsgrad als

auch die verfügbare Leistung stark absinken. So muss bei sehr tiefen Temperaturen und hohem Wärmebedarf elektrisch nachgeheizt werden. Zudem wird die Geräuschentwicklung bei der Ansaugung und dem Abtransport der Luft bei vielen Anlagen als störend empfunden. Um den nachteiligen Eigenschaften entgegenzuwirken sollten daher vorzugsweise hochwertige Anlagen und Ökostrom eingesetzt werden.

Neben den betrachteten Möglichkeiten zur Wärmeversorgung, sollten im Rahmen aller Versorgungsvarianten die gesamten verfügbaren Dachflächen zur Stromerzeugung im Baugebiet „Am Silberbach“ genutzt werden. Anders als bei Solarthermieanlagen ist eine Ost-West-Ausrichtung der Dächer für eine Photovoltaikanlage durchaus wirtschaftlich sinnvoll. Dies liegt an der höheren Eigenstromproduktion, die in den Morgen- und Abendstunden, besonders in den Sommermonaten, erreicht werden kann. Dadurch muss weniger Strom hinzugekauft werden. Die Einspeisevergütung ist hingegen in den letzten Jahren stark gefallen, sodass die geringere Stromeinspeisung dadurch kompensiert werden kann. Gerade bei Neubauten sollte daher möglichst immer eine Photovoltaikanlage eingeplant werden.

Für die Bewertung einer Machbarkeit müssen die möglichen Hemmnisse (vgl. Kapitel 8.6) ebenso berücksichtigt werden wie der zeitliche Ablauf der Umsetzungen (vgl. Tabelle 8.5). Für die technische Umsetzung der Versorgungsvarianten konnten im Zuge der vorliegenden Untersuchungen keine Kriterien gegen eine Umsetzung einzelner Varianten ermittelt werden. Die unterschiedlichen Aufwände und Risiken müssen den wirtschaftlichen und ökologischen Argumenten (vgl. Tabelle 8.1) gegenübergestellt und bewertet werden.

Die folgende Tabelle 8.1 gibt eine Übersicht zur Bewertung der Versorgungslösungen für das Baugebiet „Am Silberbach“.

Tabelle 8.1: Gesamtbetrachtung und Bewertung der Versorgungsmöglichkeiten für das Baugebiet "Am Silberbach"

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7a	Variante 7b	Variante 8
	dezentral				zentral Nahwärmenetz		zentral "kalte Nahwärme"	Wie 6a ohne MZH und Spa	Zentral „kalte Nah- wärme“
	Brennwert-Hei- zung mit Solar- thermie	Luft-/Wasser- Wärmepumpe	Sole-/Wasser- Wärmepumpe	Eisspeicher	Biomasse	BHKW	Erdsondenfeld	Erdsondenfeld	Eisspeicher
Energieträger	Erdgas	Umweltwärme	Geothermie	Umgebungs- und Erdwärme, Kristallisa- tionsenergie	Holz	Biomethan	Geothermie	Geothermie	Umgebungs- und Erd- wärme, Kristallisationse- nergie
Investitionskosten	13.700 €	14.000 €	20.000 €	25.600 €	1.562.045 €	1.406.795 €	2.806.230 €	2.493.430 €	2.227.186 €
Mögliche Fördermittel	- €	- 4.900 €	- 7.000 €	- 8.960 €	- 216.600 €	- 194.440 €	- 676.375 €	- 591.675 €	- 442.575 €
<b>Investitionskosten nach Förderung</b>	13.700 €	9.100 €	13.000 €	16.640 €	1.345.445 €	1.212.355 €	2.129.855 €	1.901.755 €	1.784.611 €
Kapitalkosten	921 €	612 €	874 €	1.118 €	90.435 €	81.489 €	143.160 €	127.828 €	119.954 €
Brennstoff-/ Stromkosten	531 €	779 €	499 €	498,75 €	77.496 €	82.038 €	63.614 €	54.349 €	47.906,36 €
Betriebsführung/ Instandhaltung	383 €	273 €	390 €	499 €	29.079 €	35.142 €	18.614 €	18.253 €	21.341 €
<b>Wärmekosten je EFH pro Jahr</b>	1.834 €	1.664 €	1.763 €	2.116 €	1.887 €	1.846 €	2.309 €	2.278 €	2.149 €
Wärmepreis je kWh Wärme	0,19 €	0,18 €	0,19 €	0,22 €	0,20 €	0,19 €	0,24 €	0,24 €	0,23 €
CO <sub>2</sub> -Emissionen bilanziell	219 t/a	0 t/a	0 t/a	0 t/a	60 t/a	165 t/a	0 t/a	0 t/a	0 t/a
CO <sub>2</sub> -Emissionen absolut	226 t/a	236 t/a	163 t/a	163 t/a	66 t/a	171 t/a	137 t/a	105 t/a	137 t/a
Primärenergiebedarf nach FW309-1	1.214.378 kWh	790.634 kWh	545.265 kWh	545.265 kWh	435.122 kWh	198.776 kWh	458.023 kWh	350.311 kWh	458.023 kWh
Primärenergiefaktor nach FW309-1	1,00	0,65	0,45	0,45	0,36	0,16	0,38	0,38	0,38



Für die Varianten in denen Wärmepumpen zum Einsatz kommen, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 0 t/a angegeben. Dieser Wert setzt jedoch voraus, dass der eingesetzte Strom regenerativ über Photovoltaikanlage erzeugt wird. Die folgende Abbildung 37 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der möglichen Versorgungslösungen. Wenn Strom aus dem deutschen Netz bezogen wird, werden CO<sub>2</sub>-Emissionen wie in Abbildung 38 emittiert.

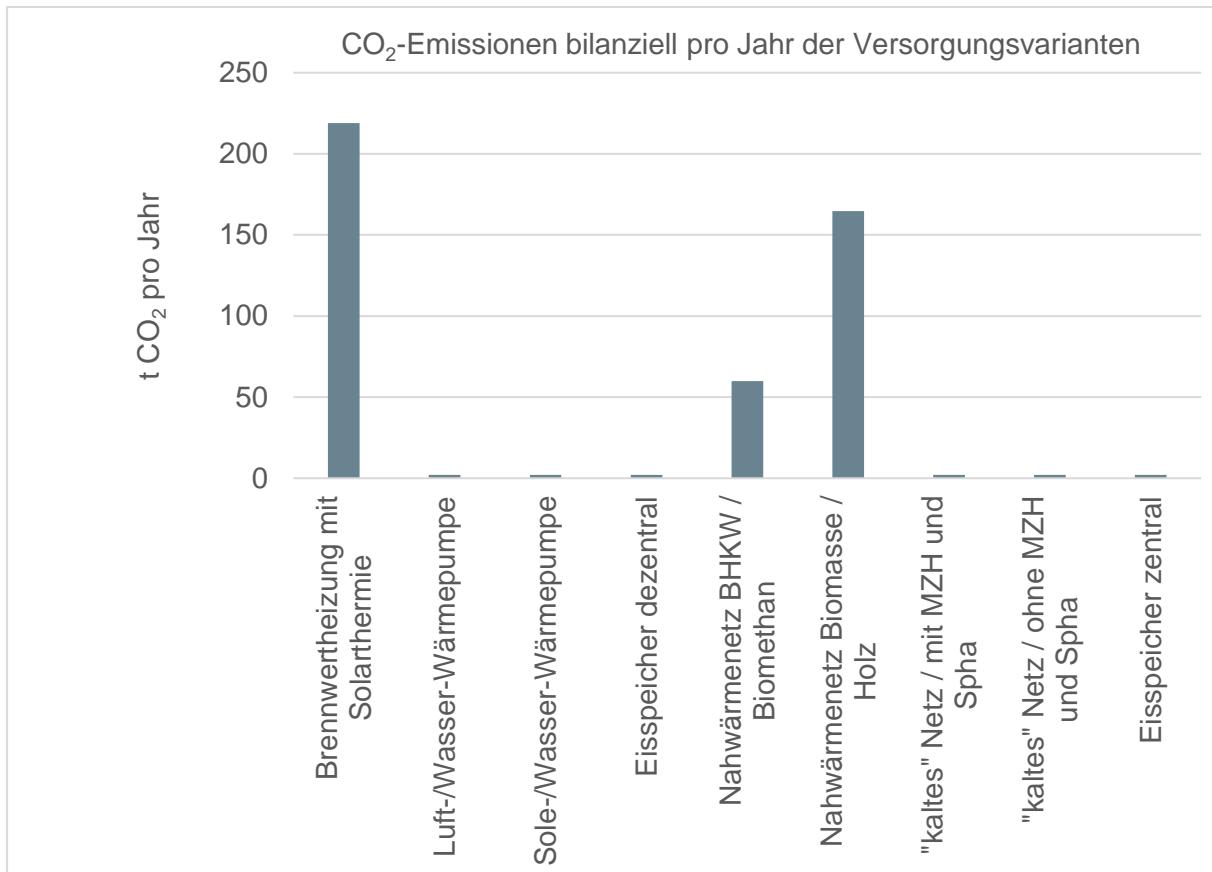


Abbildung 37: Bilanzielle CO<sub>2</sub>-Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020)

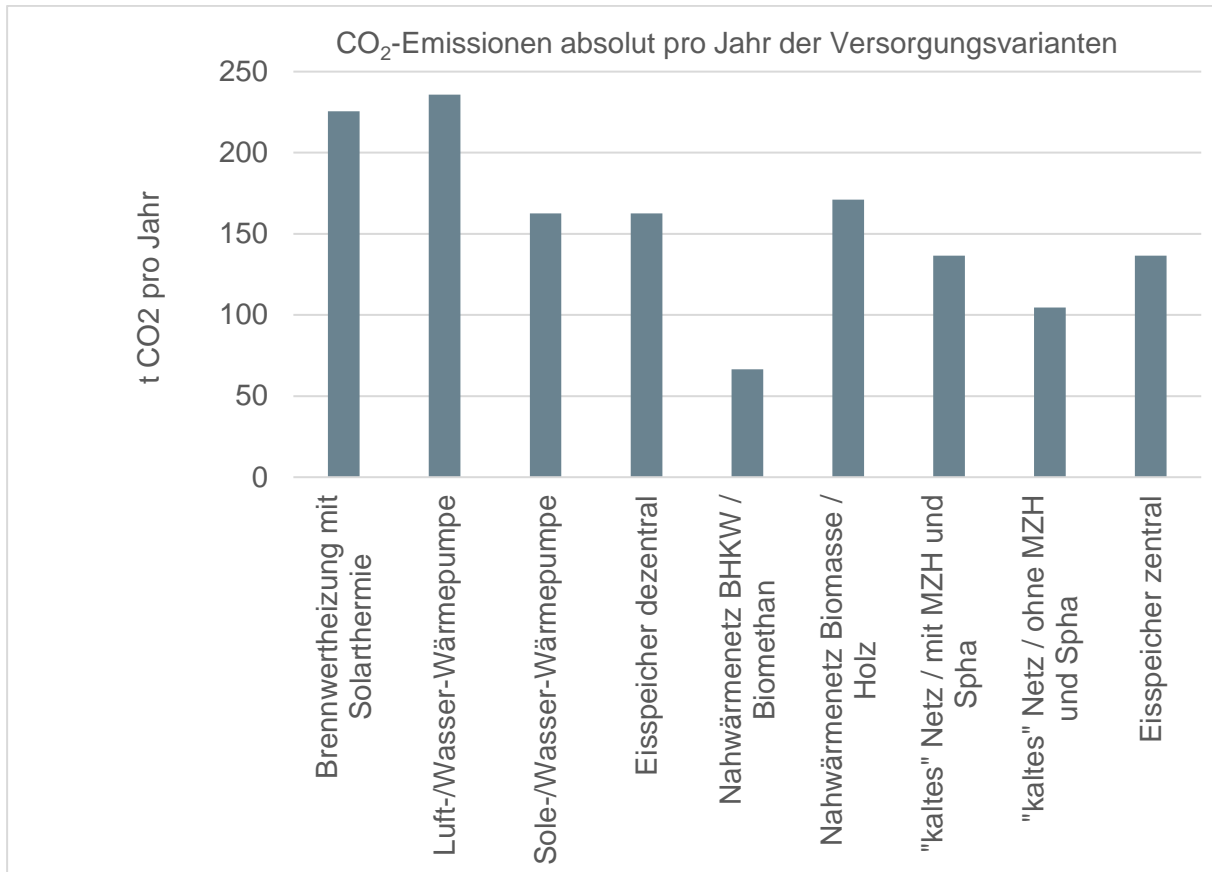


Abbildung 38: Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020)

## 8.1 Betreibermodelle

Die Auswahl eines geeigneten Betreibermodells ist von den Akteuren und von der jeweiligen Struktur vor Ort abhängig. Bei der Struktur vor Ort sind folgende Rahmenbedingungen entscheidend:

- Einsatzbereitschaft der Nutzer
- Eigentumsverhältnisse
- Anzahl der Gebäude
- Räumlicher Zusammenhang der Gebäude
- Kreuzung von öffentlichen Wegen
- Unterbringungsmöglichkeiten der Anlage

Diese Rahmenbedingungen definieren die gesetzlichen Anforderungen und somit die Komplexität des geeigneten Betreibermodells. Das Betreibermodell selbst beeinflusst die Wirtschaftlichkeit, denn je nach Abwicklung der anfallenden gesetzlichen Auflagen, können die Kosten für den Betrieb höher oder niedriger ausfallen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den jeweiligen Varianten.

Tabelle 8.2: Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle (energielenker GmbH 2020)

Variante	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
<b>Eigen-erledigung</b>	Erprobte Beschaffungsvariante, ggf. erster Schritt vor Beteiligung weiterer Partner über GmbH & Co KG oder gemischtwirtschaftliche Gesellschaft	Vollständige Hoheit über die Entwicklung und Ziele der Versorgung bei der Stadt, ggf. zukünftige Beteiligung weiterer Partner über unterschiedliche Struktur ist möglich	Kein Lebenszyklusansatz und kein Risikotransfer auf private Partner in der konventionellen Eigenenerledigung bzw. erst im nächsten Schritt bei Beteiligung privater Partner
<b>Betreibermodell</b>	Vollständige Übertragung der Planungs-, Bau-, Finanzierung-, Betriebs- und Instandhaltungsleistungen auf privaten Partner durch Ausschreibung	Umfangreicher Risikotransfer auf erfahrene Partner, Einbindung von Know-how und Kapital der Partner, Optimierung der Versorgung unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten	Nach Übertragung der Leistungen nur noch geringe Einflussmöglichkeiten für die Stadt, Renditeanforderungen der privaten Partner
<b>Gemischt-wirtschaftliche Gesellschaft</b>	Beteiligung verschiedener Partner an einer Gesellschaft durch gemeinsame Gründung oder als share-deal	Einbindung von Know-how und Kapital von erfahrenen Partnern, Einflussmöglichkeiten der Stadt bestehen weiterhin	Keine klare Trennung von Auftragnehmer und Auftraggeberfunktion
<b>In-House Vergabe</b>	Übertragung sämtlicher Leistungen auf eine kommunale Gesellschaft	Leistungen und Pflichten sind auf Gesellschaft übertragen, Hoheit über Leistungen dauerhaft bei der Stadt bzw. Gesellschaft	Fehlender Wettbewerb bei In-House Vergabe, kein Risikotransfer auf Private, keine Einbindung von Kapital von privaten Partnern

Die Gemeinde Glashütten könnte sich auf die Realisierung über eine gemischtwirtschaftliche Gesellschaft verständigen. Dafür sollte die Gemeinde Glashütten mit weiteren kommunalen

Akteuren eine Projektgesellschaft als GmbH gründen. Sobald die Projektgesellschaft mit Bauleistungen für Energieerzeugungsanlagen und Wärmenetzen sowie den Fernwärmevertrieb operativ tätig wird, können über einen strukturierten Vergabeprozess (als share-deal) weitere private Gesellschafter (strategischer Investor aus der Energiewirtschaft) etablieren.

Im Rahmen dieses Anteilsverkaufs kann darüber hinaus eine zu gründende Bürgerenergiegenossenschaft beteiligt werden, die Gründung der Bürgerenergiegenossenschaft ist jedoch erst möglich, wenn die Projektgesellschaft operativ tätig wird.

Die nachfolgende Abbildung 39 zeigt die mögliche Struktur eines Betreibermodells über eine gemischtwirtschaftliche Gesellschaft.

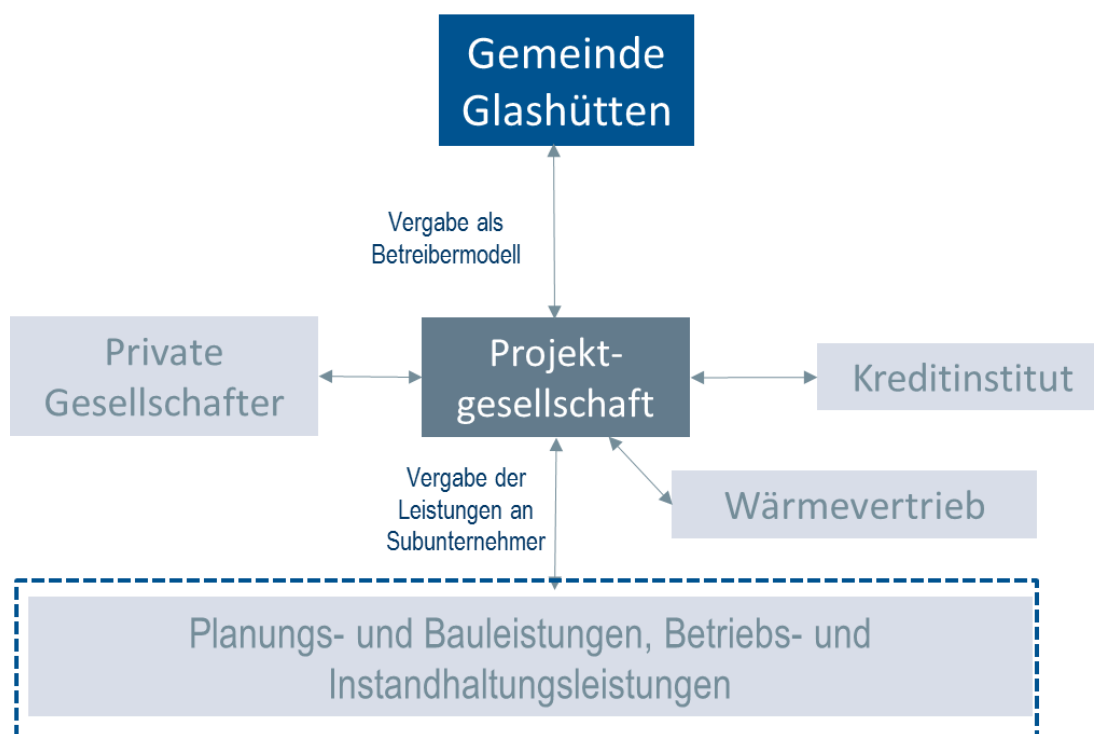


Abbildung 39: Mögliche Struktur des Betreibermodells (energielenker GmbH 2020)

Alternativ dazu können nach Gründung einer Projektgesellschaft der Gemeinde weitere öffentliche und private Partner sowie Bürgerenergiegenossenschaften über eine GmbH & Co KG Struktur beteiligt werden. Bei der Überführung in die GmbH & Co KG Struktur sollte die Projektgesellschaft als Komplementärgesellschaft dienen.

Zur Erfüllung der vergaberechtlichen Rahmenbedingungen ist die Gründung der GmbH entweder allein durch die Gemeinde oder gemeinsam mit rein öffentlichen Akteuren (oder/und andere öffentliche Akteure) zu empfehlen.

Die Beteiligung eines strategischen Investors aus der Energiewirtschaft oder auch weiterer privater Gesellschafter ist über verschiedene Transaktionswege denkbar. Entweder werden private Partner über einen strukturierten Verkaufsprozess als share-deal beteiligt oder die GmbH wird durch einen strukturierten Verkaufsprozess in eine GmbH & Co KG Struktur überführt.

Sämtliche Planungs-, Bau-, Betriebs- und Instandhaltungsleistungen werden dann entweder durch die Projektgesellschaft selbst erbracht oder an externe Partner im Wettbewerb über Vergabeverfahren vergeben. Die Projektfinanzierung würde dabei auch von der Projektgesellschaft getragen. Dabei wird die Prüfung von möglichen Fördermitteln oder zinsgünstige Darlehen z. B. der KfW-Bankengruppe empfohlen.

## **8.2 Berücksichtigung des Plus-Energie-Standards im Rahmen von Grundstücksverkäufen und der Bauleitplanung**

Die städtebauliche Dimension von Energieeinsparungsmaßnahmen betrifft insbesondere folgende Handlungsfelder:

- Gebäude- und energieeinsparbezogene Maßnahmen
- Vermeidung von Verkehrsströmen
- Nutzung von erneuerbaren Energien

Im Rahmen der Bauleitplanung sind dazu folgende Festsetzungsmöglichkeiten möglich:

- § 9 Abs. 1 Nr. 12 BauGB: Versorgungsfläche erneuerbare Energien
- § 9 Abs. 1 Nr. 23a BauGB: Heizstoffverwendungsverbote
- § 9 Abs. 1 Nr. 23b BauGB: EE-Technikvorbereitung

Darüber hinaus können folgende konkrete Handlungsmöglichkeiten in Bezug auf Energieeinsparungsmaßnahmen im Rahmen von Bebauungsplänen festgesetzt werden:

Tabelle 8.3: Übersicht rechtsverbindlicher Festsetzungen im B-Plan in Bezug auf Plus-Energie-Standard (energielenker 2020)

<b>Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan nach § 9 BauGB</b>		
Ziel/ Maßnahme	Festsetzung	Rechtsgrundlage
Optimierte Kompaktheit der Gebäude	Festsetzungen zu Art (WA, WR, GE etc.) und Maß (GRZ, GFZ, etc.) der baulichen Nutzung	§9 (1) Nr.1,2 BauGB §9 (4) BauGB
Optimierte Orientierung und geringe gegenseitige Verschattung (Möglichkeit der Anwendung passiver Solarenergienutzung)	Festsetzung der Bauweise, der überbaubaren und nichtüberbaubaren Grundstücksflächen, Baukörperstellung, Nebenanlagen, Festsetzungen zur Bepflanzung	§9 (1) Nr.1,2 BauGB § 9 (1) Nr.25 BauGB
Geringe gegenseitige Verschattung	Festsetzung der Baugrenzen, Festsetzung der Traufhöhe	§9 (1) Nr.2,3 BauGB
(Option auf) Nah-/Fernwärmerversorgung	Festsetzung von Versorgungsflächen, -anlagen und -leitungen	§9 (1) 12 BauGB §9 (1) 13 BauGB
Gebäude auf die Nutzung von EE auslegen	Festsetzung der Dachneigung / Flachdach für Sonnenenergienutzung; Technische Maßnahmen für Strom, Wärme, Kälte aus EE oder KWK	§9 (4) BauGB §9 (1) Nr.23 BauGB
Keine Verschattung durch Gebäude oder Bepflanzung für solare Erträge	Festsetzung zu Zahl der Vollgeschosse, Traufhöhe, Höhe der baulichen Anlagen, Baumbepflanzung	§9 (1) Nr.1,2 BauGB § 9 (1) Nr.25 BauGB
Begrenzung von Schadstoffen auf lokaler Ebene	Hinweis auf den baulichen Standard	Hinweis bauleitplanerische Begründung
Stärkung des Rad- und Fußverkehrs durch Nutzungsmischung	Festsetzung von Fuß- und Radwegen, Platzfläche	§9 (1) Nr.11 BauGB
(Option auf) Nah-/Fernwärmerversorgung	Anschluss- und Benutzungszwang	§ 9 Nr. 23 BauGB
<b>Örtliche Bauvorschrift</b>		
Optimierte Kompaktheit der Gebäude	Festsetzung zu Dachgestaltung, Fassadengestaltung, Gebäudetiefe	
<b>Landesrecht und Gemeindebauordnung</b>		
Sparender Umgang mit Energie und Wasser	Satzung zur äußeren Gestaltung baulicher Anlagen	§ 91 Abs. 1 Nr. 1 HBO

Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz	Die Anforderungen an einen vorrangig klimabedingt ausreichenden Wärmeschutz enthalten die bauaufsichtlich als Technische Baubestimmung eingeführte DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau	§ 14 Abs. 1 HBO
--	--	-----------------

Für das Erreichen einer Plus-Energie-Siedlung ist der flächendeckende Ausbau von Photovoltaikanlagen auf allen Dachflächen des Gebiets erforderlich. Dabei wird eine zweiseitige Bebauung in mit Ost-West-Ausrichtung empfohlen. Für Dachflächen mit Südausrichtung wird eine Ausrichtung in Richtung Süden empfohlen. Flachdächer sollten ebenfalls eine Ausrichtung in Ost und West Richtung vorsehen. Zudem wird die zusätzliche Dachbegrünung empfohlen (vgl. Kapitel 3).

Bei der Umsetzung von zentralen Energieversorgungsvarianten sind entsprechende Flächen für Sammelbauwerke der Wärmenetze vorzusehen. Bei der Versorgung über ein warmes Netz mit Biomasseeinsatz müssen zudem Flächen für die Brennstoffbevorratung vorgesehen werden. Zudem ist auf Emissionsobergrenzen zu achten. Für die Versorgung über ein Erdsondenfeld ist auf entsprechende Überbauung der Fläche zu achten. Dabei muss auf Herz- und Tiefwurzler oberhalb der Soleleitungen und Sonden verzichtet werden. Zudem ist von einer flächendeckenden Versiegelung der Fläche abzusehen.

**Für die bauleitplanerische Begründung könnte folgender Textvorschlag seine Anwendung finden:**

*„Die Gemeinde Glashütten hat zum Bebauungsplan „Am Silberbach“ ein Energiekonzept mit dem Schwerpunkt einer Plus-Energie-Siedlung ausarbeiten lassen: Für das Baugebiet wird eine Energieversorgung aus regenerativen Quellen vorgeschlagen. Es wird empfohlen, die Standards zur Energieeinsparung und die entsprechenden Maßnahmen zu verwirklichen.“*

*„Darüber hinaus werden aus Gründen der Umweltvorsorge bei der Errichtung von Gebäuden bauliche Maßnahmen für den Einsatz erneuerbarer Energien wie insbesondere Photovoltaikanlagen empfohlen. Im Rahmen der Festsetzung sind die regenerativen Energiesysteme zulässig.“*

## Vertragliche Regelungen

Das Verwaltungsverfahrenrecht sieht in den §§ 54 ff. VwVfG die Möglichkeit vielfältiger öffentlich-rechtlicher Verträge vor. In den dort formulierten Grenzen gilt auch die im öffentlichen Recht verankerte sog. „Vertragsfreiheit“. Im BauGB wird der Aspekt der Vertragsfreiheit im Bereich Städtebau im § 11 konkretisiert. Dort kann über die genannten Gegenstände eines

städtebaulichen Vertrages in Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 – 5 hinausgegangen werden. Dies ermöglicht somit weitere klimabezogene Handlungsmöglichkeiten.

Die im § 11 Abs. 1 Satz 2 Nr. 4 u. 5 BauGB geregelten Gegenstände des Klimaschutzes werden im Folgenden dargestellt und dazu textliche Vorschläge gegeben.

### Wärmeerzeugung § 11 Abs. 1 S.2 Nr. 4 BauGB

*„Gegenstand des Vertrags kann sein: (...) entsprechend den mit den städtebaulichen Planungen und Maßnahmen verfolgten Zielen und Zwecken die Errichtung und Nutzung von Anlagen und Einrichtungen zur dezentralen und Zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung“*

Im Rahmen des Abschlusses städtebaulicher Verträge kann demzufolge die Bereitstellung bzw. Abnahme von Strom/ Wärme durch Einrichtungen der erneuerbaren Energien als energetischer Standard festgelegt werden. Die Gemeinde Glashütten kann folglich im Rahmen der Verträge festlegen, dass der Bauwillige die Errichtung und/oder die Nutzung von Netzen und Anlagen realisiert oder dazu eine bestehende Nah- oder Fernwärmeversorgungsanlage genutzt wird.

Darüber hinaus wird durch die Regelung des § 11 Abs. 1 Satz 2 Nr. 4 BauGB ermöglicht, einen Anschluss- und Benutzungszwang vertraglich zu begründen. In dem Bereich, in dem die Gemeinde auch einen Anschluss- und Benutzungszwang durch Satzung begründen kann, hat sie damit das Wahlrecht zwischen einer entsprechenden Satzung (Anschluss- und Benutzungszwang) oder einem Vertrag (Anschluss- und Benutzungspflicht). Im Rahmen dessen ist jedoch dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz Rechnung zu tragen.

Als Rechtsgrundlage für einen kommunalen Anschluss- und Benutzungszwang an ein Wärmenetz in der Gemeinde Glashütten kommen in Betracht:

- Erlass einer Gemeindecsetzung auf der Rechtsgrundlage der landesgesetzlichen Gemeindeordnungen, auch in Verbindung mit § 16 EEWärmeG
- Festsetzung im Bebauungsplan im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung
- Vertragliche Regelung in einem privatrechtlichen Vertrag, z. B. Grundstückskaufvertrag

### Energetische Anforderungen an Gebäude

*„Gegenstand des Vertrags kann sein: (...) entsprechend den mit den städtebaulichen Planungen und Maßnahmen verfolgten Zielen und Zwecken die Anforderung an die energetische Qualität von Gebäuden“*



Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden können nicht im Rahmen von B-Plänen festgesetzt werden, sondern sind allein im Rahmen von vertraglichen Regelungen möglich. Auf die Umsetzung von entsprechenden Effizienzstandards kann lediglich im Bebauungsplan hingewiesen werden. Diese Hinweise besitzen jedoch keine Rechtsverbindlichkeit.

Im Rahmen der Grundstückskaufverträge können Vereinbarungen über die KfW-Effizienzstandards oder verschärften Anforderungen an den Transmissionswärmeverlust zwischen der Gemeinde Glashütten und den Eigentümer/Vorhabensträger festgelegt werden, z. B.:

- Vereinbarungen zur Energieeffizienz der Gebäude mit einer Beschränkung des Jahresprimärenergiebedarfs
- Errichtung des Gebäudes im KfW 55 Standard (entsprechend der Empfehlung des Energieversorgungskonzepts zur Plus-Energie-Siedlung)

Der erforderliche KfW-Effizienzhaus-Standard für die jeweilige Energieversorgungslösung ist dem Kapitel 8 (S. 88) und der Tabelle 4.13 zu entnehmen.

### Weitere vertragliche Regelungen

Neben den energetischen Anforderungen könnten darüber hinaus folgende Vorgaben bzw. Mindeststandards festgeschrieben werden:

- Nutzung von Netzen und Anlagen für erneuerbare Energien sowie von Solaranlagen für die Elektrizitätsversorgung (sollte mit entsprechenden Planungsvorgaben nach § 9 Abs. 1 Nr. 23 b BauGB gekoppelt sein) → z. B. „Alle Wohngebäude sind mit einer Solarstromanlage auszustatten. Zur optimalen Nutzung werden Batteriespeicher empfohlen.“
- Bestimmungen zum Einsatz erneuerbarer Energien und Wasserspartechniken (evtl. Vorgaben zur Nutzung von Regenwasser)
- Verbrennungsverbot für flüssige oder fossile Brennstoffe und Vorgaben zur Art der Heizanlage
- Zuschuss zur Energieberatung beim Hausbau zur künftigen Nutzung (z. B. Ausschluss von nichtgebietsverträglichen Nutzungen)

Es ist darauf hinzuweisen, dass vor Baubeginn (vor Bauantragstellung) und nach Baufertigstellung ein entsprechendes Qualitätsmanagement zur Absicherung der Zielsetzungen vertraglich abgesichert und durchgeführt werden sollte.

## 8.3 Kommunikationskonzept

Die Entwicklung des geplanten Baugebiets „Am Silberbach“ als Plus-Energie-Siedlung erfordert eine zielgerichtete Ansprache von Bauwilligen und Investoren in einer möglichst frühen Phase der Umsetzung. Ziel sollte es sein, auf breiter Ebene ausreichend Bauwillige und Investoren zu gewinnen und die Akzeptanz für das landesweite Modellprojekt zu steigern.

Die Kommunikationsstrategie soll demnach, der Ansprache unterschiedlicher Akteure im Anschluss an die Erarbeitung des Energieversorgungskonzepts dienen. Im Rahmen der Kommunikationsstrategie wird ein auf den lokalen Kontext zugeschnittenes Vorgehen empfohlen. Dabei soll aufgezeigt werden, wie die Zielsetzungen und erforderlichen Maßnahmen im Rahmen der „Plus-Energie-Siedlung“, in der Bevölkerung sowie bei weiteren relevanten Akteuren, verbreitet werden können. Außerdem soll für die Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen ein breiter Konsens und aktive Mitarbeit erzielt werden.

Die Empfehlungen für die Kommunikationsstrategie der Ergebnisse des Energieversorgungskonzepts richten sich insbesondere an Investoren, Bauherren und zukünftige Bewohner im Plangebiet. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zielgruppen werden daher folgende Kommunikationswege für die relevanten Akteursgruppen empfohlen, um auf ihre spezifischen Interessen, Bedürfnisse und Möglichkeiten einzugehen:

### Informations- und Beteiligungsveranstaltungen

Grundsätzlich gilt es, alle Beteiligten zu informieren, aufzuklären und mögliche Akzeptanzhemmnisse entsprechend offensiv abzubauen. Aus diesem Grund sollte in einem ersten Schritt, eine Informationsveranstaltung für interessierte Bürger, Bauherren sowie Investoren durchgeführt werden. Es wird empfohlen, die Informationsveranstaltung durch ein offizielles Anschreiben der Gemeinde Glashütten anzukündigen.

Informationsveranstaltungen können darüber hinaus zur Schulung der zukünftigen Bewohner genutzt werden. Um den zeitlichen Aufwand und dadurch die Akzeptanz bei den Nutzern zu erhöhen, bieten sich z. B. regelmäßige Eigentümerversammlungen an.

Weitere Informationsveranstaltungen sind darüber hinaus für Architekten, Handwerker und Fachplaner sowie Bauträger und Wohnungsbaugesellschaften denkbar. In dem Informationsaustausch über die geplante Plus-Energie-Siedlung sollte die Möglichkeit für Rückfragen sowie ein Ausblick auf das weitere Verfahren geboten werden.

## Vor-Ort-Beratungen

Empfohlen werden fachliche Beratungen über technische Aspekte des klimaschützenden Bauens sowie finanz- und fördertechnische Belange unter der frühzeitigen Einbindung der Gemeinde Glashütten im Zusammenhang mit Grundstücksverkäufen und kaufvertraglichen Absicherungen. Bei der Veräußerung der Baugrundstücke mit entsprechenden Bindungen ist es von entscheidender Bedeutung, dass die zu veräußernden Grundstücke trotz der Bindung auf eine ausreichende Nachfrage stoßen. Für die Bauwilligen sollten daher Informationen zum Grundstückskauf, Planungsrecht, zur Energieberatung, Haustechnik, Finanzierung und zu Förderungsmöglichkeiten verständlich aufbereitet und kommuniziert werden.

Dazu könnten im Grundstückspreis folgende Leistungen enthalten sein:

- Plausibilitätsprüfung/ Unterstützung im Rahmen der Energiebedarfsberechnung
- Beratungsseminare und fachliche Unterstützung der Bauwilligen, Planer, Architekten und Handwerker
- Qualitätssicherung im Rahmen von Baustellenbegehungen
- Individuelle Beratung bei Fragen zum energetischen Gebäudestandard oder Beantragung diverser Fördermittel etc.

Die kontinuierliche und sachkundige Begleitung und Kontrolle der Bauprojekte sollte ab der Entwurfsphase bis zur Bauabnahme erfolgen. Voraussetzung ist die klare vertragliche Vereinbarung einschließlich Anreizen bzw. Sanktionen.

## Bereitstellung von Informationsunterlagen

Darüber hinaus sollten den zukünftigen Bewohnern unterschiedliche Informationsunterlagen zur Verfügung gestellt werden. Die Unterlagen können im Rahmen von Vorgesprächen und Durchführungen von Kaufverträgen überreicht werden (u. a. Leitfaden/ Gestaltungsbuch energetisches Bauen, energiesparendes Nutzerverhalten (s. Kapitel 8.4), Übersicht zu geeigneten Finanzierungs- und Förderprogrammen).

## Aufbau eines Fachakteursnetzwerkes

Wiederholungen der Expertengespräche in regelmäßigen Abständen, mit dem Ziel einer engen Bindung der Experten an den Gesamtprozess und zum Ideenaustausch untereinander, sind empfehlenswert.

## Realisierte Maßnahmen aus dem Baugebiet „Am Silberbach“ regelmäßig kommunizieren

Eine gute Öffentlichkeitsarbeit ist wichtig, um die Themenschwerpunkte aus der Plus-Energie-Siedlung weiter hervorzuheben sowie die gesteckten kommunalen Klimaschutzziele in der Gemeinde Glashütten bei den Bürgern zu verankern.

Bei der Vermittlung von Informationen zu den bereits realisierten Maßnahmen und Erfolgen ist zu berücksichtigen, dass die Informationen knapp und handlungsorientiert verfasst werden. Dazu hat sich die Nutzung verschiedener Arten von Informationskanälen als sehr wirksam erwiesen (z. B. schriftlich als Brief oder Flyer, Newsletter, Zeitungsartikel).

Der Umsetzungsstand des Gebiets „Am Silberbach“ kann auf der Internetseite der Gemeinde Glashütten sowie der Hessischen Landgesellschaft mbH dargestellt werden. Ziel ist es dabei, Transparenz zu schaffen, Informations- und Beteiligungsmöglichkeiten aufzuzeigen und über den aktuellen Stand zu informieren (u. a. mit Kontaktinformationen, Terminen, Ergebnisberichte).

## 8.4 Nutzerverhalten und Nutzersensibilisierung

Neben der Qualität der Gebäudehülle und -technik, hat auch das Nutzerverhalten einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch privater Haushalte, denn allein der Nutzer bestimmt die Nachfrage nach elektrischer und thermischer Energie in Wohngebieten. Demnach reichen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz an Gebäudehülle und -technik allein nicht aus, um den zukünftigen Energieverbrauch im Plangebiet möglichst gering zu halten. Deshalb ist es wichtig, ein energiebewusstes Nutzerverhalten zu fördern und organisatorische Maßnahmen vorzunehmen.

Für eine erfolgreiche Nutzersensibilisierung können verschiedene Strategien zum Einsatz kommen. Neben Beratungsangeboten ist insbesondere die Einweisung der späteren Nutzer in die vorhandene Gebäude- und Anlagentechnik von hoher Bedeutung (s. Kapitel 8.3).

Neben der Sensibilisierung der Nutzer stellt das Nutzerverhalten einen wesentlichen Schwerpunkt, denn durch einen rationellen Umgang mit der Energie im eigenen Wohnraum, können Kosteneinsparungen von bis zu 15 % erzielt werden (vgl. Energieagentur). Neben dem Heizenergieverbrauch spielt der Stromverbrauch für Elektrogeräte oder E-Fahrzeuge eine wesentliche Rolle. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die jeweiligen Einflussbereiche durch das Nutzerverhalten in Bezug auf Haushaltsstrom, Trinkwarmwasser und Raumwärme.

Tabelle 8.4: Einflussbereiche durch Nutzerverhalten und energieeinsparende Beispiele (energielenker GmbH 2020)

Einflussbereiche durch Nutzerverhalten			Energieeinsparende Beispiele
Haushaltsstrom	Umgang mit elektrischen Geräten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abschaltung nicht benötigter Elektrogeräte</li> <li>Vermeidung von Stand-By-Betrieb</li> <li>Überprüfung der Raumbelichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuelle Abschaltung von Warmwasserboilern, Computern, Kaffeemaschinen etc. oder gesteuert per Zeitschaltuhr oder per Standby-Sensor</li> <li>Verwendung von schaltbaren Steckerleisten</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Minderung der mittleren Raumtemperatur</li> <li>Teilbeheizung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Senkung der Raumtemperatur in der Nacht sowie bei Abwesenheit</li> <li>Reduktion der mittleren Raumtemperatur um 1 °C entspricht im Mittel einer Einsparung beim Heizwärmebedarf von etwa 6 %</li> <li>Einstellung der Thermostatventile an Heizkörpern nur bis Stufe 3, auch während der Aufheizphase → Raumtemperatur von ca. 20 °C</li> </ul>
Raumwärme	Luftwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lüftungsverhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kurzes Stoßlüften anstatt Kipplüftung mit gleichzeitiger Drosselung der Heizung</li> </ul>

Warmwasser	Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperaturniveau</li> <li>▪ Zapfprofil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewusste Verwendung eines niedrigeren Temperaturniveaus (z. B. bei der Reinigung der Hände)</li> </ul>
	Warmwasserbedarf	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minderung des Warmwasserbedarfs</li> <li>▪ Ausstattung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Duschen erfordert im Vergleich zum Wannenbad ca. 30 % weniger an Warmwasser</li> <li>▪ Installation von wassersparenden Armaturen</li> </ul>

Oftmals ist das Bewusstsein der Bürger für die genannten Möglichkeiten zur Energieeinsparung und dessen Wirksamkeit noch nicht ausreichend. Die Gemeinde Glashütten kann daher die privaten Bemühungen zur Energieeinsparung auf unterschiedlichen Wegen anregen. Im Rahmen des neugeplanten Baugebietes wird infolgedessen empfohlen, bereits im Vorhinein, die zukünftigen Bewohner dahingehend zu sensibilisieren. Aber auch anschließend sollten Energieeffizienz und Klimaschutz immer wieder thematisiert werden, um langfristig ein klimafreundliches Nutzerverhalten zu etablieren (s. Kapitel 8.3).

Die Sensibilisierung kann durch niederschwellige Informationsdarreichung erfolgen. Bereits im Rahmen der Kaufverträge können Broschüren zum Thema „Energiesparen im Haushalt“ mit Empfehlungen zu energiesparenden Verhaltensweisen übermittelt werden. Das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung hat in diesem Zusammenhang einen Wegweiser veröffentlicht, der Möglichkeiten zur Stromeinsparung für Privathaushalte aufzeigt. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, zukünftige Bewohner bereits vor Ihrem Einzug auf diese Thematik aufmerksam zu machen, da frühzeitige Kaufentscheidungen neuer Haushaltsgeräte oder die Auswahl der Beleuchtung beeinflusst werden können. Das Hessische Ministerium bietet ebenfalls eine Broschüre zu besonders sparsamen Haushaltsgeräten (2019/2020) an.

Einen umfassenderen Charakter weisen gezielte Beratungsangebote auf. Die Initiative „Hessische Energiespar – Aktion (HESA)“ bietet persönliche Beratungsangebote sowie öffentliche Veranstaltungen zum Thema Energiesparmaßnahmen in Alt- und Neubauten an (vgl. Landesenergieagentur Hessen). Die HESA ist insbesondere an Kooperationen mit Kommunen zur Umsetzung von Veranstaltungen, Ausstellungen und Kampagnen interessiert. Es wäre denkbar, eine Veranstaltung für die zukünftigen Bewohner des Plangebietes zu organisieren und persönliche Beratungsangebote anzubieten.

Eine weitere Methode, die Thematik des Energiesparens immer wieder in das Bewusstsein der Bewohner zu rücken, sind regelmäßige Veranstaltungen. Wiederkehrende Gemeinschaftsaktionen dienen zum Erfahrungsaustausch und zur Motivation der zukünftigen Bewoh-

ner im Plangebiet. In Form von beispielsweise Energiestammtischen werden, neben den Bewohnern, weitere Akteure (z. B. Experten) mit dem Ziel eingeladen, den persönlichen Erfahrungsaustausch, um eine Vermittlung von Fachwissen zu erweitern. Es erweist sich als sinnvoll, den einzelnen Terminen verschiedene Themenschwerpunkte zugrunde zu legen. Diese Methode erfordert ein vergleichsweise hohes Maß an Organisation durch die Kommune und bietet sich bereits vor sowie nach dem Einzug der zukünftigen Bewohner an.

## 8.5 Möglichkeiten zum Nachweis und Steuerung der Plus-Energie-Siedlung

Nach der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV) erfolgt ausschließlich eine energetische Bewertung von Einzelgebäuden. Bei der Erstellung von Energieausweisen werden Normwerte zur Berechnung der Energieeffizienz herangezogen und ermöglichen den Vergleich zwischen Immobilien. Das Erreichen einer positiven Energiebilanz ist dabei nicht möglich und das tatsächliche Nutzerverhalten nimmt keinen Einfluss auf den Energieverbrauch. Die Bilanzierung des Wohngebietes „Am Silberbach“ soll einen Schritt weitergehen. Daher wird ein Energiedatenmanagement eingeführt. Das Energiedatenmanagement hat das Ziel, Verbräuche zu erfassen, eine Auswertung zur Energieeffizienz auszugeben und Auffälligkeiten in der Energieversorgung aufzudecken. Es ist zuständig für die Entwicklung einer Energiebilanz.

Um eine aussagekräftige Energiebilanz aufstellen zu können, ist es erforderlich, örtliche Systemgrenzen und einen zeitlichen Betrachtungszeitraum festzulegen. Zudem sollte zu Beginn bestimmt werden, welche Energieformen (bspw. Primärenergiebedarf oder Endenergiebedarf) betrachtet werden.

Die Systemgrenze bestimmt, welche Energieströme erfasst und verglichen werden und welchem Ursprungsort sie zugeordnet werden. Wird beispielsweise die Gebäudehülle als Bilanzgrenze festgelegt, müsste die durch Photovoltaik, Solarthermie oder Kleinwindkraft erzeugte Energie in der Bilanz, als von außen zugeführter Energie erfasst werden. Dies ist für die geplante Plus-Energie-Siedlung nicht zielführend. Auch die Einschließung der Gebäudeaußenflächen ist nicht ausreichend, denn Wärme aus beispielsweise oberflächennaher Geothermie würde als Energiebezug von außen bilanziert (vgl. Stockinger 2016).

In Abhängigkeit des gewählten Versorgungskonzeptes kann entweder grundstücksscharf, wobei die Grundstücksgrenzen der Gebäude als Systemgrenze dienen würden, oder die Siedlung als Energieverbund bilanziert werden, sodass die Grundstücksgrenze des Gesamtkonzeptes als Systemgrenze dient. Da die Siedlung als Gesamtheit den Anspruch hat mehr Energie zu erzeugen als innerhalb der Siedlungsgrenzen verbraucht wird, ist eine gesamtheitliche Führung in der Energiebilanz sinnvoll. Dennoch müssen die energiebezogenen Daten aller Gebäude erfasst werden. Aufgrund des geplanten Einsatzes von Smartmetern können die erforderlichen Daten digital aus der Ferne gesammelt werden. Es ist ein jährlicher



Auswertungszyklus empfehlenswert. Somit zeigt eine Jahresendbilanz entsprechend der Daten eine positive, ausgeglichene oder negative Energiebilanz und die Jahre können unter Einbeziehung witterungsbereinigender Faktoren untereinander verglichen werden. Eine positive Differenz belegt, dass die Siedlung ihrem Anspruch als „Plus-Energie-Siedlung“ gerecht wird und zeigt, wie groß der Überschuss an regenerativer Energie ist. Bei der gesamtheitlichen Betrachtung können sich die energiebezogenen Daten der Gebäude ausgleichen. Ein energetischer Vergleich der Einzelgebäude ist möglich, aber nicht zwingend erforderlich.

Neben den gebäudebezogenen Energiedaten müssen bei der Siedlungsbetrachtung ebenfalls Allgemeinstromverbräuche erfasst werden. Dazu zählen beispielsweise die Beleuchtungen von Treppenhäusern, Verkehrswegen oder Parkanlagen sowie die Antriebsenergie für Aufzüge.

Der Bestimmung eines Betrachtungszeitraumes kommt eine ebenso große Bedeutung zu wie der festzulegenden Bilanzgrenze. Der Zeitraum kann zwischen Echtzeitanalyse und Lebenszyklus liegen. Beispielsweise müssen energieautarke Gebäude zu jeder Zeit den Energiebedarf ohne Bezüge aus den öffentlichen Netzen betreiben werden. Bei der Bilanzierung eines Lebenszyklus können alle verursachten Energieströme, wie die Graue und alle zu erwartenden Energiebedarfe, über die Gesamtnutzungszeit der Gebäude ermittelt werden. Aufgrund der saisonalen Schwankungen des Klimas in Deutschland ist ein Zeitraum von einem Jahr sinnvoll. So ist ein Ausgleich der witterungsbedingten Erzeugungs- und Verbrauchsspitzen möglich. Zudem ermöglicht die Jahresbilanzierung eine wiederkehrende Bewertung und den Vergleich mehrerer Zyklen.

Bei der Bewertung von Gebäuden hat die primärenergetische sowie die endenergetische Betrachtung ihre Berechtigung. Wobei die endenergetische Betrachtung zwingend notwendig ist, die primärenergetische hingegen optional. Dies aus dem Grund, dass alle Energieströme in ihrer endenergetischen Form gemessen werden. Die Art der Messung ist nachvollziehbar und transparent. Kommen auf dem Siedlungsgebiet zukünftig verschiedene Energieträger zum Einsatz, ist eine Primärenergiebilanzierung sinnvoll.

Da das vorliegende Konzept Wärmepumpen und somit elektrische Energie zur Deckung des Wärmebedarf vorsieht, sind Endenergie und Primärenergie aufgrund des gleichen Primärenergiefaktors proportional zueinander, was eine Umrechnung Bilanzierung egalisiert.

Aufgrund dessen, wird die Bilanzierung der Endenergien empfohlen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Ausgestaltung der Bilanzierung in ihren Möglichkeiten bezüglich des Umfangs und der Detailtiefe nahezu grenzenlos ist, die tatsächliche Umsetzung aber die Aussagekraft und den Nutzen berücksichtigen muss. Dementsprechend werden für das Versorgungskonzept „Am Silberbach“ folgende Schritte zur Bilanzierung aufgestellt:

- Festlegung der beschriebenen Rahmenbedingungen: Systemgrenze, Betrachtungszeitraum und Energieform. Projektbezogen zu empfehlen ist
  - die Festlegung der Siedlungsgrenzen als Systemgrenze
  - ein Betrachtungszeitraum von einem Jahr und ein jährlicher Vergleich
  - die Bilanzierung aller Endenergieverbräuche auf dem Siedlungsgebiet
  
- Erfassung der gesamten, energiebezogenen Messtechnik auf dem Siedlungsgebiet
  - Die Erstellung einer Visualisierung der Zählerstruktur ist sinnvoll, um eine umfassende Übersicht zu gewährleisten
  
- Auswahl einer geeigneten Software zur Sammlung, Aufbereitung und Auswertung der gesammelten Informationen
  - Die Auswahl wird beeinflusst durch den Anspruch an Auswertungsfunktionen, Übersichtlichkeit sowie den Anschaffungskosten. Auch das vorhandene Know-how im Umgang mit der potenziellen Software muss beachtet werden
  - Es ist sinnvoll, die Abgabe der Auswertung an ein Fachunternehmen zu prüfen

Es ist sinnvoll, die Gebäude während der Planungs- und Umsetzungsphase sowie nach Fertigstellung von einem Qualitätsmanagement (z. B. Fachunternehmen) auf die Richtigkeit der Umsetzung und Einhaltung der vorgegebenen Energiestandards prüfen zu lassen. Etwaige Mängel oder Nachlässigkeiten werden dadurch frühzeitig erkannt.

Zur Bewertung und dem Vergleich des Energieeinsatzes auf dem Siedlungsgebiet dienen verschiedene Kennwerte, die in einem jährlichen Turnus aufgestellt werden. Grundsätzlich kann sich jeder Wert als Divisor zum Endenergieverbrauch eignen, der Einfluss auf den Energieeinsatz hat. Für das vorliegende Energieversorgungskonzept bieten sich das Verhältnis von Endenergieverbrauch pro Gebäudefläche sowie das Verhältnis von Endenergieverbrauch pro Bewohner an. Um neben der absoluten Differenz der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs eine einfache Darstellung der Jahresbilanz zu haben, empfiehlt sich auch, das Verhältnis von Energieerzeugung zu Endenergieverbrauch zu berechnen.

## 8.6 Hinweise zur Bauplanung und Bauausführung

Die Empfehlungen zur Zielerreichung einer Plus-Energie-Siedlung könnten nach der Konsensfindung durch die Gemeinde Glashütten und der Politik (Zieldefinition, Festlegung Energieversorgungsvariante) in den Prozess der anschließenden Bauausführung und Inbetriebnahme fortgesetzt werden.

### Phase der Genehmigungsplanung

- Erstprojektbetreuung und Beratung von Bauherren, Architekten, Investoren (s. Kapitel 8.3)

### Realisierungsphase

- Qualitätssicherung im Verfahren (z. B. durch Kommune oder Fachunternehmen)
- Wurden im Vorfeld energiebezogene Vereinbarung vertraglich festgehalten (s. Kapitel 8.2), ist eine qualitativ gute Umsetzung der vorgeschriebenen Standards zu sichern → insb. durch Beratung und Hilfestellung von Bauherren, Architekten, Investoren (s. Kapitel 8.3)
- Wärmeversorgung Variante 7 (Nutzung von Geothermie zur Wärmegewinnung zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“): Das Wärmenetz inkl. Erdsondenfeld und Verteilnetz werden grundsätzlich im Rahmen der erforderlichen Erschließungsarbeiten umgesetzt. Das Netz sollte mit in den Mediengraben (div. Versorgungsleitungen u. a. Schmutz- und Regenwasserkanäle, Strom- und Kommunikationsleitungen) integriert werden. Der zeitliche Ablauf des Wärmenetzes erfolgt parallel zu der Verlegung der gängigen Versorgungsleitungen. Nach der Fertigstellung des Rohbaus erfolgt der Hausanschluss durch den zuständigen Versorger. Es wird eine Leitung von der Haupterschließungsstraße zum privaten Hausanschlussraum verlegt (Neben Stromanschluss etc. erfolgt dort der Anschluss der Soleleitung). Die Installation der Wärmepumpe erfolgt im Rahmen des Innenausbaus. Daraufhin kann u. a. mit der Estrichtrocknung und dem Heizbetrieb begonnen werden.
- Wärmeversorgung Variante 3 (Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden auf jedem Grundstück im Plangebiet): Erschließungsarbeiten durch ein Wärmenetz etc. entfallen. Verlegung der Stromleitung von der Erschließungsstraße zum privaten Hausanschlussraum. Parallel dazu kann die Erdsondenbohrung auf dem Grundstück sowie die Verlegung der Rohrverbindungen zum Gebäude erfolgen.

- Wärmeversorgung Variante 2 (Nutzung von Luft-/Wasserwärmepumpen): Erschließungsarbeiten durch ein Wärmenetz etc. entfallen. Verlegung der Stromleitung von der Erschließungsstraße zum privaten Hausanschlussraum. Parallel dazu kann die Außeneinheit der Luft-/Wasserwärmepumpe auf dem Grundstück installiert und die Verbindung zur Heizungsanlage geschaffen werden.
- Eine Qualitätssicherung im Rahmen der Objektrealisierung (Prüfung von Planunterlagen, Pflichtenheft, Handwerkseinweisungen, Baustellenbegehungen, Ausführungskontrolle etc.) ist zu empfehlen. Hinzukommend sollten die jeweiligen Zuständigkeiten, Vereinbarungen der Kostenübernahme der Qualitätssicherung (z. B. über Grundstückspreise, Investoren) festgelegt werden.

### Inbetriebnahme und Nutzung

- Einweisung der Betreiber und Nutzer (z. B. für die Gewährung einer Förderung in den KfW-Produkten für energieeffizientes Bauen und Sanieren ist ein Energieexperte einzubinden)
- Erfolgskontrolle und Controlling (s. Kapitel 8.5)
- Naturräumliche Bedingungen und Vorbelastungen (z. B. geologische Verhältnisse, Schutzgebiete für Natur- und Landschaft etc.)

### Mögliche Umsetzungshindernisse

- Haupthemmnis: Fehlender Betreiber (Stadtwerk, Unternehmen etc.)
- Fehlende politische Akzeptanz (insb. bei den Varianten 5 und 6)
- Fehlende Akzeptanz der zukünftigen Bauherren/ Eigentümer (insb. der Varianten 1 bis 4).
- Fehlender Anschluss der zukünftigen Eigentümer bei den zentralen Varianten (5,6, 7)
- Naturräumliche Bedingungen und Vorbelastungen (z. B. geologische Verhältnisse, Schutzgebiete für Natur- und Landschaft etc.)
- Die bauliche Umsetzung der Varianten 5-8 erfolgt grundsätzlich innerhalb der Gesamterschließungsarbeiten (Telekommunikation, Abwasser etc.). In Bezug auf die zukünftige Abwasser- und Trinkwasserversorgung ist eine frühzeitige Absprache mit den zuständigen Versorgern erforderlich, da der Einsatz von Frostschutzmittel (Wasser-Glykol-Gemisch) bei den entsprechenden Versorgungsvarianten oftmals vorurteilsbehaftet ist. Die Kältebeständigkeit des Wärmeträgermediums auf Glykol-Basis gewährleistet innerhalb der Wintermonate Frostschutz. Das Frostschutzmittel zirkuliert innerhalb eines abgeschlossenen Kreislaufs und hat demzufolge keine Auswirkung auf die Trinkwasserleitungen.

- Naturräumliche Bedingungen und Vorbelastungen (z. B. geologische Verhältnisse, Schutzgebiete für Natur- und Landschaft etc.)

Ein zeitlicher Ablaufplan der vorgestellten Umsetzungskonzepte kann Tabelle 8.5 entnommen werden.

Tabelle 8.5: Ablaufplan der Umsetzungskonzepte

Ablaufplan Umsetzungskonzept																					
Jahr	2020				2021												2022				
Monat	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai
<b>Vorgang</b>																					
Prozesssteuerung und Planung Gemeinde Glashütten																					
Politischer Beschluss																					
<b>Dezentral (Luft- oder Sole-Wasserwärmepumpe)</b>																					
Genehmigungsplanung durch Planungsbüro																					
Genehmigung durch Behörde																					
Ausführungsplanung für Einzelgebäude																					
Erstellung Leistungsverzeichnisse																					
Mitwirkung Vergabeverfahren (Bauherren)																					
Baubeginn																					
Ausführungsbegleitung																					
Objektbetreuung/ Gewährleistungsphase																					
Monitoring																					

<b>Zentral (Geothermiefeld/kalte Nahwärme)</b>																			
Gründung Netzgesellschaft																			
Entwurfsplanung inkl. Wirtschaftlichkeitsberechnung																			
Genehmigungsplanung durch Planungsbüro																			
Genehmigung durch Behörde																			
Ausführungsplanung																			
Erstellung Leistungsverzeichnisse																			
Mitwirkung Vergabeverfahren (Bauherren)																			
Baubeginn																			
Ausführungsbegleitung																			
Objektbetreuung/ Gewährleistungsphase																			→
Monitoring																			→
Anschluss des ersten Abnehmers																			

## 9 Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2019: Klimaschutz in Zahlen: der Sektor Verkehr.

Canzler, Weert; Knie, Andreas 2013: Schlaue Netze – Wie die Energie- und Verkehrswende gelingt.

Energieagentur: <https://www.energieagentur.nrw/klimaschutz/kommunen/nutzerverhalten1>.

Energieland Hessen: <https://www.energieland.hessen.de/solar-kataster>

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) 2018: Elektromobilität. Systembedingungen, Einsatzbedingungen und Systemintegration. FGSV-Bericht. Köln.

HNLUG 2020: <https://www.hlnug.de/themen/geologie/erdwaerme-geothermie>

Landesenergieagentur Hessen: <https://landesenergieagentur-hessen.de/service#publikationen>

Öko-Institut, e. a. 2015: Klimaschutzszenario 2050 - 2. Endbericht. Berlin: Öko-Institut e.V. und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung.

PGIS: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)

Richter, Moritz; Steiner, Lutz (2011): Begleitforschungs-Studie Elektromobilität: Potentialermittlung der Rückspeisefähigkeit von Elektrofahrzeugen und der sich daraus ergebenden Vorteile. Darmstadt.

Solar: [www.solar77.de](http://www.solar77.de)

Stadt Nürnberg: <https://www.nuernberg.de/internet/esp/>

Stockinger, Volker 2016: Energie+-Siedlungen und -Quartiere. Definition, Planung, Betrieb, Bilanzierung und Bewertung. Fraunhofer IRB Verlag

Stromspar-Check: <https://www.stromspar-check.de/stromspar-check/im-ueberblick.html>

Vattenfall Europe AG (2011): Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen (Verbundprojekt V2.2011).