



Quelle: Planungsgruppe Darmstadt

Energieversorgungskonzept

für das Baugebiet „Die vier Morgen“ in der Gemeinde Erzhausen

Auftraggeber

Gemeinde Erzhausen
Rodenseestraße 3
64386 Erzhausen



Hessische Landgesellschaft mbH
Wilhelmshöher Allee 157-159
34121 Kassel



Hessische Landgesellschaft mbH



Gefördert vom Land 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



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	v
1. Ausgangssituation und Projektansatz.....	1
2. Ermittlung des Energiebedarfs	5
2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs.....	5
2.1.1 Energetische Anforderungen an Gebäude	7
2.2 Ermittlung des Strombedarfs.....	10
3. Potenzialermittlung zur Nutzung erneuerbarer Energien im Plangebiet	12
4. Wärmeversorgungskonzepte	15
4.1 Dezentrale Wärmeversorgungskonzepte.....	17
4.1.1 Variante 1: Objektlösung mit Gasbrennwerttherme und Solarthermie	17
4.1.2 Variante 2: Objektlösung mit dezentralen Luftwärmepumpen	18
4.1.3 Variante 3: Objektlösung dezentrale Sole-/Wasser Wärmepumpe mit Erdsonde.....	19
4.2 Zentrale Wärmeversorgungskonzepte	20
4.2.1 Variante 4: Nahwärmeversorgung mit Biomasse [Hackschnitzel]	21
4.2.2 Variante 5: Nahwärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung [Biomethan]	24
4.2.3 Variante 6: „kalte“ Nahwärmeversorgung.....	25
4.2.4 Variante 6a: „kalte“ Nahwärmeversorgung nur für die Mehrfamilienhäuser	29
4.3 Vergleich der Versorgungsvarianten.....	32
4.4 Zielsetzung Energie-Plus-Siedlung.....	34
5. Speichertechnologien	40
5.1 Wärmespeicher	41
5.2 Stromspeicher	43

5.3 Bewertung	45
6. Smart Grid	49
7. Zukunftsorientierte Mobilität	51
7.1 Variantenbetrachtung zur Reduktion des Endenergiebedarfes und der THG-Emissionen.....	53
7.2 Maßnahmen zur Verringerung von Lärmemissionen und Luftschadstoffen sowie des MIV-Aufkommens	59
7.3 Nutzung von lokal produziertem PV-Strom für E-Fahrzeuge und Möglichkeiten einer Sektorenkopplung	62
8. Umsetzungskonzept und Handlungsempfehlung.....	66
8.1 Betreibermodelle.....	70
8.2 Berücksichtigung des Plus-Energie-Standards im Rahmen von Grundstücksverkäufe und der Bauleitplanung.....	73
8.3 Kommunikationskonzept.....	77
8.4 Nutzerverhalten und Nutzersensibilisierung	79
8.5 Möglichkeiten zum Nachweis und Steuerung der Plus-Energie-Siedlung	82
8.6 Hinweise zur Bauplanung und Bauausführung	85
Literaturverzeichnis	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Städtebauliches Konzept; Stand 03.08.2018 (Quelle: Planungsgruppe Darmstadt).....	2
Abbildung 1.2:	Szenarien zur Entwicklung der Haushaltsstruktur im Plangebiet „Die vier Morgen“ (energielenker GmbH 2020).....	4
Abbildung 2.2:	Energiebedarf des Baugebietes „Die vier Morgen“ (energielenker GmbH 2020).....	11
Abbildung 3.1:	Aufbauprinzip eines Solargründaches (energielenker GmbH 2019)	13
Abbildung 4.1:	Technische Auslegung Wärmenetz (energielenker GmbH 2020)	21
Abbildung 4.2:	Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld (energielenker GmbH 2020)	26
Abbildung 4.3:	Potenzialflächen Erdsondenfeld zur Nutzung von Geothermie (energielenker GmbH 2020)	27
Abbildung 4.4:	Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld für Mehrfamilienhäuser (energielenker GmbH 2020).....	30
Abbildung 4.5:	Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 1 / Referenz-Variante: Erdgas-Brennwertheizung (energielenker GmbH 2020)	34
Abbildung 4.6:	Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 4: Nahwärmenetz mit Biomassekessel (energielenker GmbH 2020)	35
Abbildung 4.7:	Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 5: KWK mit Spitzenkessel (energielenker GmbH 2020)	36
Abbildung 4.8:	Bilanzierung Haushaltstrom und Strom für Variante 2: Luft-Wasser-Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020).....	37
Abbildung 4.9:	Bilanzierung Haushaltstrom und Strom für Variante 3: Sole-Wasser-Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020).....	38
Abbildung 5.1:	Überblick Speichertechnologien, gestrichelt: Für Eigenheime und Quartiere relevant (energielenker GmbH 2020)	41
Abbildung 6.1:	Grafische Zusammenfassung Smart Grid (Quelle: Smart City – Made in Germany, Etezadzadeh, Chirine)	49
Abbildung 7.1:	Strategien einer nachhaltigen Mobilität (energielenker GmbH 2020).....	51
Abbildung 7.2:	Relevante Akteure im Bereich nachhaltige Mobilitätsentwicklung im Quartier (energielenker GmbH 2020).....	52
Abbildung 7.3:	Endenergieverbrauch des Verkehrs (links) und THG-Emissionen des Verkehrs (rechts) (energielenker GmbH 2020).....	54

Abbildung 7.4:	Szenarien im Vergleich (energielenker GmbH 2020).....	57
Abbildung 7.5:	Maßnahmen nachhaltiger Mobilität im Quartier (energielenker GmbH 2020 auf Kartengrundlage des städtebaulichen Konzepts Planungsgruppe Darmstadt).	61
Abbildung 7.6:	Integration von Elektroautos in das Stromnetz (WWF/LichtBlick SE 2017).	63
Abbildung 8.1:	CO ₂ -Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020) .	69
Abbildung 8.2:	Mögliche Struktur des Betreibermodells (energielenker GmbH 2020)	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1:	Annahmen Szenarien Haushaltsstruktur (energielenker GmbH 2020).....	3
Tabelle 1.2:	Szenarien zur Verteilung der Haushaltsstruktur in Prozent und Anzahl der Bewohner im Plangebiet (energielenker GmbH 2020).....	3
Tabelle 2.1:	Anzahl der Wohngebäudetypen im Pangebiet und energetische Nutzflächen (energielenker GmbH 2020)	5
Tabelle 2.2:	Wärmebedarf pro Gebäudetyp (energielenker GmbH 2020)	6
Tabelle 2.3:	Jahreswärmebedarf nach Effizienzstandards (energielenker GmbH 2020)	6
Tabelle 2.4:	Wärmebedarf pro Gebäudetyp (energielenker GmbH 2020)	9
Tabelle 2.5:	Jahreswärmebedarf nach Effizienzstandards (energielenker GmbH 2020)	9
Tabelle 2.6:	Strombedarf (energielenker GmbH 2020)	10
Tabelle 2.7:	Gesamtenergiebedarf (energielenker GmbH 2020)	11
Tabelle 3.1:	Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Solarenergieerträge	12
Tabelle 3.2:	Potenzialermittlung Photovoltaik (PGIS 2020).....	13
Tabelle 4.1:	Durchschnittliche Gebäudetypen (Berechnungsgrundlage).....	16
Tabelle 4.2:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 1	17
Tabelle 4.3:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 2	18
Tabelle 4.4:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 3	19
Tabelle 4.5:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 4	22
Tabelle 4.6:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 5	24
Tabelle 4.7:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6	28
Tabelle 4.8:	Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6a	30
Tabelle 4.9:	Vergleich der Varianten 1 bis 6 (alle genannten Kosten zzgl. MwSt.) [*Bilanzielle Betrachtung einer Plus-Energie-Siedlung]	33
Tabelle 4.10:	Plus-Energie-Bilanz der Versorgungsvarianten	39
Tabelle 5.1:	Praxisbeispiele für Quartierseisspeicher	43
Tabelle 5.2:	Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; mögliche Stromgewinne (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020).....	47
Tabelle 5.3:	Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; Stromgewinne MFH (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020)	48

Tabelle 7.1:	Basisszenario - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	54
Tabelle 7.2:	Szenario „vermeiden und verlagern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	56
Tabelle 7.3:	Szenario „verbessern“ - verkehrsbezogener Endenergie-, Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen nach Kraftstoffen (energielenker GmbH 2020).....	57
Tabelle 7.4:	Szenarien im Vergleich – THG-Emissionen nach Energieträgern, Angaben in t (energielenker GmbH 2020)	58
Tabelle 8.1:	Gesamtbetrachtung und Bewertung der Versorgungsmöglichkeiten für das Baugebiet „Die vier Morgen“	68
Tabelle 8.2:	Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle (energielenker GmbH 2020)	71
Tabelle 8.3:	Übersicht rechtsverbindlicher Festsetzungen im B-Plan in Bezug auf Plus-Energie-Standard (energielenker 2020)	73
Tabelle 8.4:	Einflussbereiche durch Nutzerverhalten und energieeinsparende Beispiele (energielenker GmbH 2020).....	80
Tabelle 8.5:	Ablaufplan der Umsetzungskonzepte	87

1. Ausgangssituation und Projektansatz

Das Bundesland Hessen hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 den Energiebedarf für Strom und Wärme ausschließlich aus erneuerbaren Energien zu decken. Die Gemeinde Erzhausen orientiert sich an diesem Ausbauziel 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 Erzhausen im Zuge einer Siedlungsentwicklung auf einer Gesamtfläche von etwa 6,7 ha am nordöstlichen Ortsrand der Gemeinde.

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.

Das Plangebiet „Die vier Morgen“ wird durch eine zusammenhängende Baugebietsfläche definiert, welches jeweils durch öffentliche Verkehrsflächen sowie einer öffentlichen Grünfläche abgegrenzt wird (s. Abbildung 1.1).

Das Baugebiet grenzt im Norden an landwirtschaftlich genutzte Flächen, einer Kleingartenanlage sowie einer Streuobstwiese. Im Osten grenzt das Gebiet an eine Bahntrasse (Frankfurt-Darmstadt), im Süden und Westen an vorhandene Siedlungsstrukturen (überwiegend in Form von Einfamilienhäusern).

Der städtebauliche Entwurf (Stand 03.08.2018) sieht eine Bebauung mit zweigeschossigen Einzelhäusern (45), Doppelhaushälften (22) und Reihenhäusern (16) vor, welche teilweise mit einem Staffelgeschoss umgesetzt werden sollen. Darüber hinaus sind im Osten zwei- bis dreigeschossige Mehrfamilienhäuser (16) in geschlossener Bauweise geplant. Eine Kindertagesstätte ist mit zwei Vollgeschossen in der Mitte des Plangebiets vorgesehen. Insgesamt sollen 100 Gebäude für ca. 665 Bewohner entstehen.

Für das gesamte Plangebiet wird festgesetzt, dass ausschließlich Flachdächer und flach geneigte Dächer bis 5° zulässig sind. Lediglich für die 15 Einfamilienhäuser im Nord-Westen sind Satteldächer vorgesehen. Anlagen zur Solargewinnung sind auf den gesamten Dachflächen im Plangebiet zulässig.

Zudem sind auf allen Flachdächern, aus wasserwirtschaftlichen, ökologischen und klimatischen Gründen, extensive Gründächer vorgesehen.



Abbildung 1.1: Städtebauliches Konzept; Stand 03.08.2018 (Quelle: Planungsgruppe Darmstadt).

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 „Die vier Morgen“ erarbeitet. Dabei wurden drei Szenarien auf der Grundlage des städtebaulichen Konzepts (u. a. vorgesehene Gebäudetypen) mit folgenden Annahmen entwickelt.

Tabelle 1.1: Annahmen Szenarien Haushaltsstruktur (energielenker GmbH 2020)

Einpersonenhaushalt-Szenario	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Anteil an Einpersonenhaushalten (z. B. Studenten, Senioren) Begünstigt durch die Realisierung von kleineren Wohnungen innerhalb der Geschosswohnungsbauten (z. B. Studenten- und Seniorenwohnungen)
Basisszenario	<ul style="list-style-type: none"> Durchmischte Bewohner- und Haushaltsstruktur (Ein- und Mehrpersonenhaushalte) Begünstigt durch das ausgewogene Verhältnis zwischen Ein- und Doppelhäusern, Reihenhäusern und Geschosswohnungsbau Begünstigt durch Wohnungen und Gebäude die zukünftig eine modulare Nutzung durch flexible Grundrisse mit variabler Nutzung von Flächen ermöglichen
Mehrpersonenhaushalt-Szenario	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Anteil an großen Haushalten durch z. B. Familien, Wohngruppen Begünstigt durch die Realisierung von großen Wohnraumflächen für Familien oder gemeinschaftliche Wohnprojekte

Die Tabelle und Grafik 2 geben eine Übersicht der drei Szenarien zur Verteilung der Haushaltsstruktur und Anzahl der Bewohner im Wohngebiet „Die vier Morgen“:

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

	Einpersonenhaushalt-Szenario	Basisszenario	Mehrpersonenhaushalt-Szenario
1 Personenhaushalte	55,7%	27,7%	14,5%
2 Personenhaushalte	28,3%	33,7%	24,5%
3 Personenhaushalte	9,4%	21,1%	25,7%
4 Personenhaushalte	4,3%	12,6%	24,1%
5 + Personenhaushalte	2,3%	4,9%	11,2%
Anzahl Bewohner gesamt	592	665	730

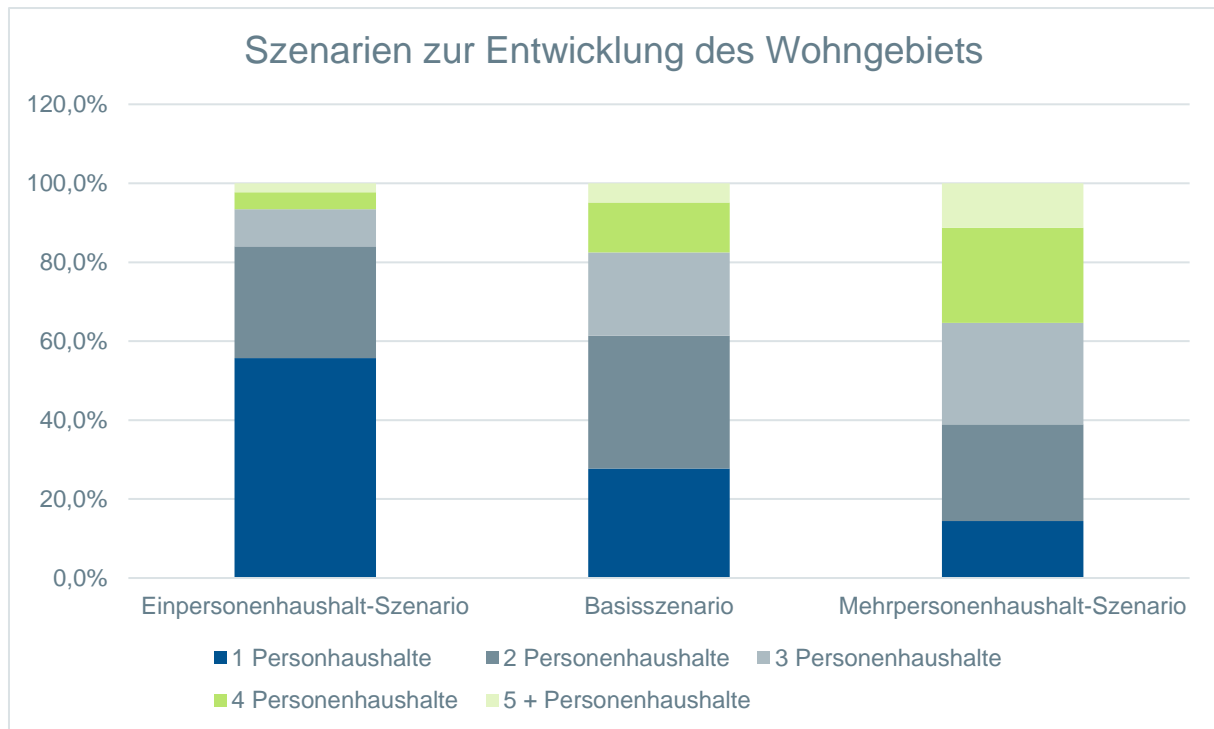


Abbildung 1.2: Szenarien zur Entwicklung der Haushaltsstruktur im Plangebiet „Die vier Morgen“ (energielenker GmbH 2020)

Zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs wurde die Haushaltsverteilung aus dem Basisszenario herangezogen. Demnach leben zukünftig im Plangebiet 665 Personen in 285 Haushalten.

2. Ermittlung des Energiebedarfs

Der Gesamtenergiebedarf 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, inkl. der energetischen Nutzfläche, zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs.

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

Gebäudetyp	Gebäude Anzahl	energ. Nutzfläche [m ²]
EFH	45	224
DH	22	162
RH	16	162
MFH I	12	907
MFH II	4	851
Kita	1	1.861

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 ²]	[kWh/a]	[kWh/a]
EFH	45	224	12.372	556.726
DH	22	162	8.303	182.655
RH	16	162	8.303	132.840
MFH	16	893	39.740	635.834
Kita	1	1.861	111.648	111.648

In Summe ergibt sich für das Baugebiet ein Jahreswärmebedarf von ca. 1.620 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]
EFH	45	556.726	439.336	338.340
DH	22	182.655	148.797	114.939
RH	16	132.840	108.216	83.592
MFH	16	635.834	521.527	407.219
Kita	1	111.648	93.040	74.432
Gesamt	100	1.619.702	1.310.916	1.018.522

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 Energie-Einsparung 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.

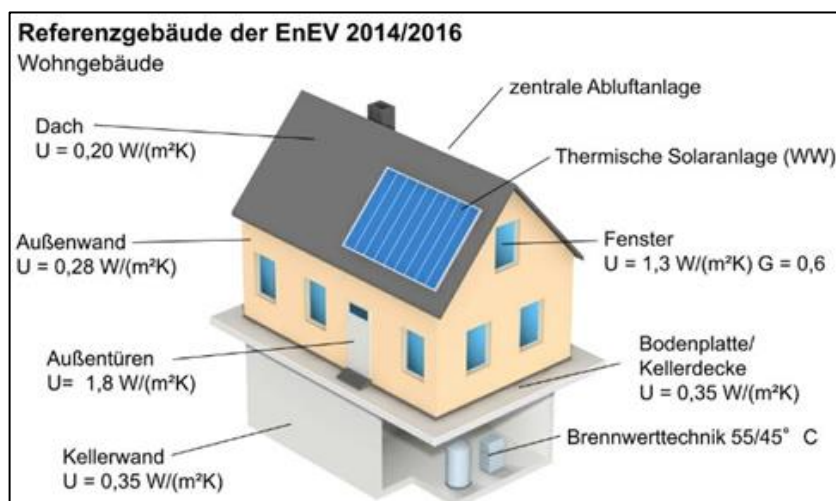


Abbildung 1.3: Übersicht der Anforderungswerte des Referenzgebäudes für ein Wohngebäude

Voraussichtlich im Oktober 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

erscheinen¹. 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)². Mit solchen Förderprogrammen soll der Reiz gesetzt werden, energieeffizient zu bauen und zu sanieren.

¹ Vgl. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gebaeudeenergiegesetz-zusammengefasst.pdf?__blob=publicationFile&v=8

² 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)

Tabelle 2.4: Wärmebedarf pro Gebäudetyp (energielenker GmbH 2020)

Gebäudeart	Gebäude	energ. Nutzfläche	Jahreswärmebedarf pro Gebäude EnEV-Standard	Jahreswärmebedarf gesamt EnEV-Standard
	Anzahl	[m ²]	[kWh/a]	[kWh/a]
EFH	45	224	12.372	556.726
DH	22	162	8.303	182.655
RH	16	162	8.303	132.840
MFH	16	893	39.740	635.834
Kita	1	1.861	111.648	111.648

In Summe ergibt sich für das Baugebiet ein Jahreswärmebedarf von ca. 1.620 MWh/a. Analog dazu ergeben sich die Werte für die energetischen Standards „KFW Effizienzhaus 55“ und „KFW-Effizienzhaus 40“ (s. Tabelle 2.3).

Tabelle 2.5: 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]
EFH	45	556.726	439.336	338.340
DH	22	182.655	148.797	114.939
RH	16	132.840	108.216	83.592
MFH	16	635.834	521.527	407.219
Kita	1	111.648	93.040	74.432
Gesamt	100	1.619.702	1.310.916	1.018.522

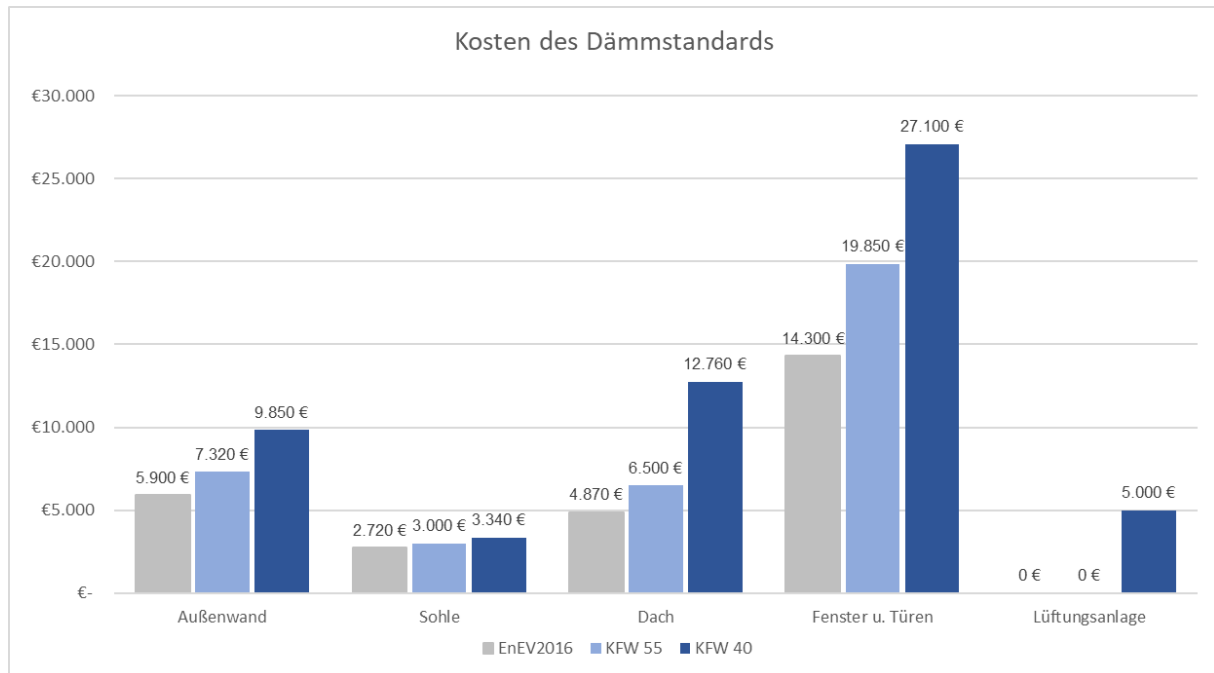


Abbildung 2.1: Mehrkosten durch höheren Dämmstandard (energielenker GmbH 2020)

2.2 Ermittlung des Strombedarfs

Der zukünftige Strombedarf wurde anhand der geplanten Gebäude, Wohneinheiten und Haushaltsgrößen auf der Grundlage des städtebaulichen Konzepts abschätzt (s. Kapitel 1).

Tabelle 2.6: Strombedarf (energielenker GmbH 2020)

Personen pro Haushalt		spez. Verbrauch	Anzahl der Haushalte ca.:	Haushaltsstrom Verbrauch
4+	Personen	4.000 kWh/a	50	200.000 kWh
3	Personen	3.400 kWh/a	60	204.000 kWh
2	Personen	2.700 kWh/a	96	259.200 kWh
1	Personen	1.600 kWh/a	78	124.800 kWh
Kita		kWh/m²a		27.912 kWh
			Summe:	815.912 kWh

Der zukünftige Gesamtenergiebedarf setzt sich aus dem Wärmebedarf 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 2.7: Gesamtenergiebedarf (energielenker GmbH 2020)

Gebäudestandard	Wärmebedarf	Strombedarf	Gesamtenergiebedarf
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
EnEV	1.619.700	815.912	2.430.000
KfW 55	1.310.900	815.912	2.130.000
KfW 40	1.018.522	815.912	1.834.000

Der jährliche Gesamtenergiebedarf im Plangebiet wird je nach realisiertem, energetischem Standard der Gebäude zwischen 1.834.000 kWh (KfW 40) und 2.430.000 kWh (EnEV / gesetzliche Mindestanforderung) liegen. Folgendes Diagramm zeigt die Energiebedarfe für das zukünftige Wohngebiet „Die vier Morgen“:

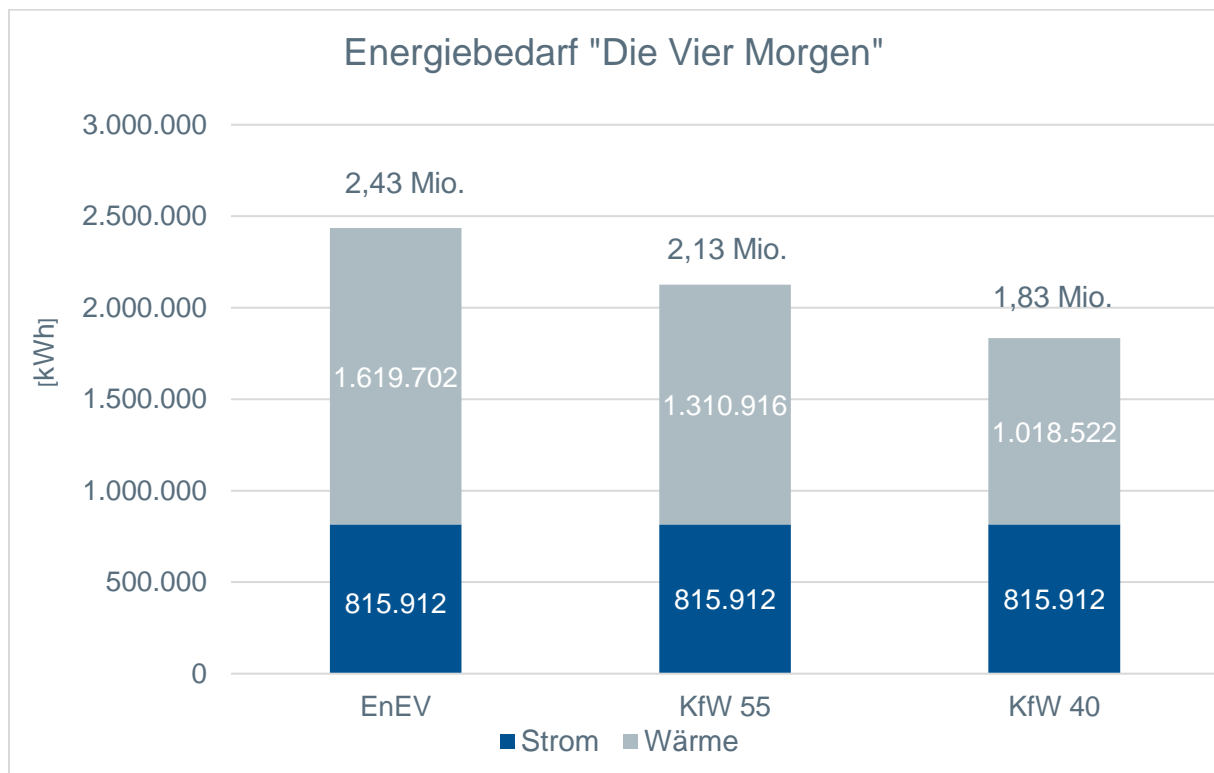


Abbildung 2.1: Energiebedarf des Baugebietes „Die vier Morgen“ (energielenker GmbH 2020)

3. Potenzialermittlung zur Nutzung erneuerbarer Energien im Plangebiet

Stromversorgung aus erneuerbaren Energien

Für die Ermittlung der zukünftigen Sonnenenergieerträge im Baugebiet „Die vier Morgen“ wurden als Referenzobjekt ein Einfamilienhaus (EFH) sowie ein Mehrfamilienhaus (MFH) herangezogen, welches auf der Solar-Strahlungsdatenbank PVGIS der Europäischen Union berechnet wurde. Die ermittelten spezifischen Verbräuche des EFH wurden auf Reihen- und Doppelhäuser angewendet.

Tabelle 3.1: Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Solarenergieerträge

Flachdachflächen	
Einfamilienhaus	120 m ²
Reihenhaus	50 m ²
Doppelhaus	80 m ²
Mehrfamilienhaus	300 m ²
Flächenbedarf bei Südausrichtung	ca. 10 m ² pro kWp
Spezifischer Ertrag bei Südausrichtung	1.050 kWh/kWp

Unter den genannten Voraussetzungen können im Wohngebiet „Die vier Morgen“ folgende Mengen an Photovoltaikstrom produziert werden:

Tabelle 3.2: Potenzialermittlung Photovoltaik (PGIS 2020)

Gebäude	Generatorgröße	spez. Stromertrag	Anzahl Gebäude	Stromerzeugung
EFH	9,2kWp	1.050 kWh/kWp	45	438.000 kWh/a
MFH	26,2 kWp	1.050 kWh/kWp	16	444.000 kWh/a
RH	4,5 kWp	1.050 kWh/kWp	16	76.000 kWh/a
DH	7,2 kWp	1.050 kWh/kWp	22	168.000 kWh/a
Kita	36 kWp	1.050 kWh/kWp	1	38.000 kWh/a
Summe:				1.160.000 kWh/a

Im Baugebiet können bei maximaler PV-Belegung der Dachflächen jährlich ca. 1.160.000 kWh Strom regenerativ erzeugt werden.

Laut dem städtebaulichen Konzept vom 03.08.2018 sind im Plangebiet Retentionsdächer mit extensiver Begrünung 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 4.1). 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.

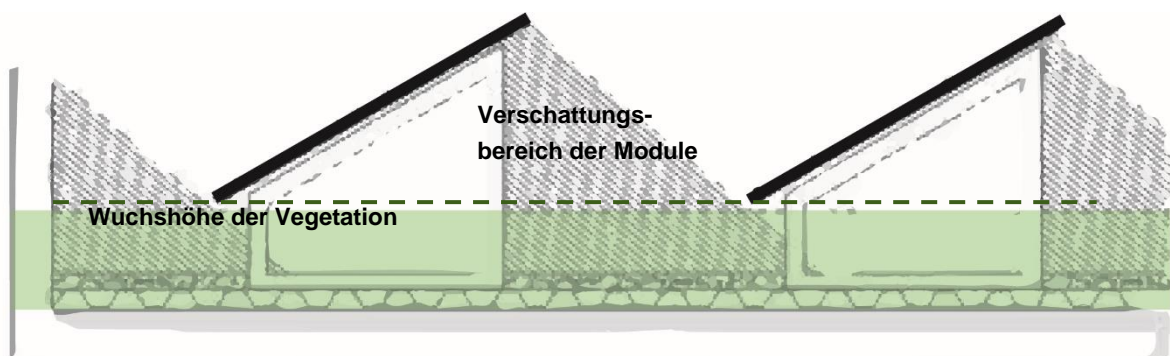


Abbildung 3.1: Aufbauprinzip eines Solargründaches (energielenker GmbH 2019)

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 den vorgesehenen Flachdächern im Baugebiet „Am Silberbach“ 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 Erzhausen untersucht. Als Versorgungslösungen wurden dazu sowohl vorhandene örtliche Wärmequellen als auch neu zu errichtende Anlagen untersucht.

Als potenzielle Abwärmequelle kommt die nahegelegene Biogasanlage Darmstadt-Wixhausen II in Betracht. Diese wird von der entega AG betrieben und das erzeugte Biogas wird ins Erdgasnetz eingespeist. Die Anlage liegt ca. 1500 m Luftlinie vom Plangebiet entfernt. Ein Wärmenetz über öffentliche Verkehrswege von der Biogasanlage zum Wohngebiet hätte eine Mindeslänge von ca. 2200 m. Die anfallende Wärme wird intern genutzt. Es entsteht keine überschüssige Wärme. Aus dem lässt sich keine Einbindung der Biogasanlage Wixhausen II realisieren.

Da das Wohngebiet „Die vier Morgen“ am Rande der Gemeinde Erzhausen 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. 32.000 kWh ebenfalls kein ausreichendes Potenzial dar.

Neben der Biogasanlage wurden in der Studie Abwärmequellen aus den Industrie- und Gewerbebetrieben untersucht. In der weiteren 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.

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 anteilig 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 „Die vier Morgen“ 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)
- Wärmenetz mit Biomassekessel (Variante 4)
- Wärmenetz mit Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage und Biomassekessel (Variante 5)
- Kaltes Netz mit Erdsondenfeld als Wärmequelle und dezentralen Wärmepumpen (Variante 6)
- Kaltes Netz mit Erdsondenfeld als Wärmequelle und dezentralen Wärmepumpen nur für die Mehrfamilienhäuser (Variante 6a)

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 wurde 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) stellvertretend für die großen und kleinen Mehrfamilienhäuser jeweils mit und ohne Gewerbe, der Kita sowie die gesonderten Wohnform Senioren- und betreutes Wohnen definiert. Durch die beiden Referenzgebäude ist es möglich die untersuchten Versorgungslösungen nachvollziehbar zu vergleichen.

Die Berechnungsgrundlage und die Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung dieser beiden Referenzgebäude sind in der nachfolgenden Tabelle 4.1 dargestellt. Die ermittelten Kosten werden aus Lieferanten-Sicht betrachtet. Die spezifischen Kosten sind

Wärmegesteuerungskosten der Versorgungssysteme und werden mit entsprechenden Gewinnaufschlägen, je nach Betreiber, auf den Wärmekunden umgelegt.

Tabelle 4.1: Durchschnittliche Gebäudetypen (Berechnungsgrundlage)

	ØEFH	ØMFH
Wohnfläche	200 m ²	1.000 m ²
Nutzfläche	256 m ²	890 m ²
Heizleistung	9 kW	17,5 kW
Wärmebedarf	12.500 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	900,00 €/kW	8.100 €
Solarthermie	5	m ²		5.000,00 €
Baukostenzuschuss Erdgasnetz				1.800,00 €
Hausanschlusskosten				2.200,00 €
				17.100,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				1.149,39 €
Betrieb				
Brennstoffkosten Erdgas	13.889	kWh	0,05 €/kWh	694,44 €
Schornsteinfeger	1	pauschal		200,00 €
Instandhaltung			1%	171,00 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	139	kWh	0,25 €/kWh	34,72 €
Gesamt				1.100,17 €
Grundpreis				1.149,39 €
Arbeitspreis				0,09 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.249,56 €
Wärmekosten pro kWh Wärme				0,18 €

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 1.149,39 € (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. 9 ct/kWh (netto). Insgesamt ergeben sich aus der Vollkostenrechnung für den Verbraucher bei einem EFH Gesamtkosten von 2.250 €/a, woraus sich ein durchschnittlicher Wärmepreis von 18 ct/kWh ableiten lässt.

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 €
Förderung			35%	-4.375,00 €
Photovoltaik (anteilig)	3,7	kWp	1.200,00 €	4.440,00 €
				14.065,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				945,39 €
Betrieb				
Stromkosten	3.906	kWh	0,25 €/kWh	976,50 €
Instandhaltung			3%	421,95 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	39	kWh	25%	9,75 €
Gesamt				1.408,20 €
Grundpreis				945,39 €
Arbeitspreis				0,11 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.353,59 €
Wärmekosten pro kWh Wärme				0,19 €

Bei der Objektversorgung durch eine Luftwärmepumpe ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 945,39 € 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). Aus der Vollkostenrechnung ergeben sich bei dem EFH für den Wärmeabnehmer Gesamtkosten von 2.353,59 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 19 ct/kWh (netto).

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der Förderung	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA				

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 Liegenschaft über eine Sole-/Wasserwärmepumpe mit Wärme versorgt wird. Als Wärmequelle dienen dezentrale Erdwärmesonden [EWS].

Tabelle 4.4: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 3

Sole-Wasser-Wärmepumpe				
Investition				
Sole-Wasser-Wärmepumpe	9	kW		9.500 €
EWS	190	m	60,00 €/m	11.400 €
Pufferspeicher	1			1.500 €
Photovoltaik (anteilig)	2,6	kWp	1.200 €/kWp	3.120,00 €
Förderung			35%	- 7.315,00 €
				18.205,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				1.223,66 €
Betrieb				
Stromkosten	2.778	kWh	0,25 €/kWh	694,50 €
Instandhaltung			3%	546,15€
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	28	kWh	25%	6,95 €
Gesamt				1.247,60 €
Grundpreis				1.223,66 €
Arbeitspreis				0,10 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.471,26 €
Wärmekosten pro kWh Wärme				0,20 €

Bei der Objektversorgung durch eine Sole-Wasserwärmepumpe ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.223,66 € 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 berücksichtigt. 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

2.471,26 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 20 ct/kWh (netto).

Fördermöglichkeiten:

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

4.2 Zentrale Wärmeversorgungskonzepte

Die vorgeschlagenen Energieversorgungslösungen sehen neben der dezentralen und individuellen Wärmeversorgungsmöglichkeit auch eine gemeinschaftliche Energieversorgung der Wohngebäude vor. Hierzu könnte ein Nahwärmenetz aufgebaut werden, das von einer Heizzentrale 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 4.1: Technische Auslegung Wärmenetz (energielenker GmbH 2020)

Im Bereich der Kindertagesstätte, könnte die erforderliche Heizzentrale mit der entsprechenden Versorgungstechnik aufgebaut werden. Diese beinhaltet die nötige Anlagentechnik, wie Pumpen, Druckhaltung und Steuerungstechnik. Zudem sollten Spitzenlastkessel in der Heizzentrale vorgesehen werden.

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 4.1 dargestellt) eingespeist. Es werden alle Häuser entlang der Versorgungsstrasse 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.

4.2.1 Variante 4: Nahwärmeversorgung mit Biomasse [Hackschnitzel]

In dieser Variante (4) 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 4.5: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 4

Nahwärmenetz Biomasse-Wärmeerzeuger				
Investition				
Heizzentrale inkl. Brennstofflager	1	Stück		150.000 €
Holzkessel	600	kW	500 €/kW	300.000,00 €
Pufferspeicher	1	Stück		25.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1000	m	200 €/m	200.000,00 €
Hausanschlüsse	2500	m	180 €/m	450.000,00 €
Nebenkosten (u.A. Planungsleistungen)	pauschal		15%	251.640,00 €
Wärmeübergabestationen EFH	83	Stück	3.700 €	307.100,00 €
Wärmeübergabestationen MFH	17	Stück	11.500 €	195.500,00 €
Förderung				-240.000,00 €
Gesamt				1.689.240,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				113.543,46 €
Betrieb				
Brennstoffkosten Hackschnitzel	2.263.666	kWh	0,035 €/kWh	79.228,31 €
Ascheentsorgung			3 %	2.376,85 €
Instandhaltung			2 %	33.784,80 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	13.109	kWh	0,25 €/kWh	3.277,25 €
Wagnis und Gewinn (Netzbetreiber)			15%	34.831,60 €
Gesamt				153.498,91 €
Grundpreis				1.135,43 €
Arbeitspreis				0,12 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.635,43 €
Wärmekosten pro kWh Wärme				0,21 €

Bei einer zentralen Wärmeversorgung mit einem Holzhackschnitzelkessel als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.135 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung und 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 2.636 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 21 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
Förderung über „Marktanreizprogramm (MAP)“ - BMWi				
Biomasse (Holz)	Tilgungszuschuss	50 €/kW _{th} Leistung, 60 €/m Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren
KFW 271 Erneuerbare Energien Premium				
Biomassekessel	Tilgungszuschuss	Grundförderung 20 €/kW Bonus niedrige Staubemissionen 20 €/kW Bonus für Pufferspeicher 10 €/kW max. 100.000 je Anlage	max 15mg/m ³ min. 30 l/kW	<ul style="list-style-type: none"> Natürliche Personen Gemeinnützige Antragsteller Freiberufler Unternehmen Kommunen, Gemeindeverbände
Wärmenetz	Tilgungszuschuss	60 €/m max. 1 Mio € je Netz		

4.2.2 Variante 5: Nahwärmeversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung [Biomethan]

Die Variante 5 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 4.6: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 5

Nahwärmenetz mit Kraft-Wärmekopplung				
Investition				
Heizzentrale	1	Stück		50.000,00 €
BHKW 50 kW el / 98 kW th	2	Stück	90.000 €	180.000 €
BHKW Erneuerung nach 10 Jahren	2	Stück	90.000 €	180.000 €
Spitzenkessel	600	kW	100 €/kW	60.000,00 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1000	m	200 €/m	200.000,00 €
Hausanschlüsse	2500	m	180 €/m	450.000,00 €
Wärmeübergabestationen EFH	83	Stück	3.700 €	307.100,00 €
Wärmeübergabestationen MFH	17	Stück	11.500 €	195.500,00 €
Nebenkosten (u.A. Planungsleistungen)	pauschal		15%	250.890,00 €
				- 217.840,00 €
				1.705.650,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				114.646,47 €
Betrieb				
Erzeugter Strom	485.000	kWh	0,20 €/kWh	97.000,00 €
Brennstoffkosten BHKW 1	891.000	kWh	0,07 €/kWh	62.370,00 €
Brennstoffkosten BHKW 2	680.400	kWh	0,07 €/kWh	47.628,00 €
Brennstoffkosten Spitzenkessel	1.081.684	kWh	0,07 €/kWh	75.717,88 €
Instandhaltung BHKW			3%	14.550,00 €
Instandhaltung Anlagen			2%	30.513,00 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	13.109	kWh	0,25 €/kWh	3.277,25 €
Wagnis und Gewinn (Netzbetreiber)			15%	37.263,80 €
				174.319,93 €
Grundpreis				1.146,46 €
Arbeitspreis				0,13 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.771,46 €
				0,22 €

Bei einer zentralen Wärmeversorgung mit einem Biogas-BHKW als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.147 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung und 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 2.772 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 22 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
Förderung über „Marktanreizprogramm (MAP)“ - BMWi				
BHKW (Biomethan)	Tilgungszuschuss	40 €/kW _{th} Leistung, 60 €/m Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

4.2.3 Variante 6: „kalte“ Nahwärmeversorgung

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 Wärmeerzeuger 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.

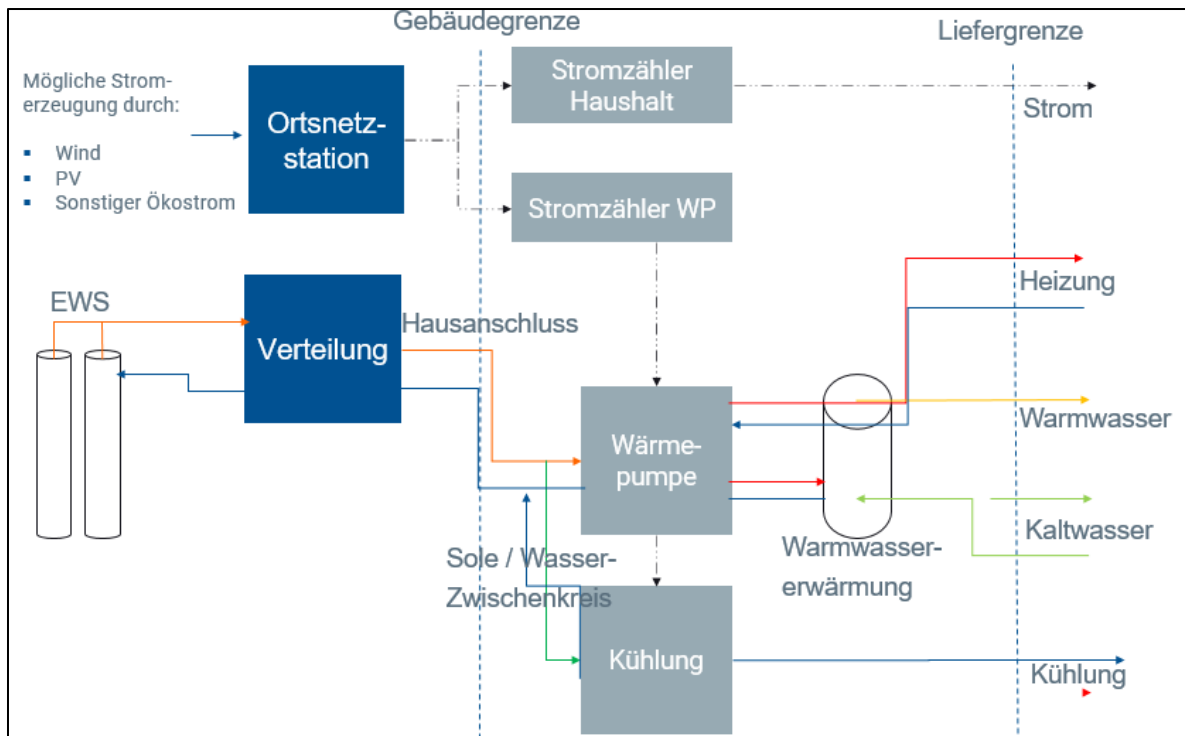


Abbildung 4.2: Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld (energielenker GmbH 2020)

Die insgesamt ca. 145 Sonden (Sonden-Abstand 6 m), die für die Beheizung der zukünftigen Gebäude nötig wären, könnten im zentralen Bereich der Grünfläche im Plangebiet realisiert werden (s. Abbildung 6). Die erforderliche Fläche zur gemeinschaftlichen Versorgung beträgt etwa 4.500 m² und wäre innerhalb der unbebauten Grünfläche gegeben. Eine Erweiterung des Erdsondenfeldes wäre auch entlang des nördlich liegenden Grünzuges denkbar.

Durch einen sogenannten Thermal-Response-Test (TRT) wurde bereits die Ergiebigkeit der Geothermie für das Plangebiet in Erzhausen ermittelt. Zur Durchführung dieser Messung hat das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) bereits Probebohrungen durchgeführt. Mithilfe der Bohrungen konnten folgende geothermischen Eigenschaften (Anzahl und Tiefe der Erdsonden) für die Versorgung eines des ØEFH ermittelt werden:

- 1 EWS a 147 m
- 2 EWS a 78 m
- 3 EWS a 53 m



Abbildung 4.3: Potenzialflächen Erdsondenfeld zur Nutzung von Geothermie (energielenker GmbH 2020)

Tabelle 4.7: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6

Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld				
Investition				
Heizzentrale	1	Stück		50.000,00 €
Erdsondenfeld	14.500	Bohrmeter	60 €	870.000 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		50.000,00 €
Nahwärmenetz	1000	m	150 €	150.000,00 €
Hausanschlüsse	2500	m	120 €	300.000,00 €
Wärmepumpe EFH	83	Stück	9.500 €	788.500,00 €
Nebenkosten (Planungsleistungen)	pauschal		15%	358.815,00 €
Wärmepumpe MFH	17	Stück	10.800 €	183.600,00 €
Förderung WP			35%	- 557.585,00 €
Photovoltaik (anteilig)	198	kWp	1.200 €	237.600,00 €
				2.343.780,00 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				157.538,83 €
Betrieb				
Strombedarf aus PV-Anlage	208.296	kWh	0,25 €	52.074,00 €
Instandhaltung Wärmepumpe			1%	7.885,00 €
Instandhaltung Anlagen			1%	14.737,80 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	13.109	kWh	0,25 €	3.277,25 €
Wagnis und Gewinn (Netzbetreiber)			15%	35.326,93 €
				113.300,98 €
Grundpreis				1.575,39 €
Arbeitspreis				0,09 €
Wärmekosten EFH pro Jahr				2.700,39 €
				0,22 €

Bei einer zentralen „kalten“ Wärmeversorgung mit dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen als Wärmeerzeuger ergibt sich für den Wärmeabnehmer ein Grundpreis von 1.576 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung und 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. 2.700 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 22 ct/kWh (netto).

Fördermöglichkeiten:

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

4.2.4 Variante 6a: „kalte“ Nahwärmeversorgung nur für die Mehrfamilienhäuser

Diese Versorgungsvariante entspricht in großen Teilen der Variante 6. In dieser Variante werden jedoch ausschließlich die Mehrfamilienhäuser an ein zentrales kaltes Nahwärmenetz angeschlossen (Siehe Lageplan). Die Einfamilienhäuser werden dezentral entsprechend den Versorgungsvarianten 2 (Luft-/Wasser-Wärmepumpe) oder Variante 3 (Sole-/Wasser-Wärmepumpe) versorgt.



Abbildung 4.4: Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsondenfeld für Mehrfamilienhäuser (energielenker GmbH 2020)

Der Wärmebedarf der Mehrfamilienhäuser beträgt im KfW 55 Standard ca. 521.500 kWh/a (siehe Tabelle 2.3). Zur Deckung des Wärmebedarfes wären ca. 72 Erdsonden mit einer Tiefe von 100 m notwendig. Bei einem Sondenabstand von 6 m beträgt die erforderliche Fläche für das Sondenfeld ca. 2.600 m² und wäre innerhalb der unbebauten Grünfläche gegeben.

Tabelle 4.8: Konzeption und Grobdimensionierung für die Versorgungsvariante 6a

Kaltes Nahwärmenetz für MFH mit Erdsondenfeld				
Investition				
Heizzentrale	1	Stück		50.000,00 €
Erdsondenfeld	7.200	Bohrmeter	60 €	432.000 €
Netzpumpen / Druckhaltung / Regelung		pauschal		33.000,00 €
Nahwärmenetz	357	m	150 €	53.550,00 €
Hausanschlüsse	240	m	120 €	28.800,00 €
Wärmeübergabe	16	Stück	2.500 €	40.000,00 €

Wärmepumpe MFH	16	Stück	10.800 €	172.800,00 €
Nebenkosten (u.A. Planungsleistungen)	pauschal		15%	121.522,50 €
Förderung WP			35%	-225.680,00 €
Photovoltaik (anteilig)	124	kWp	1.200 €	148.800,00 €
				854.792,50 €
Kapitalkosten über 20 Jahre bei 3 %				57.455,52 €
Betrieb				
Strombedarf aus PV-Anlage	130.382	kWh	0,25 €	32.595,50 €
Instandhaltung Wärmepumpe			1%	1.728,00 €
Instandhaltung Anlagen			1%	4.227,93 €
Hilfsenergie Strom Netzpumpen	5.215	kWh	0,25 €	1.303,75 €
Wagnis und Gewinn (Netzbetreiber)			15%	14.596,61 €
				54.451,79 €
Grundpreis				3.590,97 €
Arbeitspreis				0,10 €
Wärmekosten MFH pro Jahr				6.850,51 €
				0,21 €

Bei einer zentralen „kalten“ Wärmeversorgung nur für die Mehrfamilienhäuser mit Sole-Wasser-Wärmepumpen als Wärmeerzeuger ergibt sich für jedes Mehrfamilienhaus ein Grundpreis von 3.591 € pro Jahr (netto). Im Grundpreis werden die Kosten für die Investitionen in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung und im Arbeitspreis die Kosten für den Strom, Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Anlagentechnik berücksichtigt. Aus der Vollkostenrechnung ergeben für eine Mehrfamilienhaus Gesamtkosten von ca. 6.850 €/a (netto) und auf den Verbrauch bezogen ein durchschnittlicher Wärmepreis von 21 ct/kWh (netto). Die Kosten für die Einfamilienhäuser entsprechen den Berechnungen der Varianten 2 oder 3

Fördermöglichkeiten:

Variante	Art und Höhe der	Förderfähige Kosten	Technische Voraussetzungen	Antragsteller
----------	------------------	---------------------	----------------------------	---------------

	Förderung			
Förderprogramm „Heizen mit erneuerbaren Energien“ - BAFA				
Kaltes Nahwärmenetz	35 % der förderfähigen Kosten	Erdsondenfeld, Wärmepumpe, Hausübergabestationen, Nahwärmenetz		Eigentümer, Pächter, Mieter des Grundstücks oder des Gebäudes, Contractoren

4.3 Vergleich der Versorgungsvarianten

Insgesamt wurden sechs verschiedene Wärmeversorgungsvarianten untersucht. Die Variante 1 stellt die Basisvariante dar. Ein Einfamilienhaus mit einer Erdgas-Brennwert-Heizung zur Heizwärmeerzeugung und einer Solarthermieranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung stellt in Bestandswohngebieten noch den Stand der Technik dar. In Neubaugebieten stellt es sich etwas anders dar. 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. Auch die Entega plant derzeit keine vollständige Erdgasversorgung für das Baugebiet „Die vier Morgen“. Eine Erdgasversorgung käme lediglich bei einer ganz oder teilweisen Kostenübernahme durch die Gemeinde Erzhausen (Baukostenzuschüsse) zustande. Allein in der genannten Variante 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 CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarfe und -faktoren dargestellt. Für alle Varianten wurden jeweils zwei verschiedene CO₂-Emissionen bestimmt. Die bilanziellen CO₂-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 CO₂-Emissionen werden für den genutzten Wärmepumpen und Hilfsenergiestrom spezifische CO₂-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.

Tabelle 4.9: Vergleich der Varianten 1 bis 6 (alle genannten Kosten zzgl. MwSt.) [*Bilanzielle Betrachtung einer Plus-Energie-Siedlung]

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 6a
	dezentral			zentral Nahwärmenetz		zentral „kalte Nahwärme“	„kalte Nahwärme“ MFH
	Brennwert-Heizung mit Solarthermie	Luft-/Wasser-Wärmepumpe	Sole-/Wasser-Wärmepumpe	Biomasse	BHKW	Erdsondenfeld	Erdsonden
Energieträger	Erdgas	Umweltwärme	Geothermie	Holz	Biomethan	Geothermie	Geothermie
Investitionskosten	17.100 €	18.440 €	22.400 €	1.677.600 €	1.672.600 €	2.988.515 €	1.080.500 €
Mögliche Fördermittel	0	4.375 €	6.615 €	240.000 €	217.840 €	644.735 €	225.700 €
Investitionskosten nach Förderung	17.100 €	14.065 €	15.785 €	1.437.600 €	1.454.760 €	2.343.780 €	854.800 €
Kapitalkosten	1.149 €	945 €	1.224 €	113.543 €	114.646 €	157.539 €	57.455 €
Brennstoff-/Stromkosten	694 €	977 €	695 €	79.228 €	88.716 €	52.074 €	32.600 €
Betriebsführung / Instandhaltung	406 €	432 €	553 €	74.271 €	85.604 €	61.227 €	21.850 €
Wärmekosten je EFH pro Jahr	2.249,59 €	2.353,59 €	2.471,26 €	2.635,43 €	2.771,46 €	2.700,39 €	
Wärmepreis je kWh Wärme	0,18 €	0,19 €	0,20 €	0,21 €	0,22 €	0,22 €	0,21 €
CO ₂ -Emissionen bilanziell*	294 t CO ₂	0 t CO ₂	0 t CO ₂	66 t CO ₂	132 t CO ₂	0 t CO ₂	0 t CO ₂
CO ₂ -Emissionen absolut	301 t CO ₂	227 t CO ₂	158 t CO ₂	73 t CO ₂	139 t CO ₂	119 t CO ₂	119 t CO ₂
Primärenergiebedarf FW309-1 bilanziell*	1.602.231 kWh	0 kWh	0 kWh	452.733 kWh	-31.458 kWh	0 kWh	0 kWh
Primärenergiefaktor FW309-1 bilanziell*	1,22	0	0	0,35	0	0	0
Primärenergiebedarf FW309-1 absolut	1.625.827 kWh	760.987 kWh	547.963 kWh	476.329 kWh	5.247 kWh	398.529 kWh	398.529 kWh
Primärenergiefaktor FW309-1 absolut	1,24	0,58	0,42	0,36	0,0	0,30	0,30

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 2.2) für das zukünftige Wohngebiet herangezogen. Neben dem Energiebedarf für Strom und Wärme, lässt sich in der Abbildung 4.5 das Potenzial an erneuerbaren Energien ablesen, welches innerhalb des zukünftigen Wohngebiets erreicht werden könnte. Das Potenzial ergibt sich aus der Stromerzeugung mittels Photovoltaik mit 1.160.000 kWh im Jahr (s. Kapitel 3).

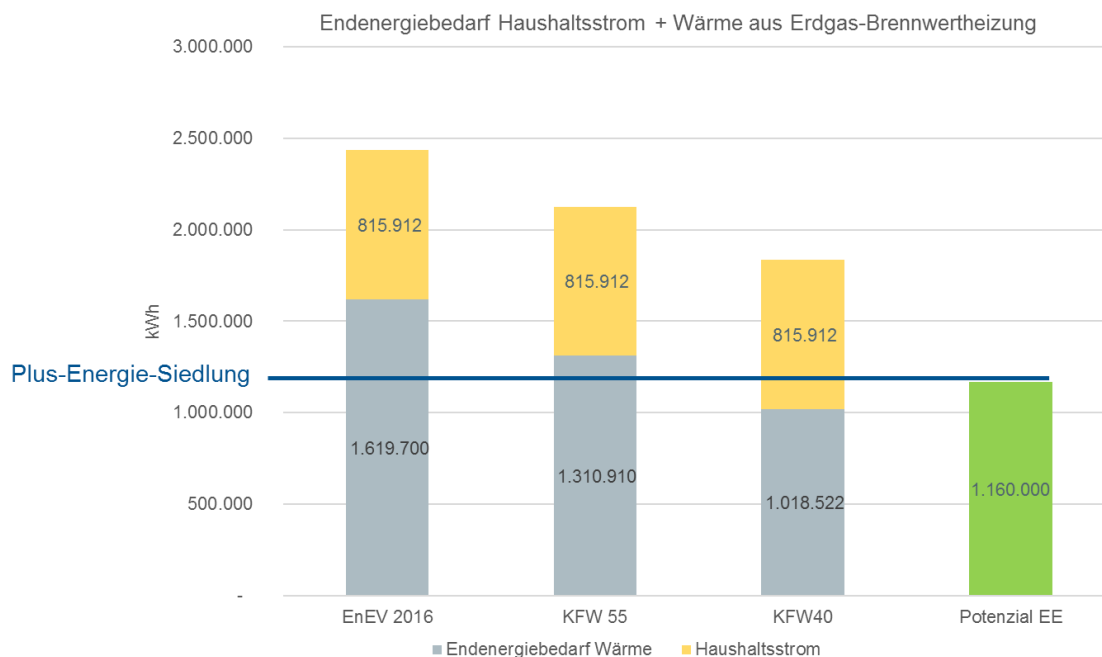


Abbildung 4.5: Bilanzierung Haushaltstrom und Wärme aus Variante 1 / Referenz-Variante: Erdgas-Brennwertheizung (energielenker GmbH 2020)

Die Abbildung 4.6 zeigt die Bilanzierung des Haushaltsstroms und der Wärme für Variante 4 auf. Der größere Heizwärmebedarf, gegenüber der Referenz-Variante, resultiert aus den Wärmeverlusten des Nahwärmenetzes.

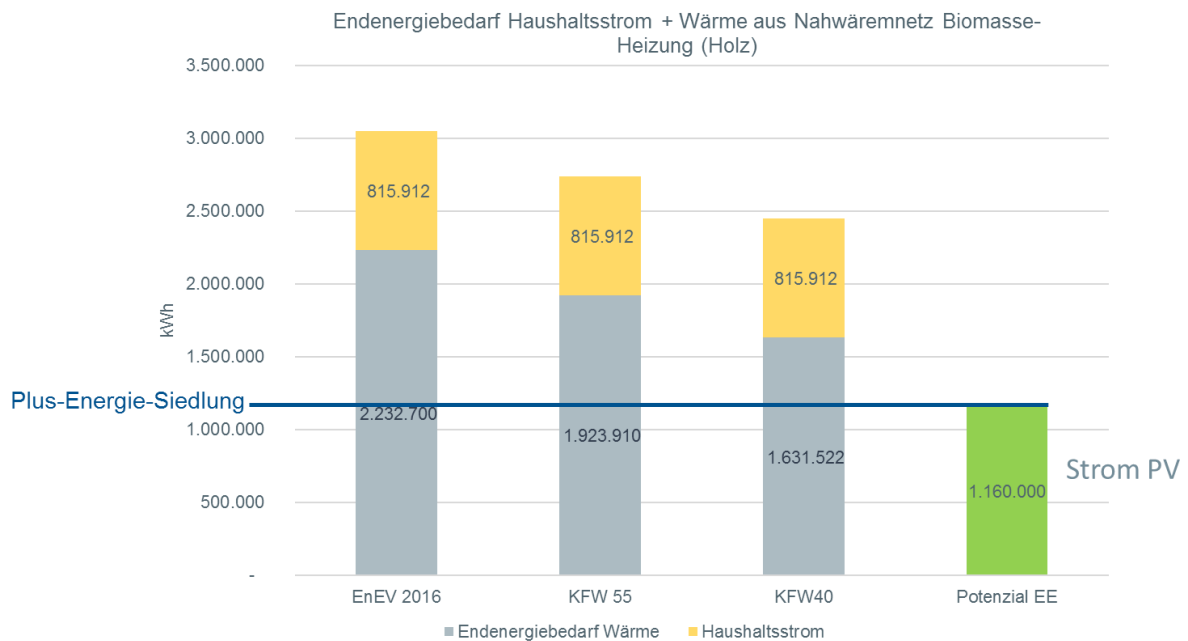


Abbildung 4.6: Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 4: Nahwärmenetz mit Biomassekessel (energielenker GmbH 2020)

Die Versorgungsvariante mit Kraftwärmekopplung (s. Abbildung 4.7) führt neben dem Energiebedarf des Haushaltsstroms 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.

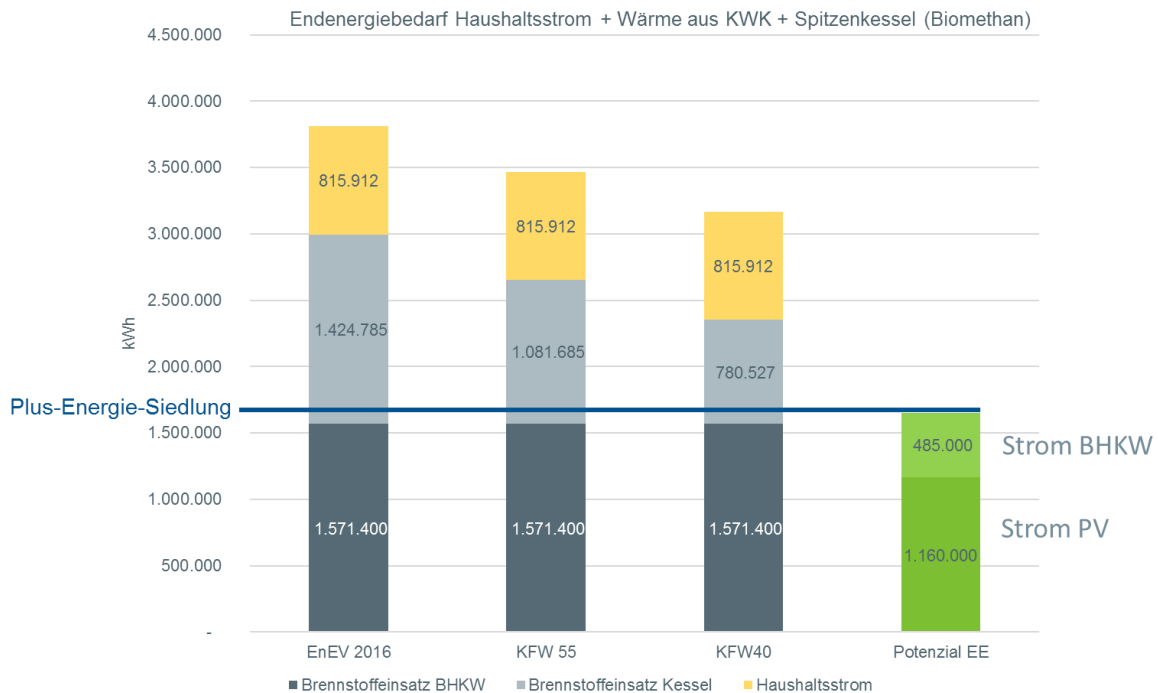


Abbildung 4.7: Bilanzierung Haushaltsstrom und Wärme aus Variante 5: KWK mit Spitzenkessel (energielenker GmbH 2020)

Der Wärmeanteil in der Versorgungsvariante mit Luft-Wasser-Wärmepumpen (Abbildung 4.8) 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 erneuerbare Energienpotenzial von ca. 20.000 kWh gewinnen, wodurch der Plus-Energie-Standard erreicht wird.

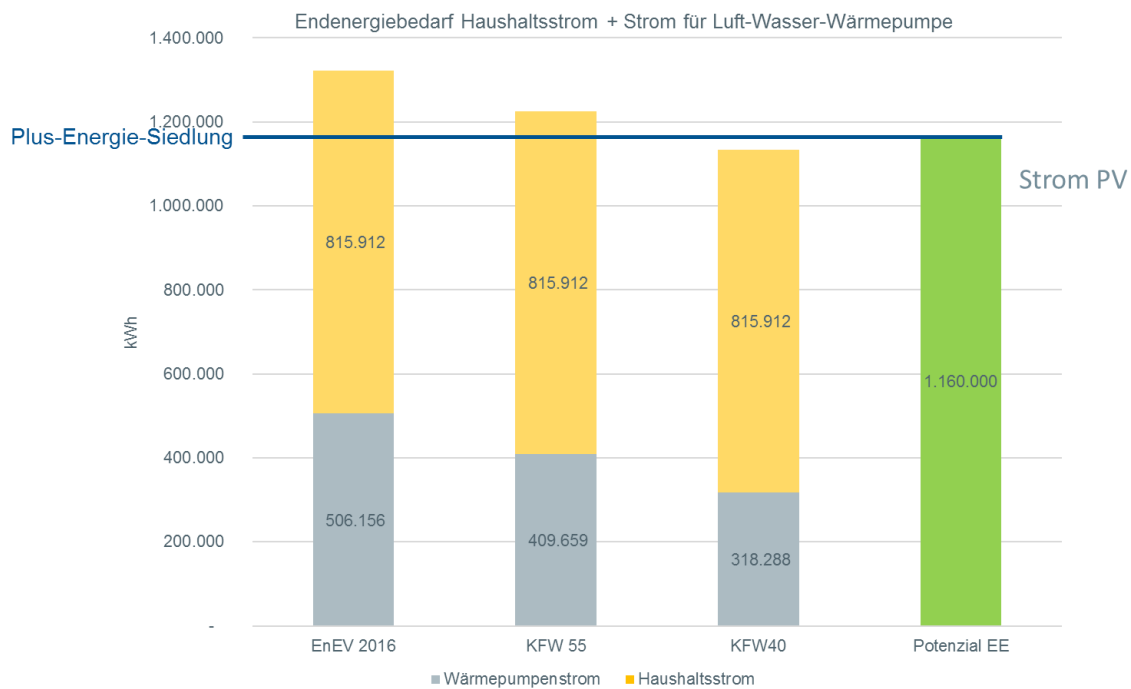


Abbildung 4.8: Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Variante 2: Luft-Wasser-Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020)

Analog der Versorgungsvariante mit Geothermie (Abbildung 4.9) verringert sich der Strombedarf aufgrund des höheren Wirkungsgrades der Sole-Wasser-Wärmepumpe. Im Gebäudestandard KfW55 lassen sich Energiemengen von ca. 52.700 kWh gewinnen. Damit können bei einem baulichen Standard der Gebäude nach KfW55-Effizienzstandard durch die zentrale oder dezentrale Nutzung von Erdsonden der Plus-Energie-Standard im Wohngebiet „Die vier Morgen“ erreicht werden.

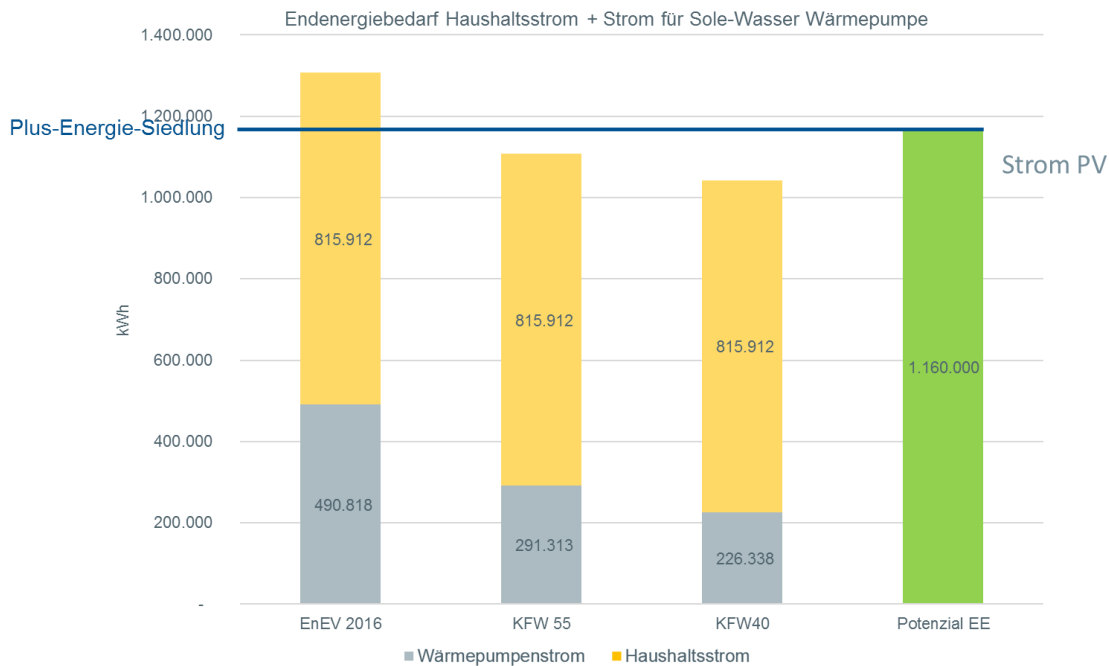


Abbildung 4.9: Bilanzierung Haushaltsstrom und Strom für Variante 3: Sole-Wasser Wärmepumpen (energielenker GmbH 2020)

Anhand der dargestellten Versorgungsmöglichkeiten zur Wärme- und Strombereitstellung kann im Plangebiet „Die vier Morgen“ ein Plus-Energie-Standard in den folgenden drei Versorgungsvarianten erzielt werden:

- Versorgungsvariante 6 und 6a: Nutzung Geothermie zur Wärmeengewinnung → zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“ sowie KfW-Effizienzhaus-Standard 55
- Versorgungsvariante 3: Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 55
- Versorgungsvariante 2 Nutzung von Luft-/Wasserwärmepumpen → dezentral auf jedem Grundstück im Plangebiet und KfW-Effizienzhaus-Standard 40

Die ermittelten Grafen können in Tabelle 4.10 zusammengefasst werden. Die grün-markierten Zellen stellen die Kombinationen aus Versorgungsvariante und baulichem Standard dar, die einen Plus-Energie-Standard im Baugebiet „Die vier Morgen“ erreichen.

Tabelle 4.10: Plus-Energie-Bilanz der Versorgungsvarianten

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6 (a)
	dezentral		zentral Nahwärmenetz		zentral „kalte Nahwärme“	
	Brennwert-Heizung mit Solarthermie	Luft-/Wasser-Wärmepumpe	Sole-/Wasser-Wärme-pumpe	Biomasse	BHKW	Erdsonden-feld
EnEVmin	-1.267.640 kWh	-154.096 kWh	-138.758 kWh	-1.880.640 kWh	-1.395.640 kWh	-138.758 kWh
KfW55	-958.850 kWh	-57.599 kWh	60.747 kWh	-1.571.850 kWh	-1.086.850 kWh	60.747 kWh
KfW40	-666.462 kWh	33.772 kWh	125.722 kWh	-1.279.462 kWh	-794.462 kWh	125.722 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 existiert eine Vielzahl an verschiedenen Speichertechnologien mit unterschiedlichem Technik- und Erfahrungsstand (s. Abbildung 5.1). 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.

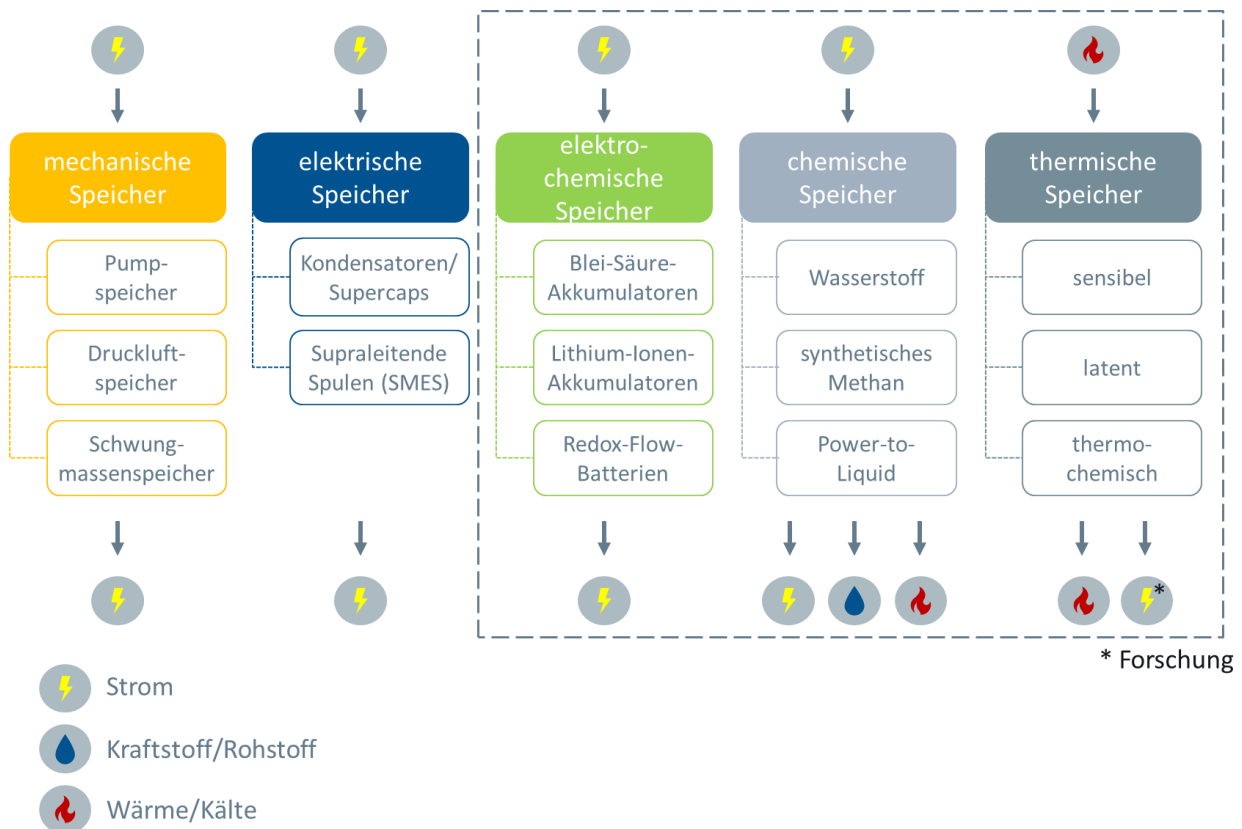


Abbildung 5.1: Überblick Speichertechnologien, gestrichelt: Für Eigenheime und Quartiere relevant (energielenker GmbH 2020)

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 (s.u.), 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. Der Eisspeicher besteht aus einem Behälter, meistens aus Beton, zur Bevorratung des Speichermediums und einem Solekreislauf. Aufgrund der geringen Temperaturen ist keine Isolierung notwendig. Eisspeicher dienen sowohl als saisonale Speicher als auch während der Heizperiode als Wärmequelle für Wärmepumpen. Dabei kühlt das Wasser ab und gefriert nach und nach. Im Sommer kann die Zisterne zur Wohnraumkühlung genutzt werden. Durch Umgebungswärme und zusätzliche Solar-Luft-Absorber wird der Eisspeicher über den Sommer erwärmt, um im Winter erneut Energie für die Heiz- und Trinkwassererwärmung bereitstellen zu können. Anders als bei Geothermiebohrungen, sind für den Eisspeicher keine behördlichen Genehmigungen erforderlich. Eisspeicher sind sowohl dezentral als auch zentral einsetzbar. Tabelle 5.1 führt einige bereits umgesetzte und in Planung befindliche Projekte mit Eisspeichern auf Quartiersebene auf.

Tabelle 5.1: 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 ³	2021	https://www.frankgruppe.de/themen-einzelansicht/news/xuid143-in-der-oekosiedlung-wird-aus-eis-waerme-erzeugt/
Rendsberg (Schleswig-Holstein)	200 Haushalte über kaltes Netz	Dezentrale WP + Energiezaun	600m ³	2019	https://energie.blog/in-rendsborg-versorgt-ein-eisspeicher-gebaeude-mit-heizenergie/
Hamburg-Wilsdorf	483 WE	Gas-Brennwertkessel + Solar-Luft-Absorber (430m ²)	1.680m ³	2014	https://www.waermepumpe-regional.de/hamburg/hamburg-wilstorf-groesste-eisspeicher-heizung-deutschlands-halbiert-heizkosten#:~:text=Hamburg%2DWilstorf%3A%20Gr%C3%B6%C3%9Fte%20Eisspeicher%2D,2014%20(Inbetriebnahme)%20f%C3%BCr%20Schlagzeilen.
Monheim (NRW)	Büro- und Laborkomplex ECOLab	2x WP + 65 Solar-Luft-Kollektor + Gasbrennwertkessel	1.600 m ³	2013	https://www.tab.de/news/tab__1464478.html

Diese Projekte belegen die technische Umsetzbarkeit von zentralen Eisspeichern. Aussagen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit lassen sich auf Grund der fehlenden Langzeiterfahrung nicht validiert treffen. Die vorangegangenen Planungen gehen von einem wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen aus.

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 Schwunghmassenspeicher. Pumpspeicherkraftwerke speichern elektrische Energie als potentielle 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 potentielle 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 elektrischen Verdichtern, unter hohem Druck einspeichern und bei Bedarf in Turbinen ausspeichern. Schwunghmassenspeicher speichern Energie in Form von kinetischer Rotationsenergie einer Schwunghmasse. Diese kann sehr schnell abgerufen werden, daher dienen Schwunghmassenspeicher 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 „Die vier Morgen“ 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 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.

Alternativ zur Geothermie als Wärmequelle können Eisspeicher für die Haushalte betrachtet werden. Diese benötigen keine aufwändigen Genehmigungen und geringere Erdarbeiten. Komplettsysteme, beispielsweise der Firma Viessmann, sind bereits für heimische Anwendungen auf dem Markt. Durch die junge Technologie und der geringen Erfahrungswerte können keine Langzeitprognosen aufgestellt werden. Das nötige System müsste zudem stets im Einzelfall betrachtet und mit der geothermischen Alternative verglichen werden.

Um den nötigen Plus-Energie-Standard im Wohngebiet die vier Morgen 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 Regenergiemarkt. In zahlreichen Pilotprojekten werden die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen solcher Quartierspeicher 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.

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 entnommen werden.

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

Ausrichtung	Neigung Dachfläche	Neigung Modul	Modulfläche	Leistung	Speicher	Stromproduktion	Deckungsgrad	Eigenstromnutzung	Investition
	[°]	[°]	[m²]	[kW]	[kWh]	[kWh/a]	[%]	[%]	[€]
Süd	0	30	51	6,6	0	5792	30%	31%	8.144 €
Süd	0	30	51	6,6	10	5792	53%	55%	16.764 €
Süd	38	38	70	9,1	0	8568	35%	25%	10.465 €
Süd	38	38	70	9,1	10	8568	67%	47%	19.085 €
Ost + West	0	10	96	12,5	0	9452	39%	25%	13.350 €
Ost + West	0	10	96	12,5	10	9452	71%	45%	21.970 €

Die ermittelten Daten stammen aus dem Solar-Kataster-Hessen und wurden für ein durchschnittlich geplantes Einfamilienhaus mit ca. 100 m² Dachfläche ermittelt. Die Dachneigung mit 0° stellt die Flachdächer des Wohngebietes dar. Die Bebauung im nördlichen Teil des Gebietes wird mit einer Dachneigung von 38° berücksichtigt. Neben den allgemeinen Anlagedaten 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, dass auf den Flachdächern des Wohngebietes eine Ausrichtung im Wechsel nach Osten und Westen die größtmögliche Modulfläche und damit die höchste jährliche Stromproduktion ermöglicht. Die installierte Leistung kann auf diese Weise von 6,6 kW auf 12,5 kW gesteigert werden. Hinzu kommt, dass der Ertrag morgens und abends höher ist, als bei konventioneller Süd-Ausrichtung, wodurch der Eigenstromanteil der Wärmepumpe steigt. Durch die Ausrichtung der Module nach Süden, sinken die Investitionskosten aufgrund der geringen Anzahl an Modulen. Spezifisch sind die Investitionskosten pro jährlich erzeugter Kilowattstunde identisch. Daher fördert eine Ost-West-Ausrichtung die Plus-Energie-Bilanz. In Kombination mit einem Stromspeicher kann zudem die Eigenstromnutzung um 20 % gesteigert werden. Stromspeicher erhöhen die Investitionskosten der Gesamtanlage. Allerdings wird dadurch mehr PV-Strom im eigenen Haus genutzt und die Unabhängigkeit von steigenden Strombezugskosten und sinkenden Einspeisevergütungen wächst.

Für die Mehrfamilienhäuser im Quartier ergeben sich folgende Daten.

Tabelle 5.3: Vergleich Anordnung und Neigungswinkel PV- Module; Stromgewinne MFH (Berechnungsgrundlage Solarkataster Hessen 2020)

Aus- rich- tung	Neigung Dach- fläche	Neigung Modul	Modul- fläche	Lei- stung	Spei- cher	Strom- produkt-ion	Deck- ungs- grad	Eigen- strom- nutzung	Invest- ition
	[°]	[°]	[m²]	[kW]	[kWh]	[kWh/a]	[%]	[%]	[€]
Süd	0	30	122	15,8	0	14939	22%	54%	15.626 €
Süd	0	10	199	25,8	0	22687	29%	42%	25.516 €
Ost + West	0	10	234	30,4	0	25040	32%	47%	30.066 €

Auch hier steigert eine Ost-West-Ausrichtung den Gesamtertrag bei höheren Investitionskosten. Für die Verwendung des produzierten Stroms kann eine vollständige Einspeisung oder ein Mieterstrommodell in Betracht gezogen werden.

Handlungsempfehlung

Im Wohnquartier „Die vier Morgen“ können sinnvoll, zukunftssträchtig 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.

Falls geothermische Anwendungen im betrachteten Gebiet nicht umgesetzt werden können, kann ebenfalls der Einsatz von Eisspeichern in Betracht gezogen werden. Diese ersetzen dezentrale Geothermieanwendungen wie Erdsonden und Flächenkollektoren. Eisspeicher werden aktuell marktreif angeboten. Für die Bilanz einer Plus-Energie-Siedlung wirkt sich der zusätzliche Nutzen der Gebäudekühlung negativ aus. Zudem verbrauchen die notwendigen Solar-Luft-Absorber Flächen, die für PV vorgesehen werden könnten und erhöhen die Investitionskosten. Alternativ gibt es Kombinationen aus PV und Solar-Luft-Absorbern, sogenannte „Kraftdächer“, diese nutzen Synergieeffekte beider Technologien und steigern jeweils den Wirkungsgrad, erhöhen allerdings zusätzlich die Investitionskosten. Auf Grund der höheren Investitionskosten und des geringeren Wirkungsgrades der Anwendung sind Erdsonden einem Eisspeicher vorzuziehen. Außerdem ist der Erfahrungswert im Umgang mit Erdsonden höher. Die alternative Verwendung eines Eisspeichers muss im Einzelanwendungsfall geprüft 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 6.1 verdeutlicht die Komponenten und Kommunikationswege die für ein Smart Grid entscheidend sind.



Abbildung 6.1: 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 „Die vier Morgen“ für die Gemeinde Erzhausen 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 Jahr 2018 mit einem Anteil von 19 % 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).

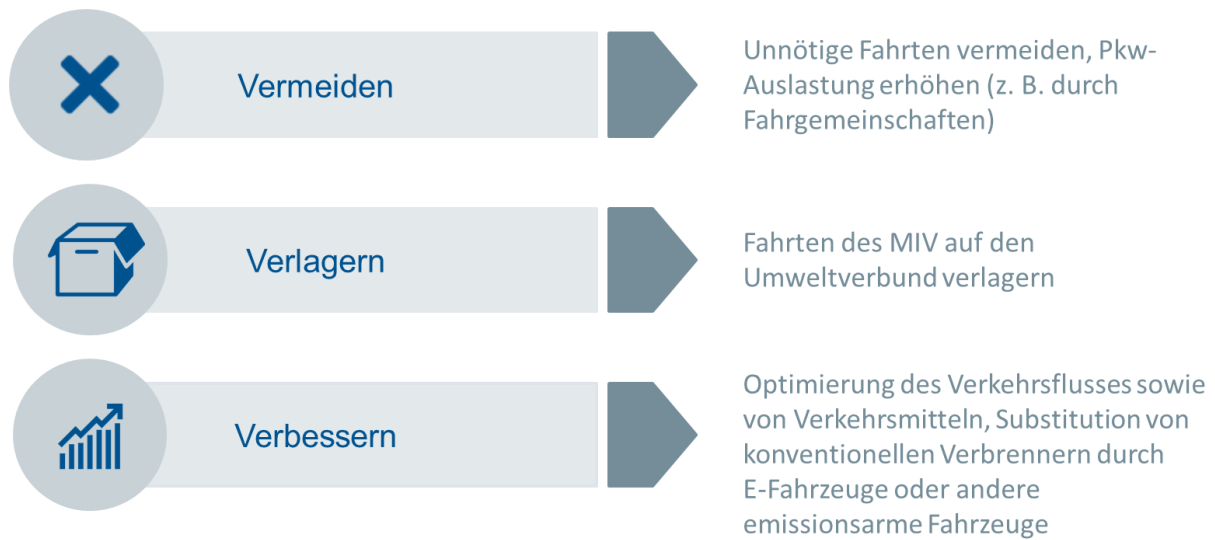


Abbildung 7.1: Strategien einer nachhaltigen Mobilität (energielenker GmbH 2020).

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 7.1):

- **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 Bedarfes, 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 7.2). 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 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 die öffentliche Ladeinfrastruktur festlegen.

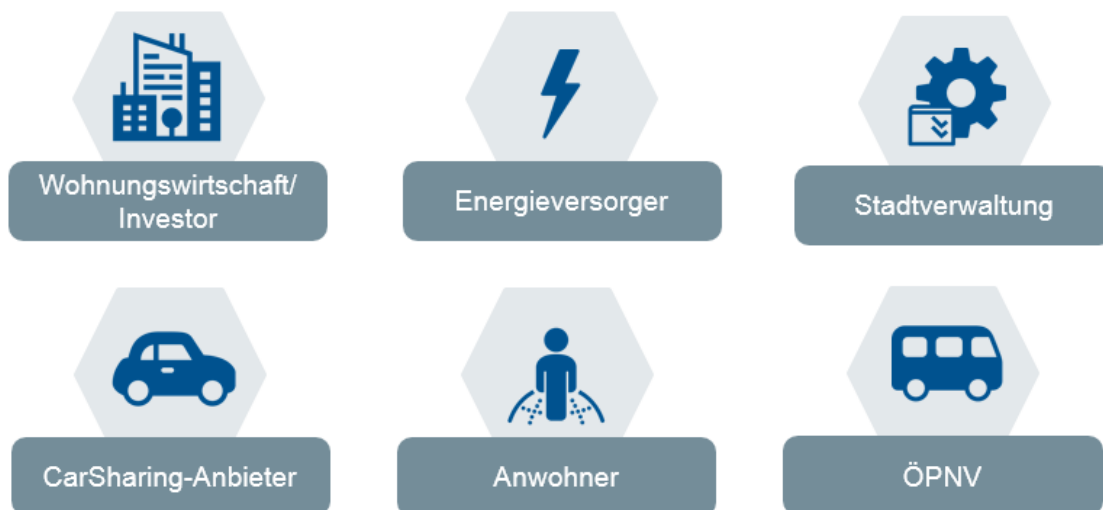


Abbildung 7.2: Relevante Akteure im Bereich nachhaltige Mobilitätsentwicklung im Quartier (energielenker GmbH 2020).

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, dass 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 Erzhausen.

Basisszenario „weiter wie bisher“

Zur Bilanzierung der verkehrsinduzierten Endenergiebedarfe und der THG-Emissionen wurden die Kfz-Meldedaten der Gemeinde Erzhausen über den potenziellen Anteil der Einwohner im Neubaugebiet (Annahme: rund 665 Einwohner) heruntergerechnet. Annahme des Basisszenario ist, dass die Bewohner des Neubaugebietes ein ähnliches Mobilitätsverhalten aufweisen, wie die Bewohner der Gemeinde Erzhausen (→ gleicher Pkw-Besatz). Für das Neubaugebiet ergibt sich somit eine Gesamtanzahl von 410 Kfz, die sich auf 373 privat genutzte Pkw und 37 Krafträder (private Nutzung) aufteilen. Über die vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) berechnete durchschnittliche Verteilung der Kraftstoffarten in Hessen und der vom Deutschen Institut für Wirtschaftsförderung (DIW) ermittelten durchschnittlichen Jahresfahrleistungen, wurden 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. Lediglich einen elektrisch betriebenen Pkw gibt es im Neubaugebiet.

Zusammenfassend beläuft sich der verkehrsbezogene Kraftstoffbedarf im Basisszenario auf 3.638 MWh/a, was einem Primärenergiebedarf von 4.480 MWh/a entspricht und THG-Emissionen von 1.209 t/a verursacht.

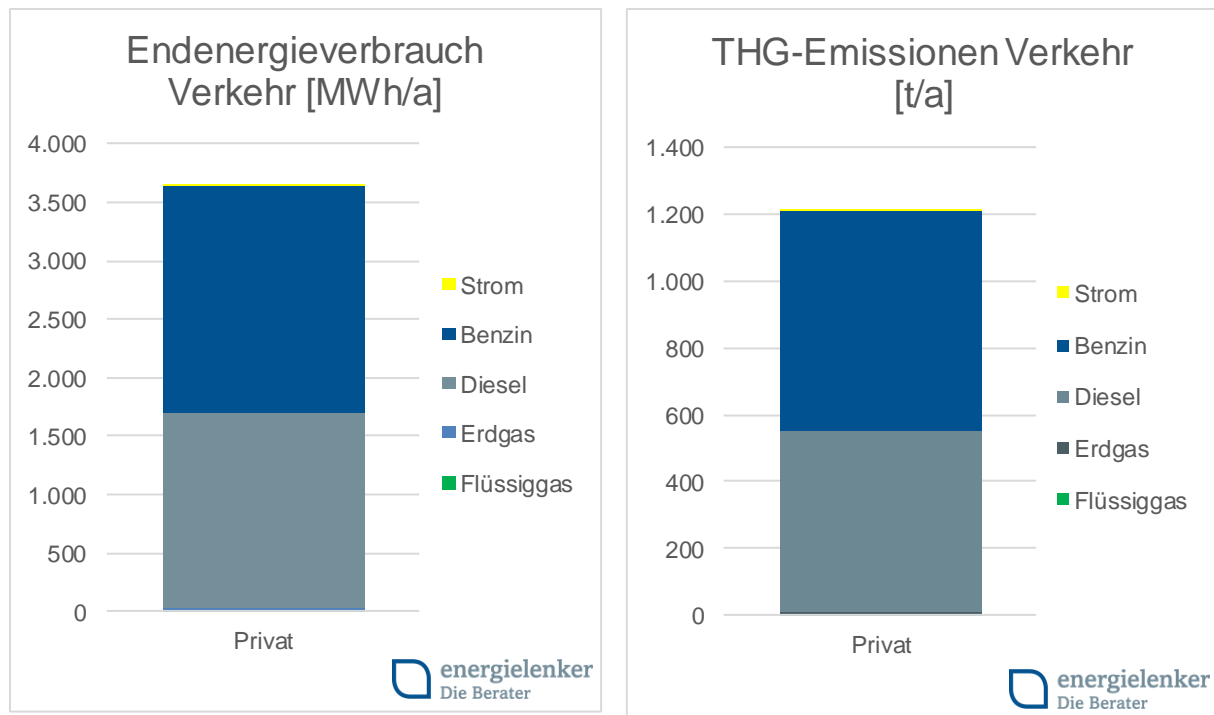


Abbildung 7.3: Endenergieverbrauch des Verkehrs (links) und THG-Emissionen des Verkehrs (rechts) (energielenker GmbH 2020)

Die folgende Tabelle 7.1 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	1.932	2.434	655
Diesel	1.680	2.016	548
Flüssiggas	20	22	5
Erdgas	5	5	1
Strom	1	3	1
Summe	3.638	4.480	1.209

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:

- Aufgrund der fußläufigen Erreichbarkeit vom Plangebiet zum S-Bahnhof Erzhausen (200-300 m Luftlinie), lässt sich seitens der zukünftigen Bewohner eine verstärkte Nutzung des ÖPNVs vermuten. Eine verstärkte Vermeidung des MIV lässt sich bereits im Vorfeld mit der Lage des Baugebiets begründen.
- Bauliche Umsetzungsmaßnahmen zur Attraktivierung des Rad- und Fußverkehrs (insb. entlang der Ostendstraße z. B. gute Beleuchtung in den Abendstunden, Verkehrsberuhigung). Weitere Maßnahmen: Schaffung von überdachten, hochwertigen Fahrradabstellanlagen, Anbindung der zukünftigen Fahrradwege im Wohngebiet an bestehende Radrouten / Radwegeverbindungen
- Regulatorische Umsetzungsmaßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (u. a. Tempo-30er-Zonen im gesamten Plangebiet; eCarsharing-Angebote)
- Grundsätzlich wird eine umfassendere Änderung des Mobilitätsverhaltens hauptsächlich jüngerer Menschen vorausgesetzt:
 - Weniger Personen besitzen 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 617 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 6.530 m² 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 181 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	1.642	2.069	557
Diesel	1.428	1.713	465
Flüssiggas	17	19	4
Erdgas	4	5	1
Strom	1	3	1
Summe	3.092	3.808	1.028

Szenario „vermeiden, verlagern und verbessern“

Als Berechnungsgrundlage für das Szenario „vermeiden, verlagern und verbessern“ wird das Szenario „vermeiden und verlagern“ herangezogen und der Fahrleistungsanteil von E-Fahrzeugen erhöht (vgl. Öko-Institut et al. 2015). Von den 373 privat genutzten Pkw im Neubaugebiet wird im Basisszenario nur ein Fahrzeug mit Strom betrieben. Für das Szenario „verbessern“ wurde angenommen, dass 42 E-Pkw im Quartier vorhanden sind.

Wie im Szenario zuvor, bleibt der Pkw-Besatz von 617 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 6.530 m² an.

Die folgende Tabelle 7.3 zeigen die einzelnen energieträgerbezogenen Verbräuche und Emissionen des Verkehrssektors für das Szenario „verbessern“. **Im Vergleich zum Basisszenario können so 260 t (rund 22 %) der THG-Emissionen eingespart werden. Wird der für die E-Mobilität verwendete Strom regenerativ (bspw. über die PV-Anlagen im Quartier) erzeugt, können 302 t (rund 25 %) 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	1.498	1.887	508
Diesel	1.193	1.432	389
Flüssiggas	17	19	4
Erdgas	4	5	1
Strom	96	189	48
Summe	2.808	3.531	950

Eine Übersicht über die Berechneten Szenarien und ihre THG-Emissionen gibt folgende Abbildung 7.4.

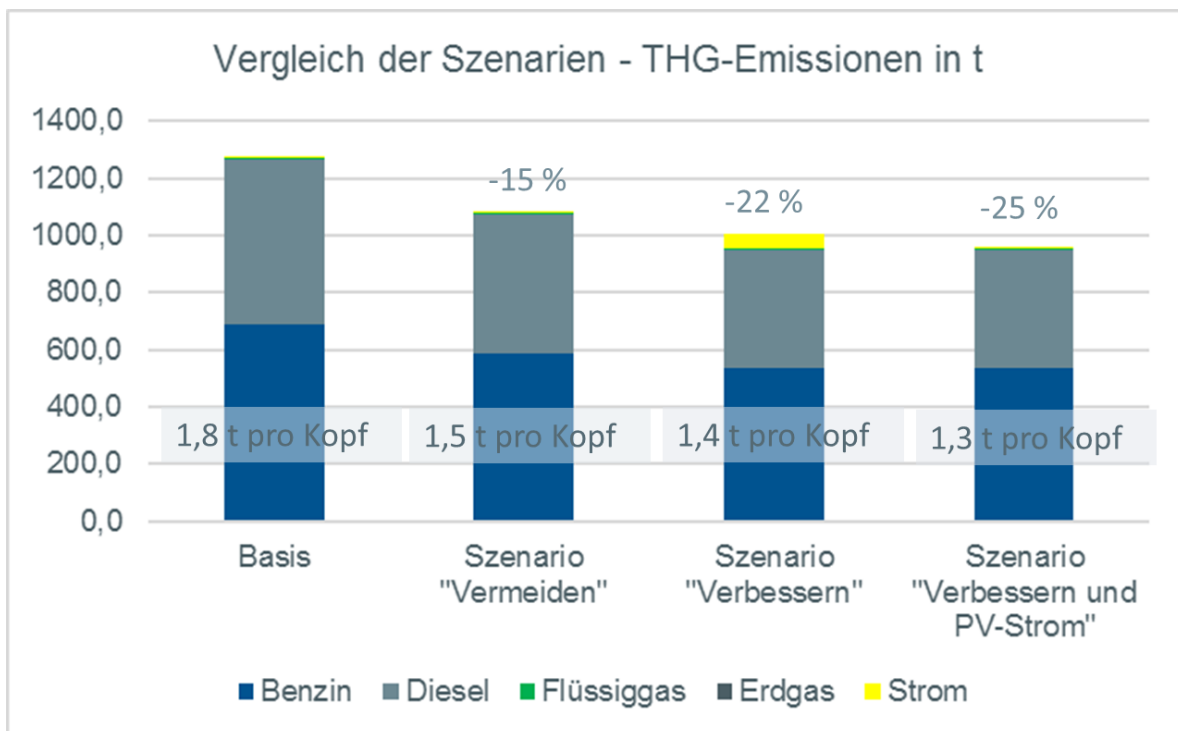


Abbildung 7.4: Szenarien im Vergleich (energielenker GmbH 2020).

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	654,9	556,6	507,8	507,8
Diesel	547,6	465,5	388,9	388,9
Flüssiggas	5,0	4,4	4,4	4,4
Erdgas	1,2	1,0	1,0	1,0
Strom	0,7	0,6	47,7	4,8
Summe	1.209,4	1028,2	949,8	906,9
Reduktion in % im Vergleich zum Basisszenario		15 %	22 %	25 %

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 „Die vier Morgen“ folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

Tempo-30-Zone / verkehrsberuhigte Bereiche

Im gesamten Wohngebiet sollten Tempo-30er-Zonen / verkehrsberuhigte Bereiche zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Förderung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum umgesetzt werden.

Förderung der Intermodalität im Quartier / Anbindung an Mobilstation

Die intermodale Mobilität der Anwohner (v. a. auf dem Weg zur Arbeit) sollte im Quartier gefördert werden, da dadurch hohe MIV-Reduktionspotenziale gehoben werden können.

Insbesondere sollte auf eine gute fußläufige Erreichbarkeit des S-Bahnhaltepunktes im Südosten des Quartiers geachtet werden. Die Strecke aus der Quartiersmitte bis zum Park and Ride beträgt zwischen 200 und 300 m Luftlinie. Hier sollte eine attraktive Fuß-/Radwegeverbindung entlang der Ostendstraße entstehen (gute Beleuchtung auch in den Abendstunden, Verkehrsberuhigung). Dies könnte auch zu einer Entlastung des am S-Bahnhaltepunkt vorhandenen P&R-Platzes und zu einer Verringerung des pendlerbedingten MIV-Aufkommens führen.

Anbindung der Fahrradwege an bestehende Radrouten / Radwegeverbindungen

Um den Fuß- und Radverkehr zu fördern, sollten attraktive Rad- und Fußwegeverbindungen, auch abseits des Pkw-Verkehrs, entstehen. Das Wohngebiet sollte an bestehende Radrouten / Radwegeverbindungen, insbesondere Richtung Ortskern / Nahversorgungsbereiche im Süden (Vollsortimenter/Discounter), angebunden werden. Es könnte dazu überlegt werden, ob vom Quartier aus eine Fuß-/Radwegeverbindung zum Dreieichring gelegt werden kann.

Schaffung von überdachten, hochwertigen Fahrradabstellanlagen im Bereich der Mehrfamilienhäuser

An den Mehrfamilienhäusern 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, ebenerdig zugängliche Abstellanlagen.

Schaffung von eCarSharing-Möglichkeiten im Bereich der Mehrfamilienhäuser / der KiTa

Auf ausgewählten Stellflächen der Mehrfamilienhäuser und/oder auf dem Parkplatz der KiTa sollte eine eCarSharing-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 (MFH/RH) sollten öffentliche Ladestationen errichtet werden. Die Ladestationen können insbesondere durch die Bewohner der Mehrfamilienhäuser und der Reihenhäuser 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 7.5: Maßnahmen nachhaltiger Mobilität im Quartier (energielenker GmbH 2020 auf Kartengrundlage des städtebaulichen Konzepts Planungsgruppe Darmstadt).

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 Erzhausen 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 7.6: 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 reines Wohnquartier 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 vorwiegend 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, sodass 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 95.873 kWh EE-Strom für E-Fahrzeuge im Quartier übrigbleiben. Bei einem durchschnittlichen Strombedarf von rund 20 kWh/km, könnten bilanziell mit dem EE-Strom rund 480.000 km im Jahr gefahren werden und somit rund 42 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 „Die vier Morgen“ könnte in der Gemeinde Erzhausen 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 „Die vier Morgen“ zu erreichen wären folgende Maßnahmen erforderlich:

Energieversorgung

- Die Plangebäude sollten nach KfW-55-Standard errichtet werden (u. a. aufgrund Energieeffizienz und aktueller Förderkulisse)
- Stromversorgung: Die gesamten Dachflächen im Plangebiet (Gebäude, Garagen..) sollten mit Photovoltaik-Modulen belegt werden (Ausrichtung Süd, Ost, West,)
- Wärmeversorgung Variante 6: Nutzung von Geothermie zur Wärmegewinnung zentral mit Erdsondenfeld und „kaltem Netz“
- Wärmeversorgung Variante 3 : Nutzung von Geothermie mit Erdwärmesonden auf jedem Grundstück im Plangebiet (dezentral)

Alternative:

- Wärmeversorgung Variante 2: Nutzung von Luft-/Wasserwärmepumpen
- Um eine positive Energie-Bilanz zu erreichen, müssten bei der Verwendung von Luft-/Wasserwärmepumpen die Plangebäude im KfW-40 Standard errichtet werden

Eine Alternative zur Erreichung des Plus-Energie-Standards ist neben der Nutzung von Geothermie (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 drei Möglichkeiten zur Wärmeversorgung, sollten im Rahmen von allen Versorgungsvarianten die gesamten verfügbaren Dachflächen zur Stromerzeugung im Baugebiet „Die vier Morgen“ 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. Grade bei Neubauten sollte daher möglichst immer eine Photovoltaikanlage eingeplant werden.

Die folgende Tabelle 8.1 gibt eine Übersicht zur Bewertung der Versorgungslösungen für das Baugebiet „Die vier Morgen“. Zur Zielerreichung eines Plus-Energie-Standards kommen, wie im Kapitel 4.4 beschrieben, die Versorgungsvarianten Nr. 2, Nr. 3 und Nr. 6 in Betracht.

Tabelle 8.1: Gesamtbetrachtung und Bewertung der Versorgungsmöglichkeiten für das Baugebiet „Die vier Morgen“

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 6a
	dezentral			zentral Nahwärmenetz		zentral „kalte Nahwärme“	„kalte Nahwärme“ MFH
	Brennwert-Heizung mit Solarthermie	Luft-/Wasser-Wärmepumpe	Sole-/Wasser-Wärmepumpe	Biomasse	BHKW	Erdsondenfeld	Erdsonden
Energieträger	Erdgas	Umweltwärme	Geothermie	Holz	Biomethan	Geothermie	Geothermie
Investitionskosten	17.100 €	18.440 €	22.400 €	1.677.600 €	1.672.600 €	2.988.515 €	1.080.500 €
Mögliche Fördermittel	0	4.375 €	6.615 €	240.000 €	217.840 €	644.735 €	225.700 €
Investitionskosten nach Förderung	17.100 €	14.065 €	15.785 €	1.437.600 €	1.454.760 €	2.343.780 €	854.800 €
Kapitalkosten	1.149 €	945 €	1.224 €	113.543 €	114.646 €	157.539 €	57.455 €
Brennstoff-/Stromkosten	694 €	977 €	695 €	79.228 €	88.716 €	52.074 €	32.600 €
Betriebsführung / Instandhaltung	406 €	432 €	553 €	74.271 €	85.604 €	61.227 €	21.850 €
Wärmekosten je EFH pro Jahr	2.249,59 €	2.353,59 €	2.471,26 €	2.635,43 €	2.771,46 €	2.700,39 €	3.591,00 €
Wärmepreis je kWh Wärme	0,18 €	0,19 €	0,20 €	0,21 €	0,22 €	0,22 €	0,21 €
CO ₂ -Emissionen bilanziell*	294 t CO ₂	0 t CO ₂	0 t CO ₂	66 t CO ₂	132 t CO ₂	0 t CO ₂	0 t CO ₂
CO ₂ -Emissionen absolut	301 t CO ₂	227 t CO ₂	158 t CO ₂	73 t CO ₂	139 t CO ₂	119 t CO ₂	119 t CO ₂
Primärenergiebedarf FW309-1 bilanziell*	1.602.231 kWh	0 kWh	0 kWh	452.733 kWh	-31.458 kWh	0 kWh	0 kWh
Primärenergiefaktor FW309-1 bilanziell*	1,22	0	0	0,35	0	0	0
Primärenergiebedarf FW309-1 absolut	1.625.827 kWh	760.987 kWh	547.963 kWh	476.329 kWh	5.247 kWh	398.529 kWh	398.529 kWh
Primärenergiefaktor FW309-1 absolut	1,24	0,58	0,42	0,36	0,0	0,30	0,30

Für die Varianten in den Wärmepumpen zum Einsatz kommen, werden die CO₂-Emissionen mit 0 t/a angegeben (bilanziell). Dieser Wert setzt jedoch voraus, dass der eingesetzte Strom regenerativ über Photovoltaikanlage erzeugt wird. Wird der Strom aus dem deutschen Stromnetz entnommen, werden entsprechende CO₂-Emissionen angerechnet (absolut). Die folgende Grafik zeigt die CO₂-Emissionen der möglichen Versorgungslösungen.

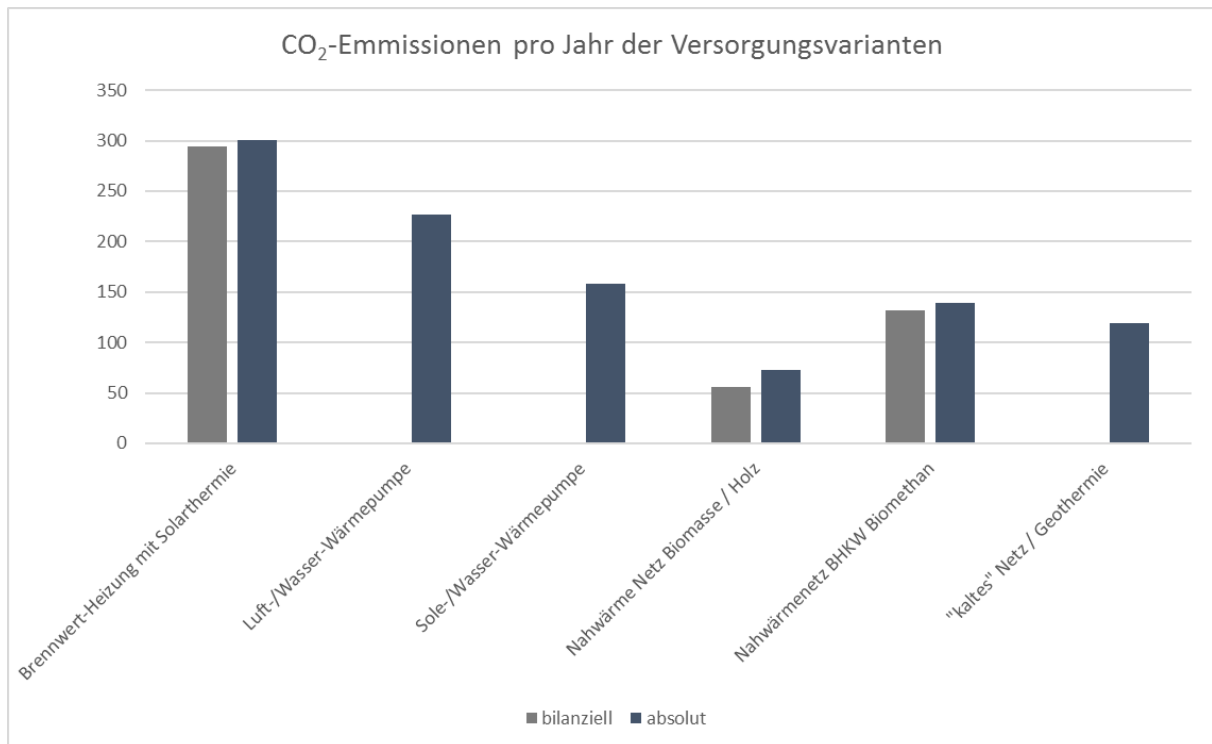


Abbildung 8.1: CO₂-Emissionen der Versorgungsvarianten (energielenker GmbH 2020)

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 8.2 gibt eine Übersicht zu den jeweiligen Varianten.

Tabelle 8.2: Übersicht unterschiedlicher Betreibermodelle (energielenker GmbH 2020)

Variante	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Eigenerledigung	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 Eigenerledigung bzw. erst im nächsten Schritt bei Beteiligung privater Partner
Betreibermodell	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
Gemischt-wirtschaftliche Gesellschaft	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
In-House Vergabe	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 Erzhausen könnte sich auf die Realisierung über eine gemischtwirtschaftliche Gesellschaft verständigen. Dafür sollte die Gemeinde Erzhausen 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).

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 8.2 zeigt die mögliche Struktur eines Betreibermodells über eine gemischtwirtschaftliche Gesellschaft.

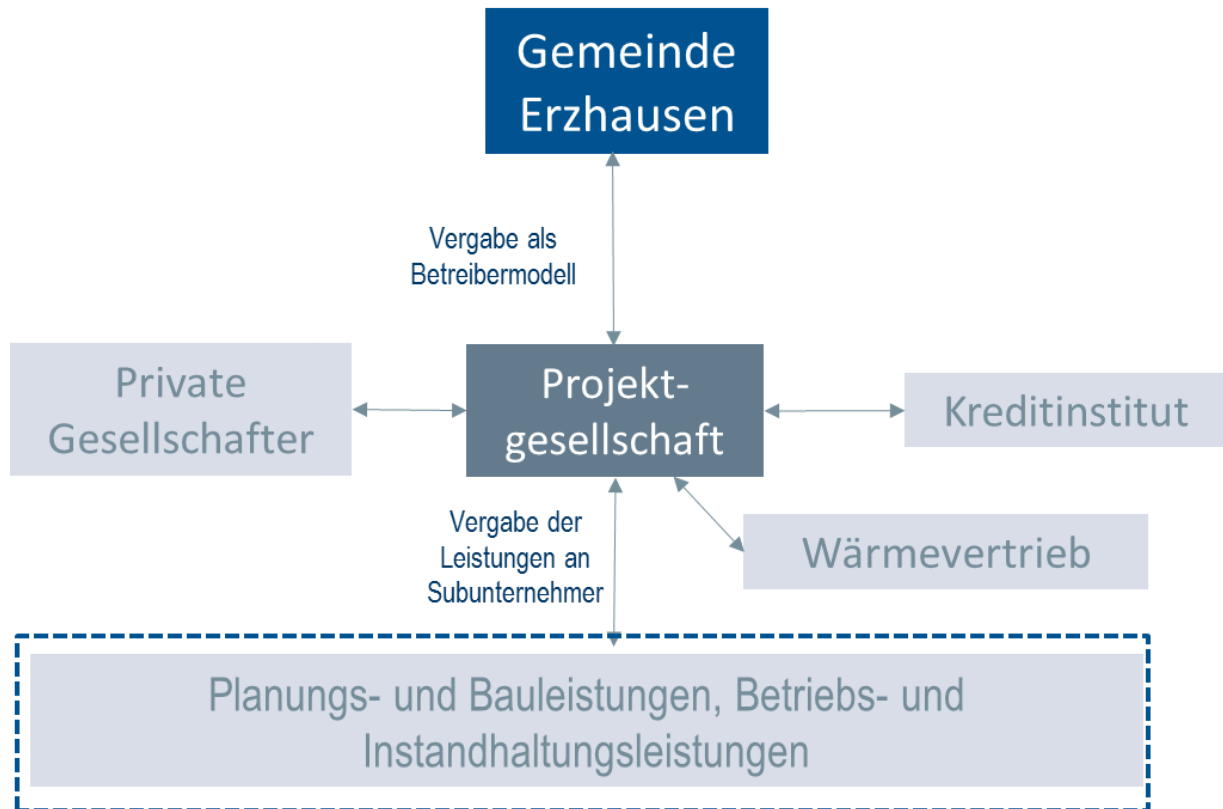


Abbildung 8.2: Mögliche Struktur des Betreibermodells (energielenker GmbH 2020)

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 Treibhausgaseinsparungen im Rahmen von Bebauungsplänen festgesetzt werden:

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

Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan nach § 9 BauGB		
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-/Fernwärmeversorgung	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-/Fernwärmeversorgung	Anschluss- und Benutzungszwang	§ 9 Nr. 23 BauGB
Örtliche Bauvorschrift		
Optimierte Kompaktheit der Gebäude	Festsetzung zu Dachgestaltung, Fassadengestaltung, Gebäudetiefe	
Landesrecht und Gemeindebauordnung		
Sparsender Umgang mit 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 die bauleitplanerische Begründung könnte folgender Textvorschlag seine Anwendung finden:

„Die Gemeinde Erzhausen hat zum Bebauungsplan „Die vier Morgen“ 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.“

„Nach Aussage des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie ist die Anlage von Erdwärmesonden zur Energiegewinnung durch Geothermie möglich.“

Vertragliche Regelungen

Das Verwaltungsverfahrensgesetz 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 Erzhausen 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 Erzhausen 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 § 11 Abs. 1 S.2 Nr.5 BauGB

„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 Erzhausen 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)

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 (s. Kapitel 8).

8.3 Kommunikationskonzept

Die Entwicklung des geplanten Baugebiets „Die vier Morgen“ 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 Erzhausen 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 förderrechtliche Belange unter der frühzeitigen Einbindung der Gemeinde Erzhausen 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 „Die vier Morgen“ 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 Erzhausen 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 „Die vier Morgen“ kann auf der Internetseite der Gemeinde Erzhausen 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"> Abschaltung nicht benötigter Elektrogeräte Vermeidung von Stand-By-Betrieb Überprüfung der Raumbeleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> Manuelle Abschaltung von Warmwasserboilern, Computern, Kaffeemaschinen etc. oder gesteuert per Zeitschaltuhr oder per Standby-Sensor Verwendung von schaltbaren Steckerleisten
Raumwärme	Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> Minderung der mittleren Raumtemperatur Teilbeheizung 	<ul style="list-style-type: none"> Senkung der Raumtemperatur in der Nacht sowie bei Abwesenheit Reduktion der mittleren Raumtemperatur um 1 °C entspricht im Mittel einer Einsparung beim Heizwärmebedarf von etwa 6 % Einstellung der Thermostatventile an Heizkörpern nur bis Stufe 3, auch während der Aufheizphase → Raumtemperatur von ca. 20 °C
	Luftwechsel	<ul style="list-style-type: none"> Lüftungsverhalten 	<ul style="list-style-type: none"> Kurzes Stoßlüften anstatt Kipplüftung mit gleichzeitiger Drosselung der Heizung
Warmwasser	Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> Temperaturniveau Zapfprofil 	<ul style="list-style-type: none"> Bewusste Verwendung eines niedrigeren Temperaturniveaus (z. B. bei der Reinigung der Hände)
	Warmwasserbedarf	<ul style="list-style-type: none"> Minderung des Warmwasserbedarfs Ausstattung 	<ul style="list-style-type: none"> Duschen erfordert im Vergleich zum Wannenbad ca. 30 % weniger an Warmwasser Installation von wassersparenden Armaturen

Oftmals ist das Bewusstsein der Bürger für die genannten Möglichkeiten zur Energieeinsparung und dessen Wirksamkeit noch nicht ausreichend. Die Gemeinde Erzhausen 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 frühzeitig 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.

Um Geringverdiener und Leistungsempfänger zu entlasten, hat beispielsweise die Stadt Nürnberg das Projekt „Energieschuldenprävention“ ins Leben gerufen. Es handelt sich um ein kostenloses Beratungsangebot für Bürger, die wenig Geld zur Verfügung haben (vgl. Stadt Nürnberg). Da der Bau von gefördertem Wohnraum für einkommensschwache Familien im Plangebiet „Die vier Morgen“ feststeht, wären kostenlose Beratungsangebote insbesondere für die Bewohner dieses Wohnraums empfehlenswert.

Ein weiteres Programm für Geringverdienende oder Leistungsempfänger ist der „Stromspar-Check“ des Deutschen Caritasverbandes e.V. und des Bundesverbandes der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands e.V. Dabei handelt es sich um eine kostenfreie Energieberatung vor Ort. Darüber hinaus erhalten die Personen kostenlose Soforthilfen in Form von Energiesparlampen, abschaltbaren Steckdosenleisten, Zeitschaltuhren, etc. (vgl. Stromspar-Check). Die Gemeinde Erzhausen hat die Möglichkeit das Angebot zu unterstützen, beispielsweise durch Zuschüsse für energiesparende Haushaltsgeräte. Es ist empfehlenswert, die zukünftigen Bewohner auf dieses Programm aufmerksam zu machen.

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 Bewohner 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 „Die vier Morgen“ 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. Das Energiedatenmanagement 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 zugeführte 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 witterungsberinigender 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 die 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 der Bilanzierung egalisiert.

Aufgrund dessen, wird die Bilanzierung der Endenergien empfohlen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Ausgestaltung der Bilanzierung in ihren Möglichkeiten bezüglich Umfang und Detailtiefe nahezu grenzenlos ist, die tatsächliche Umsetzung aber die Aussagekraft und den Nutzen berücksichtigen muss. Dementsprechend werden für das Versorgungskonzept „Die vier Morgen“ 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 Knowhow 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 Erzhausen 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 Vereinbarungen 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 6 (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 Wärmenetz 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 Haupteerschließungsstraße zum privaten Hausanschlussraum verlegt (Neben Stromanschluss etc. erfolgt dort der Anschluss der Soleleitung). Die Installation der Wärmepumpe erfolgt im Rahmen des Innenausbau. Daraufhin kann u. a. mit der Estrichtrocknung und dem Heizbetrieb begonnen werden.
- Wärmeversorgung Variante 2 (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 3 (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)

Mögliche Umsetzungshindernisse

- Haupthemmnis: Fehlender Betreiber (Stadtwerk, Unternehmen etc.)
- Fehlende politische Akzeptanz (insb. der zentralen Versorgungsvarianten)
- Fehlende Akzeptanz der zukünftigen Bauherren/ Eigentümer
- Fehlender Anschluss der zukünftigen Eigentümer bei den zentralen Varianten
- Naturräumliche Bedingungen und Vorbelastungen (z. B. geologische Verhältnisse, Schutzgebiete für Natur- und Landschaft etc.)
- Die bauliche Umsetzung der Varianten erfolgt grundsätzlich im Rahmen 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.

Ein zeitlicher Ablaufplan der vorgestellten Umsetzungskonzepte kann **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** entnommen werden.

Tabelle 8.5: Ablaufplan der Umsetzungskonzepte

Ablaufplan Umsetzungskonzept „Die vier Morgen“																					
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
Vorgang																					
Prozessesteuerung und Planung Gemeinde Erzhausen																					
Politischer Beschluss																					
Dezentral (Luft- oder Sole-Wasserwärmepumpe)																					
Genehmigungsplanung durch Planungsbüro																					
Genehmigung durch Behörde																					
Ausführungsplanung für Einzelgebäude																					
Erstellung Leistungsverzeichnisse																					
Mitwirkung Vergabeverfahren (Bauherren)																					
Baubeginn																					
Ausführungsbegleitung																					
Objektbetreuung/ Gewährleistungsphase																					
Monitoring																					

Zentral (Geothermiefeld/kalte Nahwärme)																					
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																					

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>.

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

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

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

Solar: 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).