



Planung und Entwicklung
Gesellschaft mbH
Schellingstraße 4/2
72072 Tübingen
Telefon 0 70 71 93 94 0
Telefax 0 70 71 93 94 99
mail@eboek.de
www.eboek.de

Potenzialstudie Erneuerbare Energien für Siedlungsgebiete in Frankfurt am Main

Endbericht Teil 2 von 4

Fertiggestellt im: September 2020
im Auftrag von: Magistrat der Stadt Frankfurt am Main
Energierreferat
Adam-Riese-Straße 25
60327 Frankfurt am Main
Projektleitung: Ulrich Rochard
Inhaltliche Bearbeitung: Marc-André Claus, Maria Hernández-Clua, Daniel Herold,
Olaf Hildebrandt, Kathrin Judex, Sven Kobelt, Gerhard
Lude, Ulrich Rochard

II. UNTERSUCHUNG AUSGEWÄHLTER GEBIETE

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Detailuntersuchungen für mehrere ausgewählte Gebiete im Stadtgebiet durchgeführt. Abb. 30 zeigt eine Übersichtskarte der betrachteten Gebiete.

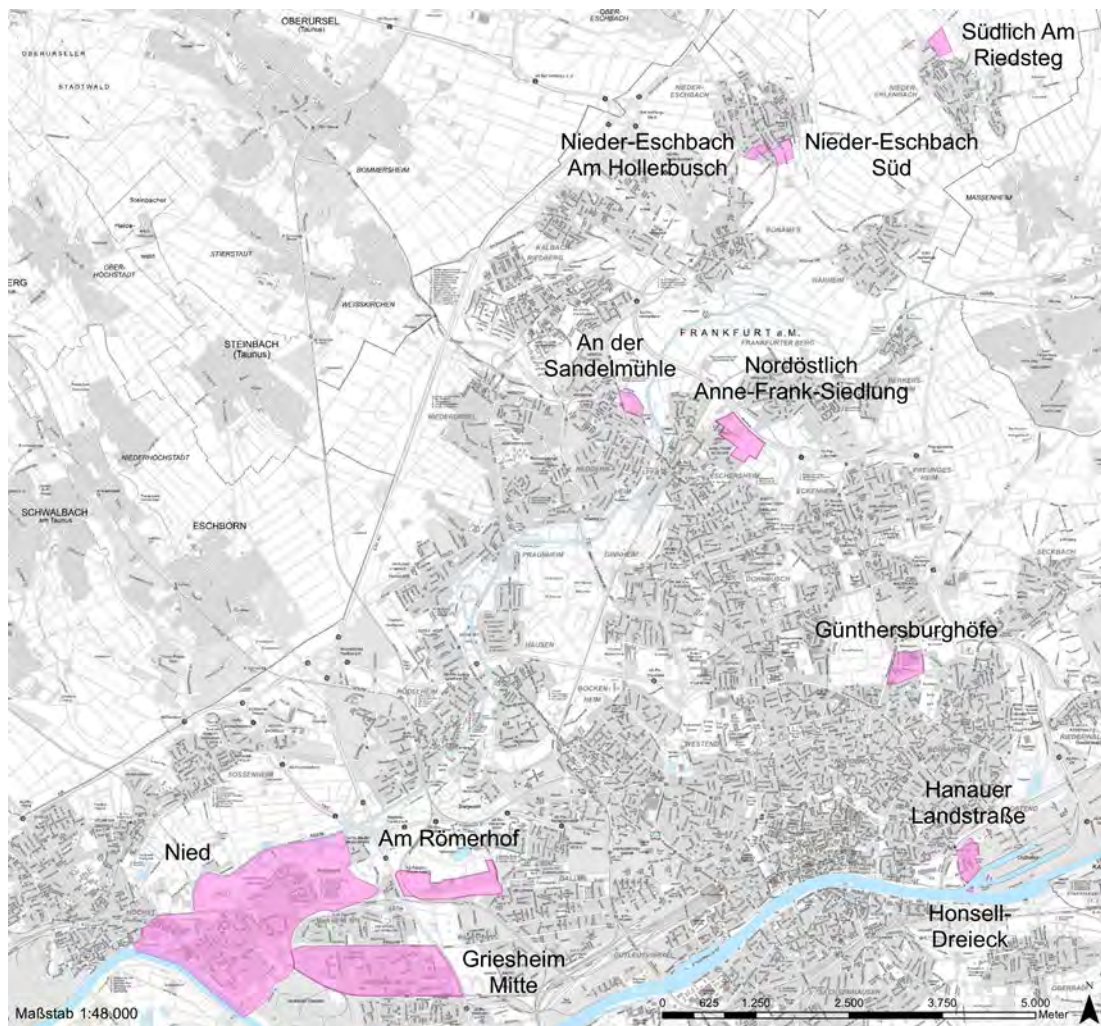


Abb. 30: Übersichtskarte mit den untersuchten Gebieten.

(Quelle der Karte: Stadtvermessungsamt Frankfurt a.M., eigene Bearbeitung)

1 Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

1.1 Beschreibung des Gebiets

Auf dem ehemaligen gewerblich genutzten Gelände der Mercedes-Niederlassung Hanauer Landstraße im Stadtteil Ostend sowie einigen benachbarten Liegenschaften soll ein gemischt genutztes Stadtquartier mit einem nennenswerten Anteil an Wohnnutzung inkl. Kindertagesstätte entstehen. Die Grundlage für das vorliegende Klimaschutzteilkonzept bildet der Planentwurf mit Grundrissen der Bauwerke vom Oktober 2018 erstellt durch die FAAG Technik GmbH im Auftrag der beteiligten Investoren (siehe Abb. 31). Die grundlegenden Informationen zum Gebiet sind nachfolgend zusammengefasst.

Bebauungsplan:	Nr. 925,
Stadtteil:	Ostend,
Lage im Stadtgebiet:	östlich an die Innenstadt angrenzend.
Konzipierte Bebauung:	Allg. Wohngebiet konzipiert für ca. 800 Einwohner in 400 Wohneinheiten verteilt auf
Wohngebäude:	mehrere Geschosswohnungsbauten mit bis zu acht Geschossen.
Öffentliche Gebäude:	Kindertagesstätte (integriert in Wohngebäude).
Sonstige Nichtwohngeb.:	Bürogebäude mit bis zu sieben Geschossen.
Bauliche Kennwerte:	Grundrissplan vom Okt. 2018 und eigene Berechnungen.
Brutto-Bauland:	2,9 ha (100 %),
Netto-Bauland ¹ :	1,9 ha (65 %),
Grundflächenzahl ² :	0,43,
Geschossflächenzahl:	3,15.

¹) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen sowie bereits überbauter Flächen.

²) Berechnung der Grundflächenzahl nur für Hauptgebäude ohne Garagen, Stellplätze, Nebenanlagen etc.

Die für die Bedarfsprognose angenommenen Flächen und Nutzungen der konzipierten Bebauung sind in Tab. 37 dargestellt.



Abb. 31: Planentwurf der Grundrisse der Bauwerke (ohne Hinterhof-Haus) erstellt durch die FAAG Technik GmbH vom Oktober 2018.

Tab. 37: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Nutzung	Geschossfläche		Energiebezugsfläche*		Dachflächen mit Solarpotenzial	
	m ²	Anteil	m ²	Anteil	m ²	Anteil
Wohnen	39.990	68%	31.990	66%	4.190	62%
GHD	17.590	30%	15.370	32%	2.550	38%
Öffentlich	1.500	3%	1.310	3%	0	0%
Industrie	0	0%	0	0%	0	0%
Gesamt	59.080	100%	48.670	100%	6.740	100%

* Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.

1.2 Energetische Bewertung des Städtebaus

Die energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs beruht insbesondere auf der Beurteilung der Kompaktheit der Baukörper, der Orientierung der Fassaden und der Verschattungssituation der Gebäude und zielt darauf ab, günstige städtebauliche Bedingungen für eine Minimierung der Wärmeverluste, für die Optimierung der natürlichen Belichtung und der passiven solaren Wärmegewinne.

Der vorliegende Planentwurf sieht eine innerstädtische Blockrand-Bebauung mit fünf bis sieben Geschossen vor, womit die Obergrenze des Maßes der baulichen Nutzung für urbane Gebiete erreicht wird. Entsprechend weisen die Baukörper eine gute Kompaktheit bzw. ein niedriges A/V-Verhältnis auf, sofern dieses bei der weiteren Ausgestaltung nicht deutlich verschlechtert wird.

Für das Gebiet wurde keine Solarstudie durchgeführt, so dass im Hinblick auf Besonnung, Verschattung und passive solare Gewinne hier nur allgemeine qualitative Angaben gemacht werden können. Auf Grund der Anordnung der Baukörper ist davon auszugehen, dass in den unteren Geschossen der Baukörper (insbesondere im nördlichen Teil des Gebiets) kritische Bereiche in Bezug auf die Besonnung zu finden sein werden.

Kritisch zu betrachten im Hinblick auf die passiven solaren Gewinne sind die Flügel der Baukörper, deren Hauptfassaden eine stark von der Südrichtung abweichende Orientierung haben. Verschärft werden kann dies ggf. durch Verschattung auf Grund einer Bebauung süd-westlich/süd-östlich dieser Baukörper. Generell können die Nachteile der reduzierten passiv-solaren Gewinne bei geschlossener Blockrand-Bebauung zwar durch das sehr gute A/V-Verhältnis teilweise bis ganz ausgeglichen werden, im vorliegenden Fall ist jedoch zu vermuten, dass sich nicht alle Bereiche für eine wirtschaftliche Erstellung des Passivhaus-Standards eignen.

1.3 Energiebedarfsprognose

Basierend auf den bereits dargestellten Energiekennwerten und der konzipierten Bebauung wurden mittels der abgeschätzten Energiebezugsfläche der Gebäude der Wärme-, Kälte- und Strombedarf für das gesamte Gebiet hochgerechnet. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tab. 38 zu finden.

Tab. 38: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH ¹	Quartier-Mix ²
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf³ in MWh/a	2.960	2.510	1.860	2.780
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	61	52	38	57
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	1.576	1.336	990	1.480
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	3.701	3.139	2.326	3.476
Strombedarf⁶ in MWh/a	1.740	1.735	1.845	1.755
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	36	36	38	36
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	926	924	982	934
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	2.176	2.170	2.307	2.195
Ges. Energiebedarf in MWh/a	4.700	4.245	3.705	4.535
rel. Anteil Wärmebedarf	63%	59%	50%	61%
rel. Anteil Strombedarf	37%	41%	50%	39%
zusätzl. potenzieller Kältebedarf für Raumkühlung in MWh/a	95			

- 1) Passivhaus-Gebäudehülle bei mehrgeschossigen Zeilenbauten etwa wie KfW-EH 55.
- 2) Quartier-Mix bedeutet: ca. 17 % der Geschossfläche als Passivhaus-Zeilenbauten, restl. Gebäude nach EnEV 2016.
- 3) Der Wärmebedarf entspricht der erforderlichen Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwassererwärmung ab Wärmeerzeuger/Übergabe an die Gebäude.
- 4) Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 5) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.
- 6) Der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf des Gebiets für Stromanwendungen inkl. Elektromobilität.

1.3.1 Wärmebedarf

Die Aufteilung des prognostizierten Wärmebedarfs ist in Tab. 39 gezeigt. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesswärme identifiziert. Detaillierte Angaben zum prognostizierten Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung sind Tab. 40 aufgeführt.

Tab. 39: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Quartier-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf Raumheizung u. Warmwasser in MWh/a	2.960	2.510	1.860	2.780
Anteil Warmwasser	28%	33%	45%	30%
Relativ zu EnEV 2016	100%	84%	63%	94%
Wärmebedarf Prozesswärme in MWh/a	0			
Anteil am ges. Bedarf	0%	0%	0%	0%
Gesamter Wärmebedarf in MWh/a	2.960	2.510	1.860	2.780

Hinweis: Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 103.

Tab. 40: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

		Raumheizung				Warmwasser	
		EnEV16	EH 55	PH	Quartier-Mix	ohne th. Solaranl.	mit th. Solaranl.
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude nach Nutzung							
Wohnen	MWh/a	1.290	1.040	690	1.170	760	460
GHD	MWh/a	750	570	310	750	30	30
Öffentlich	MWh/a	90	70	30	30	40	20
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	MWh/a	2.130	1.680	1.030	1.950	830	510
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	43,8	34,5	21,2	40,1	17,1	10,5
Prozentual	-	100%	79%	48%	92%	100%	61%
Kumulierte Wärmeleistungen* für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	kW	1.810	1.470	990	1.700	1.030	
Prozentual	-	100%	81%	55%	94%		

* Für die Abschätzung der Wärmeleistungen wurde davon ausgegangen, dass die Wärmeübergabe zur Raumheizung im Durchflussprinzip erfolgen wird, während zur Trinkwassererwärmung gebäude-/blockzentrale Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Die kumulierten Leistungen berücksichtigen keine gebietsweiten Gleichzeitigkeitseffekte. Die Wärmeleistung für Raumheizung basiert auf der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599.

Hinweis: weitere Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 103.

1.3.2 Kältebedarf

Für das Gebiet wurde ein potenzieller Kältebedarf zur Raumkühlung von etwa 95 MWh/a (Kälteabgabe an die Gebäude) prognostiziert.

1.3.3 Strombedarf

Eine Übersicht des für das Gebiet prognostizierten Strombedarfs ist in Tab. 41 und Tab. 42 gezeigt.

Tab. 41: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Quartier-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
(Hilfs-) Strombedarf für Heizung u. Lüftung in MWh/a	95	90	200	110
Relativ zu EnEV 2016	100%	95%	211%	116%
Strombedarf für Nutzung* in MWh/a	1.230			
Strombedarf für E-Mobilität in MWh/a	415			
Gesamter Strombedarf in MWh/a	1.740	1.735	1.845	1.755
Anteil Heizung/Lüftung	5%	5%	11%	6%
Anteil Nutzung	71%	71%	67%	70%
Anteil E-Mobilität	24%	24%	22%	23%

* Strombedarf für Nutzung der Gebäude inkl. Allgmeinstrom und Straßenbeleuchtung
Hinweis: weitere Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 103.

Tab. 42: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

		Strom für Nutzung	Strom für E-Mobilität
Haushalte	MWh/a	695	120
GHD	MWh/a	510	290
Öffentlich	MWh/a	25	5
Industrie	MWh/a	0	0
Ges. Quartier	MWh/a	1.230	415
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	25,3	8,5

1.4 Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale

In diesem Abschnitt werden die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger sowie die Erzeugungspotenziale lokaler (erneuerbarer) Energieträger im geplanten Quartier und in dessen nächster Umgebung dargelegt.

1.4.1 Elektrizität

Es wird angenommen, dass das Gebiet mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt wird und dass ausreichend elektrische Leistung zur Verfügung steht um ggf. auch eine Strom-basierte Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Ob auf Grund der E-Mobilität eine erhöhte Anschlussleistung notwendig ist, konnte nicht abgeschätzt werden. In jedem Fall wird empfohlen ein Lastmanagement-System für die Ladestationen vorzusehen.

1.4.2 Erdgas

Es wird angenommen, dass die Kapazität der bestehenden Erdgasleitungen in der Umgebung ausreicht um das Gebiet zu versorgen. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

1.4.3 Fernwärme

Es wird angenommen, dass der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

Laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt ist die unmittelbare Umgebung des Gebiets bereits mit Fernwärmeleitungen (Heizwasser) erschlossen.

1.4.4 Abwasserwärme

Es wird angenommen, dass mittels Abwasserwärme aus dem Kanal am Südrand des Plangebiets ein hoher Anteil des prognostizierten Wärmebedarfs des geplanten Quartiers gedeckt werden könnte.

Laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt verläuft in der Straße am Südrand des Gebiets ein Abwasser-Gefällekanal mit einem nennenswerten Potenzial.

1.4.5 Erdwärme

Es wird angenommen, dass eine flächendeckende Erschließung der Baugrundstücke und Teile der öffentlichen Verkehrsflächen mit Erdwärmesonden möglich ist und folglich mit Wärmepumpen ein hoher Anteil des prognostizierten Wärmebedarfs des Quartiers gedeckt werden könnte. Es ist davon auszugehen, dass eine Regeneration des Erdreichs vorgesehen werden muss.

Im Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wird der gesamte Geltungsbereich des Bebauungsplans B925 sowie die unmittelbare Umgebung als „hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich günstig“ eingestuft. Dies kann als positive Voraussetzung für die Genehmigung der Erschließung des Gebiets mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren betrachtet werden.

1.4.6 Solarenergie

Es wird davon ausgegangen, dass alle geeigneten Flächen zur aktiven Solarenergiegewinnung genutzt werden. Dies stellt für alle Versorgungsvarianten einen wichtigen Beitrag zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien und zur Erhöhung der Autarkie des Gebiets dar.

Basierend auf dem vorliegenden städtebaulichen Entwurf wurden folgende potenzielle **Flächen zur aktiven Solarenergiegewinnung** identifiziert:

<u>Brutto-Dachflächen der Gebäude¹:</u>	6.740 m ² .
Darin enthalten sind	Wohngebäude: 4.190 m ² ,
	Bürogebäude: 2.550 m ² ,
<u>Geeignete Fassadenflächen der Bürogebäude²:</u>	1.200 m ² .

¹) Bei Staffelgeschossen wurde nur die Geschossdecke des obersten Geschosses als Dachfläche berücksichtigt.

²) Gesamte Bruttofläche geeigneter Fassaden, jeweils ohne Erdgeschoss.

Photovoltaik-Anlagen

Es wird angenommen, dass 70 % der Brutto-Dachflächen und 50 % der geeigneten Brutto-Fassadenflächen zur Solarenergiegewinnung genutzt werden können. Die resultierenden Strom-Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen sind in Abb. 32 dargestellt. Die gezeigten Ergebnisse gelten für die Ausführung aller Gebäude im Quartier-Mix.

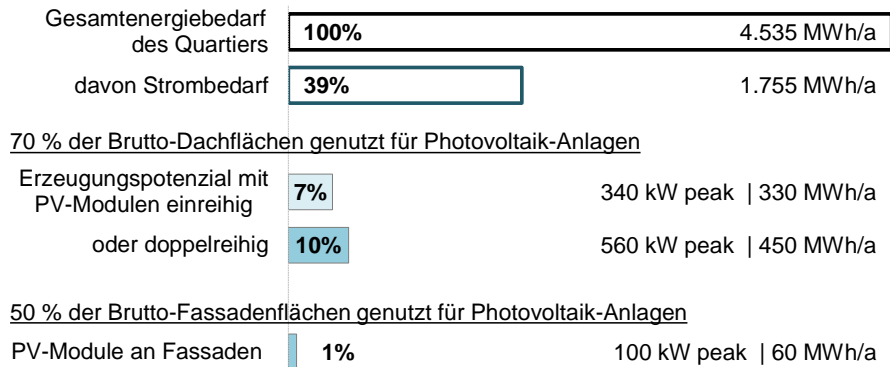
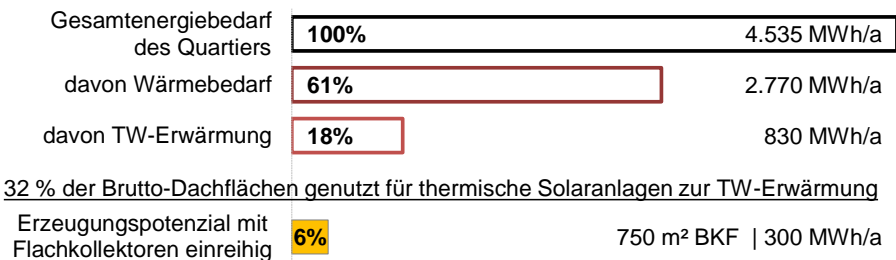


Abb. 32: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung sowie zusätzlich Photovoltaik-Anlagen

Wieder wird angenommen, dass 70 % der Brutto-Dachflächen und 50 % der geeigneten Brutto-Fassadenflächen zur Solarenergiegewinnung genutzt werden können. Ein Teil der Dachflächen der Wohngebäude wird für thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung genutzt, alle restlichen Flächen für Photovoltaik-Anlagen. Die resultierenden Potenziale sind in Abb. 33 dargestellt.

Potenziale zur Wärmeerzeugung:



Zusätzliche Potenziale zur Stromerzeugung:

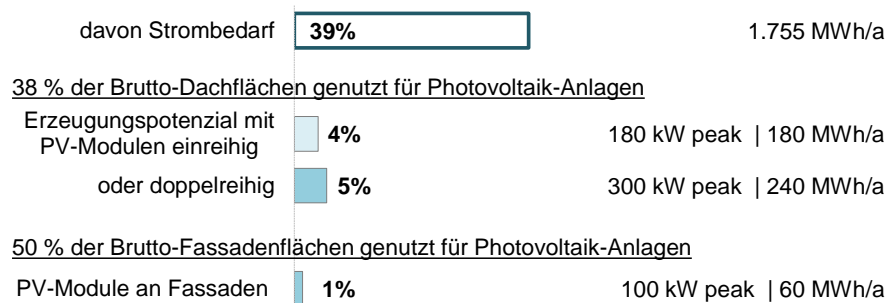


Abb. 33: Potenziale mit solarthermischen Anlagen und Photovoltaik-Anlagen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Anmerkungen zur den dargestellten Potenzialen

- Nicht die gesamte potenziell erzeugte Strommenge der PV-Anlagen kann zur Eigenversorgung im Gebiet genutzt werden. Der restliche Teil wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und in benachbarten Siedlungsgebieten genutzt.
- Die Bestrahlung der Modul- und Kollektorflächen wurde entsprechend der im Baugebiet vorkommenden Orientierungen der Dachflächen bzw. Fassaden abgeschätzt.
- Die Potenziale sind für zwei Aufstellungs-Varianten der Photovoltaik-Module angegeben:
 - „Klassische“ einreihige Aufstellung der Module mit einheitlicher Orientierung möglichst nach Süden und einer Neigung von etwa 30°. Auf Grund der Abstände zwischen den Reihen ist diese Aufstellung ist gut mit einer extensiven Dachbegrünung kombinierbar.
 - Doppelreihige Aufstellung mit entgegengesetzter Orientierung benachbarter Reihen und flacher Neigung von etwa 15°. Auf Grund der flächendeckenden Verschattung der Dachfläche macht eine Dachbegrünung bei dieser Aufstellung keinen Sinn.

1.5 Betrachtete Versorgungsvarianten

Da die Investoren sich bereits auf den Anschluss an den Fernwärmeverbund der Mainova AG festgelegt haben und Wärmeversorgungsvarianten mit Wärmepumpen und unterschiedlichen Quellen bereits in anderen Gebieten ausführlich betrachtet wurden, wurden für das Gebiet nur die Referenzvariante und die Wärmeversorgung mit Fernwärme betrachtet. In Tab. 43 ist eine Übersicht der Varianten zu finden. In diesem Abschnitt werden die Details der Varianten näher erläutert.

Tab. 43: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Akronym	Kurzbeschreibung	VL/RL in °C	Bemerkungen
GEBÄUDE- / BLOCKZENTRALE VARIANTEN			
Gas-BWK +ST	Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie (Referenz)	65/45	Referenzvariante mit solarthermischer Anlage zur Trinkwassererwärmung.
GEBIETSZENTRALE VARIANTE			
FernW (+PV)	Anschluss an den Fernwärmeverbund der Mainova AG ggf. mit Photovoltaik-Anlagen	75/50	Gebäude optional mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.

1.5.1 Variante „Gas-BWK+ST“: Gas-Brennwertkessel und Solarthermie (Referenz)

Die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzlichen Mindestanforderungen erfolgt mittels gebäudezentralen Gas-Brennwertkesseln und solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung:	88 % Gas-Brennwertkessel. (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	12 % solarthermische Anlage zur WW-Bereitung
Wärmenetz:	nicht benötigt.	
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage. Platzbedarf: übliche Abmessungen für Gebäude / Block.	
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik müssen mindestens den Anforderungen an ein KfW Effizienzhaus 55 entsprechen, alle anderen effizienzsteigernden Maßnahmen sind optional.	
Zukunftsperspektive:	Keine.	

1.5.2 Variante „FernW“: Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem

Die Wärmeversorgung aller Abnehmer erfolgt über ein Wärmenetz, welches an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG angeschlossen ist. Detailliertere Information zu dieser Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung:	100 % Fernwärme der Mainova AG,	
Wärmenetz:	2-Leiter Wärmenetz (Kunststoffmantelrohr). Vor-/Rücklauftemperatur: 75 °C / 50 °C (gleitend),	
Heizraum:	Übergabestationen integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage. Platzbedarf: übliche Abmessungen für ein Gebäude.	
Sonstige Anforderungen:	Keine, Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, möglichst mit Flächenheizung.	
Zukunftsperspektive:	Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im Fernwärmeverbund der Mainova AG reduzieren sich auch die Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung des Quartiers.	

1.6 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Eine tabellarische Übersicht der prognostizierten Energie-Bilanz von drei Hauptvarianten ist in Tab. 44 gegeben. Eine entsprechende graphische Darstellung der Ergebnisse ergänzt um einige Untervarianten ist in Abb. 34 zu finden. Die daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen aller Varianten sind für unterschiedliche Bezugsjahre in Abb. 35 dargestellt. Die zugehörige tabellarische Übersicht der Ergebnisse für die drei Hauptvarianten ist in Tab. 45 zu finden.

Tab. 44: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK+ST	FernW	FernW + PV
Erreichter Energiestandard	EnEV16	Quartier-Mix ¹	Ffm.-Mix ¹
Ausführung der Gebäudehülle (Anteil an der ges. Geschossfläche)	EH 55 (100%)	EnEV (83%) EH 55+ (17%)	EH 55 (70%) EH 55+ (30%)
Ausführung der Lüftungsanlage (Anteil an der ges. Geschossfläche)	Abl. (100%)	Abl. (83%) WRG (17%)	Abl. (70%) WRG (30%)
Energiebedarf² in MWh/a	4.330	4.620	4.170
Energieeinsatz³ in MWh/a	= 4.410	4.680	4.220
davon Wärme/Kälte aus lokalen Energieträgern⁴ in MWh/a	+ 390	70	70
davon Strom aus lokalen Energieträgern in MWh/a	+ 0	0	390
Autarkiegrad durch lokale Energieträger ^{4,5}	9%	1%	11%
zusätzlicher Strom ins Netz eingespeist in MWh/a	0	0	0
davon Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	+ 4.020	4.610	3.760
bez. auf EBF ⁶ in kWh/(m ² a)	83	95	77
bez. auf NBL ⁷ in MWh/(ha a)	2.140	2.454	2.002
bez. auf Einw. in kWh/(EW a)	5.027	5.764	4.702
anteilig bez. auf Referenz	100%	115%	94%
bez. auf Energiebedarf	0,93	1,00	0,90

- ¹ Quartier-Mix: 83% EnEV16 / 17% PH, Ffm.-Mix: 70% KfW-EH 55 / 30% PH (jeweils anteilig an der ges. Geschossfläche). Zur Erreichung des Passivhaus-Standards (PH) ist eine verbesserte KfW-EH 55-Hülle sowie eine Zu-/Abluftanlage mit WRG erforderlich.
- ² Der Wärme-/Kältebedarf entspricht der Nutzenergieabgabe ab Erzeuger/Übergabe an die Gebäude, der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf der Gebäude.
- ³ Der Energieeinsatz entspricht der Summe aller zur Deckung des Energiebedarfs im Quartier erzeugten bzw. von extern zugeführten erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger.
- ⁴ Fernwärme wird nicht als lokaler Energieträger betrachtet.
- ⁵ Der Autarkiegrad entspricht dem relativen Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger (Solar-, Umwelt-, Wasser-, Windenergie) sowie Abwärme am gesamten Energieeinsatz.
- ⁶ Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- ⁷ Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

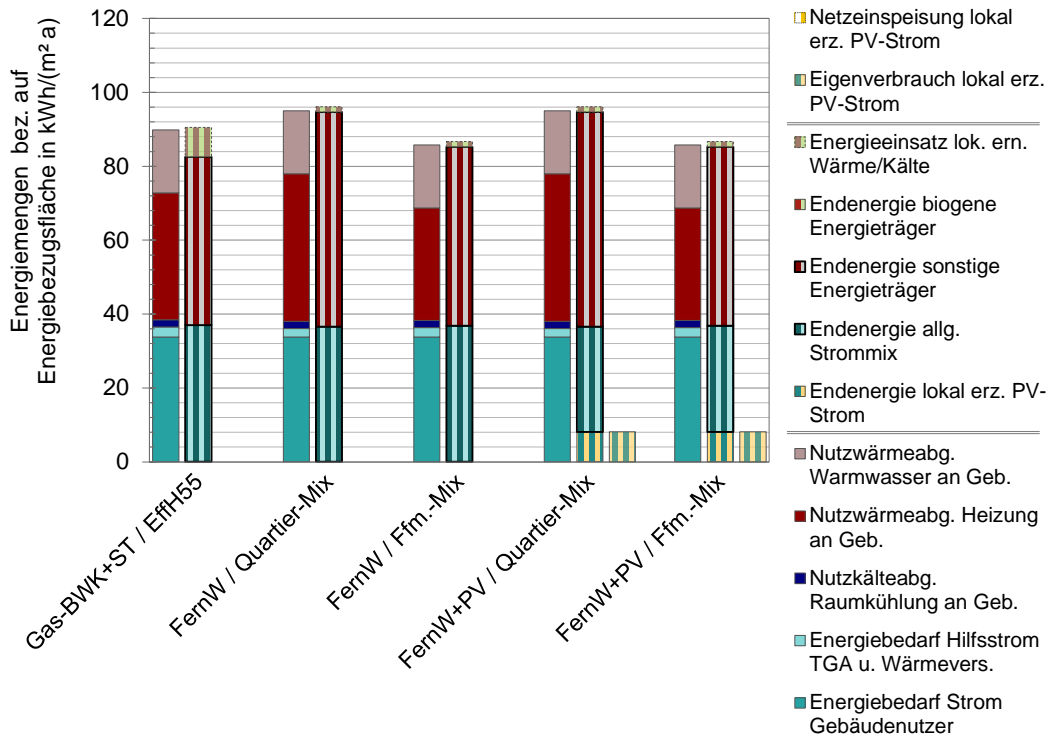


Abb. 34: Prognostizierte Energiebilanz unterschiedlicher Versorgungsvarianten und Energiestandards für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

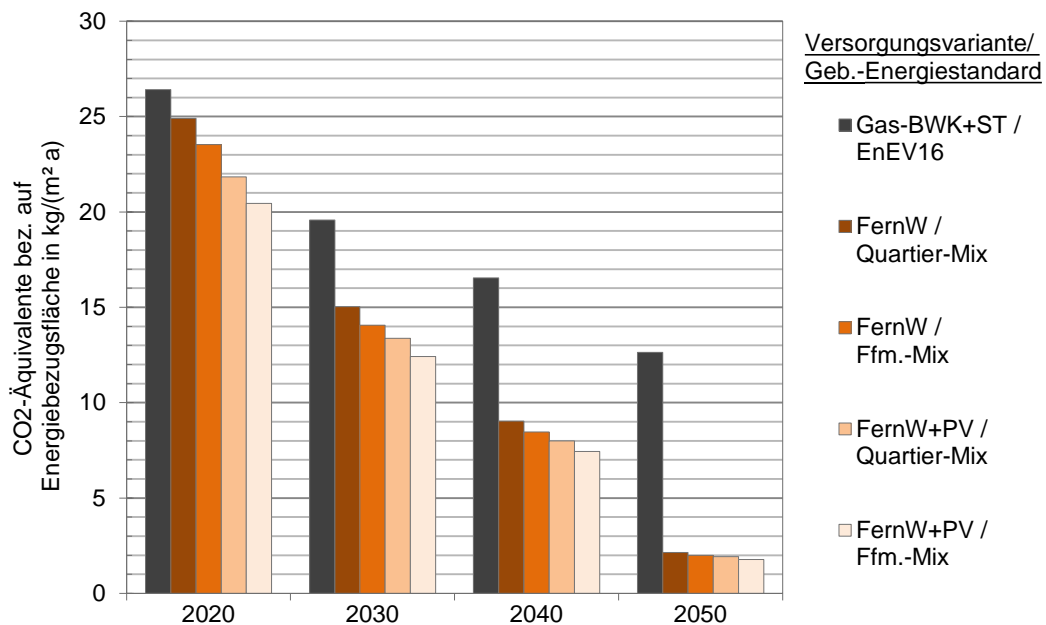


Abb. 35: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr. (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Tab. 45: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr. (basierend auf endenergie-basierter Territorialbilanz).

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK+ST	FernW	FernW + PV
Erreichter Energiestandard	EnEV16	Quartier-Mix*	Ffm.-Mix*
Ausführung der Gebäudehülle (Anteil an der ges. Geschossfläche)	EH 55 (100%)	EnEV (83%) EH 55+ (17%)	EH 55 (70%) EH 55+ (30%)
Ausführung der Lüftungsanlage (Anteil an der ges. Geschossfläche)	Abl. (100%)	Abl. (83%) Zu-/Abl. (17%)	Abl. (70%) Zu-/Abl. (30%)
CO₂-Äquivalente 2020 in t/a	1.286	1.212	988
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	26,4	24,9	20,4
anteilig bez. auf Ref. 2020	100%	94%	77%
CO₂-Äquivalente 2030 in t/a	952	732	598
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	19,6	15,0	12,4
anteilig bez. auf Ref. 2020	74%	57%	47%
CO₂-Äquivalente 2040 in t/a	805	439	359
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	16,5	9,0	7,4
anteilig bez. auf Ref. 2020	63%	34%	28%
CO₂-Äquivalente 2050 in t/a	615	104	85
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	12,6	2,1	1,8
anteilig bez. auf Ref. 2020	48%	8%	7%

* Erläuterungen zu Abkürzungen und Definitionen finden sich auf den vorherigen Seiten.

1.7 Ökonomische Bewertung

Je nachdem welche Varianten von Wärmeversorgung und Gebäude (Hülle und technische Ausrüstung) miteinander kombiniert werden, ergeben sich:

- im Hinblick auf die **Betreiber** von gebiets- oder blockzentralen Wärmeversorgungsvarianten unterschiedliche Investitionen und Wärmepreise, und
- im Hinblick auf die **Eigentümer bzw. Nutzer** der Gebäude unterschiedliche Investitionen, Betriebskosten und annuitätische Gesamtkosten.

Der Vergleich der genannten Indikatoren dient als Grundlage für die ökonomische Bewertung. Die einzelnen Indikatoren werden nachfolgend erläutert:

- Die **Investitionen für die Betreiber** von gebiets- oder blockzentralen Wärmeversorgungsvarianten dienen als Maß für deren wirtschaftlichen Ressourceneinsatz. Alle Investitionen sind Schätzungen auf Basis von

Erfahrungswerten (Stand 2018/19). Es werden nur für die Wärmeversorgung relevante Investitionen berücksichtigt.

- Anhand vom **Wärme(gestehungs)preis** wird die für die Eigentümer bzw. Nutzer der Gebäude günstigste und damit sozial verträglichste gebiets-/blockzentrale Wärmeversorgungsvariante identifiziert. Er fließt auch direkt in die Berechnung der Betriebskosten der Nutzer ein.
- Die **Investitionen für die Eigentümer bzw. Nutzer** sind ebenfalls Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018/19). Es werden nur solche Investitionen einbezogen, die zum einen maßgeblich für die Wärmeversorgung der Gebäude sind und zum anderen zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Im Detail werden berücksichtigt:
 - Zusätzliche Investitionen für einen verbesserten Dämmstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 hinausgeht.
 - Investitionen für Komponenten zur Lüftung und Wärmeversorgung, sofern diese zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Beispielsweise werden Warmwasser-Verteilleitungen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind, nicht berücksichtigt.
 - Aussagekräftig sind folglich die Differenzen der Investitionen der verglichenen Varianten, nicht aber die absoluten Ergebnisse einer einzelnen Variante.
- Die durchschnittlichen **Betriebskosten pro Monat** (im ersten Jahr) dienen als Maß für die laufenden Kosten nach heutigem Stand.
- Die **Annuitäten der Kosten und Erlöse** dienen als Maß für die Wirtschaftlichkeit. Die Annuitäten wurden in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

1.7.1 Mustergebäude und Varianten

Diese Kriterien wurden für folgende Mustergebäude ausgewertet:

Mustergebäude:	Mehrfamilienhaus mit 25 Wohneinheiten.
Geschosse:	sechs Vollgeschosse plus Staffelgeschoss.
Geschossfläche:	2.500 m ² (inkl. Staffel).
Energiebezugsfläche:	2.000 m ² (beh. Wohnfläche).
Hinweis:	Gebäudehülle für Passivhaus entspricht etwa der des KfW Effizienzhaus 55.

Dabei wurden folgende Varianten aus erreichtem Gebäude-Energiestandard und Wärmeversorgung untersucht:

- EnEV Gas-BW+ST:** Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage.
- EnEV FernW:** Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an Fernwärmeverbund der Mainova AG.
- EH55 FernW:** Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an Fernwärmeverbund der Mainova AG.
- PH FernW:** Gebäudehülle entspr. PH, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an Fernwärmeverbund der Mainova AG.

1.7.2 Investitionen aus Nutzersicht

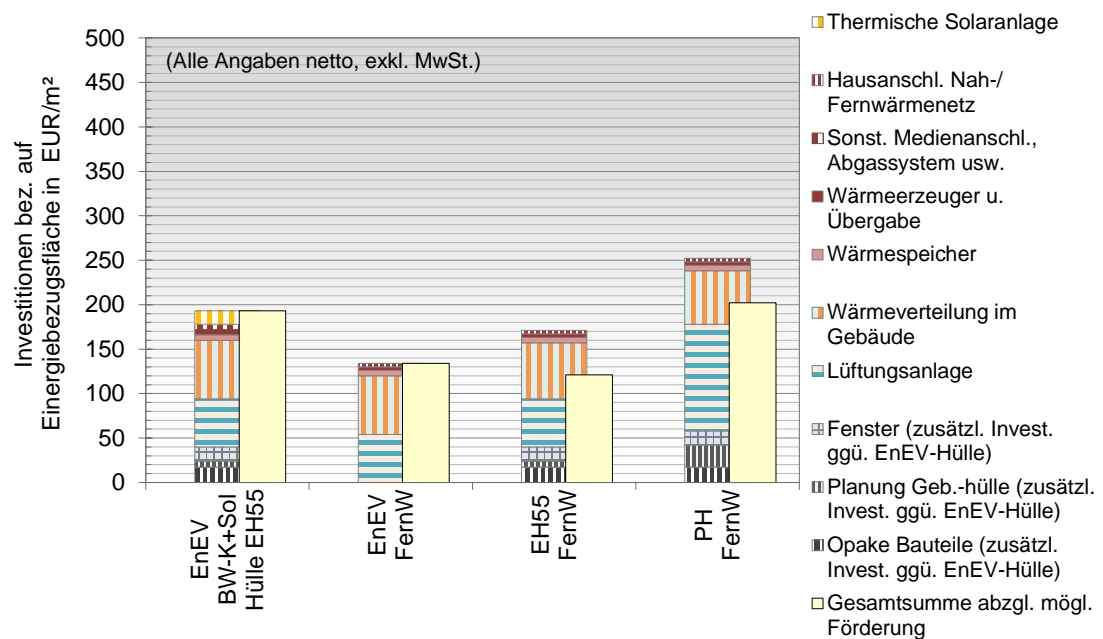


Abb. 36: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

1.7.3 Monatliche Betriebskosten aus Nutzersicht

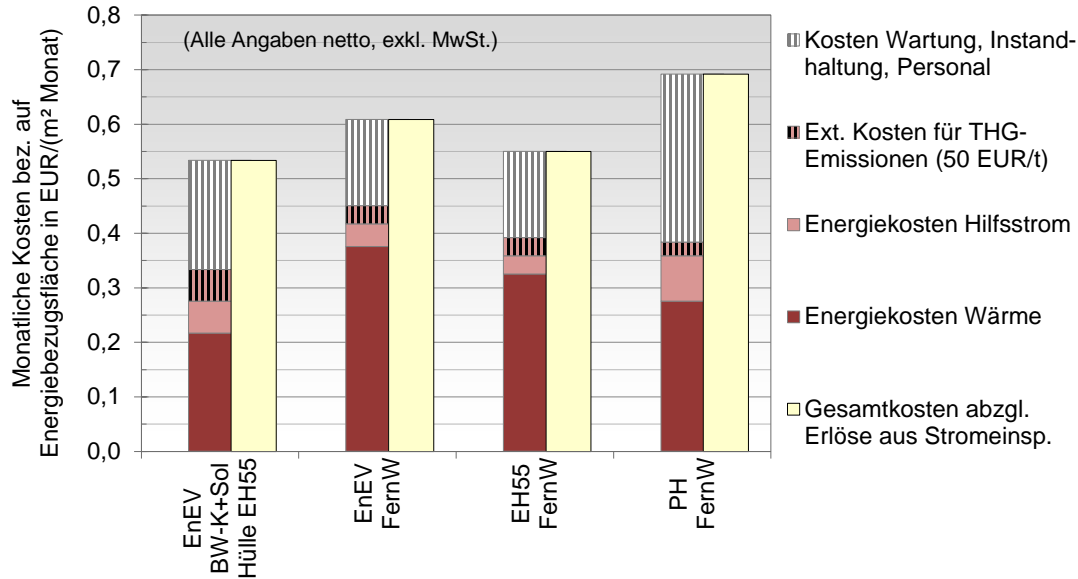


Abb. 37: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

1.7.4 Annuitäten aus Nutzersicht

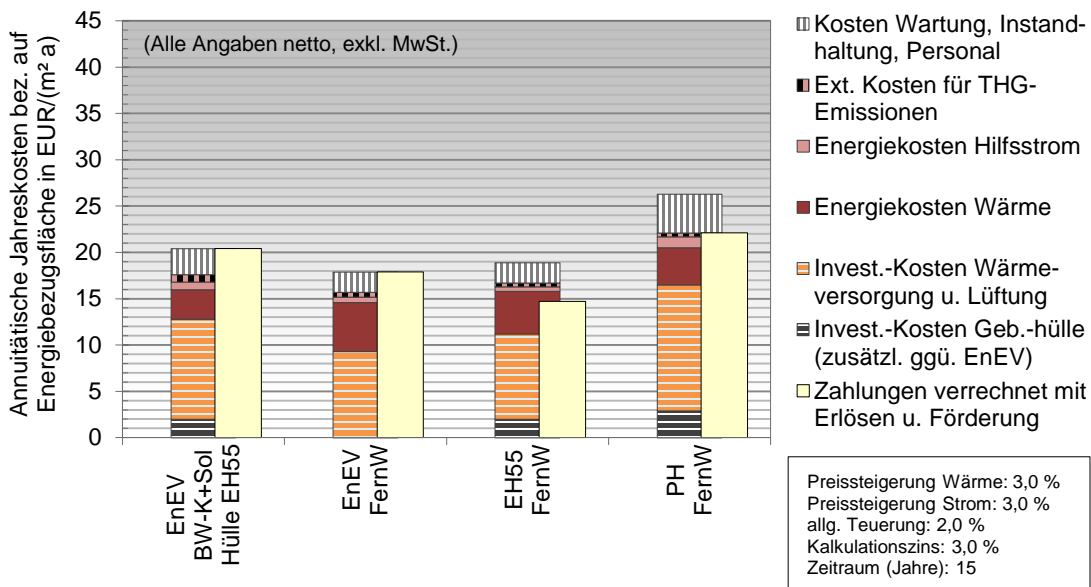


Abb. 38: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.

1.8 Fazit und Empfehlungen

Das städtebauliche Konzept für die Bebauung des ehemaligen Geländes der Mercedes-Niederlassung Hanauer Landstraße sieht größtenteils Blockrand-Bebauung mit sechs bis sieben Geschossen vor. Positiv aus energetischer Sicht ist, dass die Baukörper damit ein sehr niedriges A/V-Verhältnis aufweisen, sofern dieses bei der weiteren Ausgestaltung der Gebäude nicht deutlich verschlechtert wird. In Bezug auf die Besonnung der Fassaden und die Belichtung der Wohnungen bringt die dichte Anordnung der Baukörper voraussichtlich große Varianzen abhängig von Orientierung und Verschattung der Gebäude mit sich, wobei hierzu keine detaillierte Untersuchung durchgeführt wurde.

Es ist zu erwarten, dass der Aufwand zur Erstellung des Passivhaus-Standards je nach Lage eines Gebäudes im Gebiet unterschiedlich ausfällt. Gebäude im Passivhaus-Standard sollten vorrangig in jenen Baukörpern realisiert werden, die die höchsten passiven solaren Gewinne also eine geringe oder keine Verschattung in den Wintermonaten aufweisen – also eher im südlichen Teil des Gebiets. Insofern ist die im vorliegenden Entwurf vorgesehene Anordnung der Büroblöcke im Süden und der Wohnblöcke im Norden eher unglücklich. Zumal sich die Besonnung auch den Energiebedarf zur Kühlung der Bürogebäude in den Sommermonaten auswirkt.

Der Vergleich der energetisch relevanten Investitionen hat gezeigt, dass die Ausführung der Gebäudehülle entsprechend dem KfW Effizienzhaus 55 nicht nur aus energetischer (bzw. ökologischer) Sicht sondern auch im Hinblick auf die Investitionskosten vorteilhaft gegenüber einer Ausführung entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude ist. Die mögliche Förderung für den KfW Effizienzhaus 55 Standard fällt höher aus als die dafür notwendige Mehrinvestition.

Empfehlungen zu Städtebau und Gebäude-Energiestandards

- Eine Anordnung der Wohngebäude im südlichen (weniger verschatteten) Bereich des Gebiets und der Bürogebäude im nördlichen (stärker verschatteten) Bereich wäre aus energetischer Sicht vorteilhaft.
- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau entsprechend den Vorgaben der Stadt Frankfurt im Passivhaus-Standard auszuführen.
Im Geschosswohnungsbau kann der Passivhaus-Standard bei ausreichender Besonnung in der Regel mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW Effizienzhaus 55 und dem zusätzlichen Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden.
- Alle anderen Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

Da der Anschluss des Baugebiets an den Fernwärmeverbund der Mainova AG höchst wahrscheinlich ist, wurden für das Gebiet nur die Referenzvariante und die Wärmeversorgung mit Fernwärme verglichen. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend gegenüber gestellt.

Versorgungsvariante	Referenz: Erdgas	Fernwärme + PV
zentrale/dezentrale Erzeuger	gebäudezentrale Gas-BW-Kessel	gebietszentrale FW-Versorgung
Gebäude-Energiestandard	EnEV	Ffm.-Mix
Ausführung der Gebäudehülle (Anteil an der ges. Geschossfläche)	EH 55 (100%)	EH 55 (70%) EH 55 „+“ (30%)
Ausführung der Lüftungsanlage (Anteil an der ges. Geschossfläche)	Abl. (100%)	Abl. (70%) WRG (30%)
ENERGIE/AUTARKIE		
Energieeinsatz in MWh/a	4.410	4.220
Autarkiegrad	9%	11%
durch folgende lokale Energieträger	Solarthermie	Solarstrom
Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	4.020	3.760
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	83	77
Haupt-Endenergieträger für Wärmeanwendungen	Erdgas	Fernwärme
TREIBHAUSGASE		
CO ₂ -Äquivalente <u>2020</u> in t/a	1.286	995
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	26,4	20,4
CO ₂ -Äquivalente <u>2050</u> in t/a	615	86
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	12,6	1,8
WIRTSCHAFTLICHKEIT MFH als KfW EH 55		
Energetisch relevante Investitionen (netto) abzgl. Förderung bez. auf EBF in EUR/(m ²)	193	121
Monatliche Betriebskosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² M)	0,53	0,55
Annuitätische Gesamtkosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² a)	20	15

Die Versorgung mit Fernwärme verursacht im Vergleich zur Referenzvariante geringere Investitionen und geringere annuitätische Gesamtkosten, was diese Variante aus ökonomischer Sicht für Investoren besonders attraktiv macht. Hierbei ist die Umsetzbarkeit noch zu prüfen. Dabei sollten die zusätzlichen Investitionen bzw. Baukostenzuschüsse zur Erstellung des Anschlusses an den Fernwärmeverbund sowie zur Erschließung des Gebiets selbst ermittelt und in der ökonomischen Bewertung berücksichtigt werden. Eine signifikante Änderung der Ergebnisse wird in diesem Fall jedoch nicht erwartet. Auch aus Nutzersicht spricht nicht gegen die

Fernwärmeversorgung, da diese im Hinblick auf die Betriebskosten keine nennenswerten Nachteile gegenüber der Referenzvariante aufweist, sofern die Gebäude mindestens als KfW Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

Unter der Voraussetzung dass die bundes- bzw. landesweiten Klimaschutzziele für den Strommix erreicht werden, können die Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt für 2050 mit der Fernwärmeversorgung erreicht oder sogar übertroffen werden.

Empfehlungen zur Energieversorgung

- Es wird empfohlen möglichst alle Dachflächen sowie die geeigneten Fassadenflächen der Gebäude zur Solarstromerzeugung zu nutzen.
- Der Anschluss an den Fernwärmeverbund der Mainova AG wird seitens der Investoren angestrebt.
Aus ökonomischer Sicht ist dies empfehlenswert. Die Umsetzbarkeit und dafür ggf. nötige zusätzliche Investitionen müssen geprüft werden.
Auch aus ökologischer Sicht ist die Fernwärmeversorgung empfehlenswert unter den Voraussetzungen,
 - dass die Neubauten in einem möglichst guten Gebäude-Energiestandard ausgeführt werden (mindestens KfW Effizienzhaus 55, siehe oben), und
 - dass langfristig die Transformation der städtischen Fernwärmeversorgung zur „grünen Fernwärme“ gelingt.

2 Hafenpark Quartier – Hotelgebäude am Molenkopf Osthafen

2.1 Einleitung und Kontext

Zwischen dem Osthafen und dem Sitz der Europäischen Zentralbank entwickelt die B&L-Gruppe aus Hamburg im Frankfurter Ostend das „Hafenpark Quartier“ mit ca. 570 Wohnungen, Büros und Hotels. Das Areal auf dem sogenannten Honsell-Dreieck grenzt an den Hafepark und umfasst auch den Molenkopf des Unterhafens zwischen Honsell- und Osthafenbrücke. Dort soll ein 21-geschossiges Gebäude als hochwertiges Hotel- und Appartement-Hochhaus entstehen.



Abb. 39: Auszug aus dem Lageplan Hafenpark Quartier mit Kennzeichnung der Lage des geplanten Boardinghouse (Plan: AS+P, 20.02.2017).

Grundlage für die Entwicklung des Gebiets bildet der Bebauungsplan Nr. 799Ä mit seiner Begründung im Entwurfsstand vom 12.01.2017. Die Fläche des Geltungsbereichs beträgt 10,8 ha. Der fortgeschriebene Hochhausentwicklungsplan von 2008 fordert für die Planung und Errichtung von Hochhäusern stets die Durchführung von Wettbewerben, den Nachweis eines Wohnanteils im Vorhaben selbst oder in der weiteren Nachbarschaft sowie besondere Anstrengungen hinsichtlich der Nutzung natürlicher Ressourcen, alternativer Energien und entsprechender baulicher

Vorkehrungen dafür. Er weist für den Molenkopf einen Hochhausstandort als Solitärstandort aus. Als maximale Höhe werden 60 m angegeben und eine Hotelnutzung vorgeschlagen. Im Bebauungsplan wird eine zulässige Grundflächenzahl von 1,0 definiert, was in Verbindung mit der maximalen Gebäudehöhe von 60 m zu einer maximalen Brutto-Geschossfläche von etwa 26.000 m² führt.

Die B&L-Gruppe aus Hamburg hat Ende 2018 einen Architektenwettbewerb für das Hotelprojekt durchgeführt. Im Februar 2019 hat das Büro Barkow Leibinger Architekten aus Berlin den 1. Preis gewonnen.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, unter welchen Bedingungen das Gebäude im Passivhausstandard ausgeführt und wie es mit einem möglichst hohen Anteil lokaler, erneuerbarer Energien versorgt werden könnte.

2.2 Beschreibung des geplanten Hotel-Projekts

Das Projekt ist als hochwertiges Hotelgebäude mit doppeltem Nutzungskonzept, teils als Boutique Hotel teils nach dem All-Suite Konzept als Boardinghouse geplant. Auf einer Grundstücksfläche von 1.400 m² soll ein 21-geschossiges Hochhaus mit einer Bruttogeschossfläche von 26.000 m² entstehen. Vorgesehen sind ca. 300 Gästezimmer und ca. 110 Service Apartments sowie Lobby, Restaurant, Bar, Café, Erholungsbereiche, eine sogenannte Plaza mit Aussichtsterrasse im 12. Obergeschoss und ein Beach-Club auf dem Tiefkai.

Aus den Angaben zur geplanten BGF, der maximal möglichen Gebäudehöhe und der vorliegenden vorläufigen Isometrie des Gebäudes von 2018 (siehe Abb. 40) ergeben sich aus einer Abschätzung des IB ebök folgende Kenndaten:

Bruttogeschossfläche (BGF):	ca. 26.000 m ²
Beheizte Nettoschossfläche (NGF):	ca. 20.000 m ²
Fassadenfläche	ca. 11.000 m ²
Fläche der thermischen Gebäudehülle:	ca. 16.500 m ²
Brutto-Bauwerksvolumen:	ca. 93.000 m ³
A/V-Verhältnis:	ca. 0,18

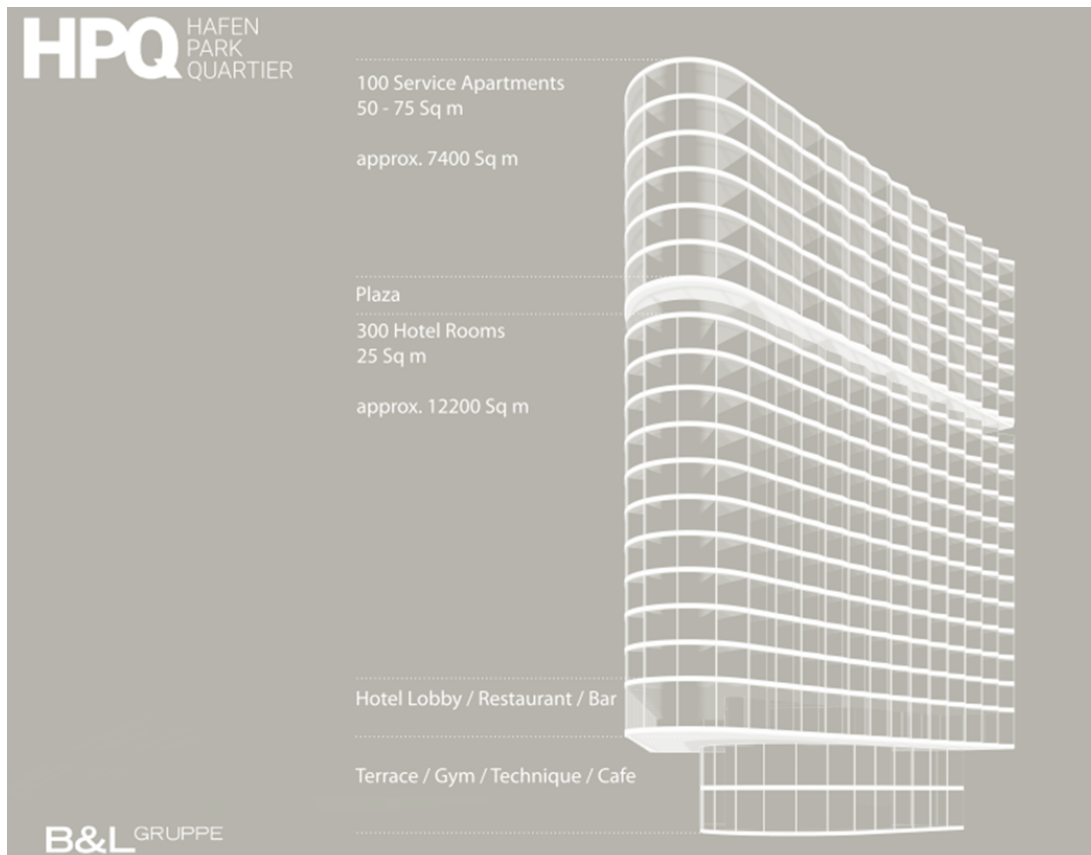


Abb. 40: Projektskizze als vorläufige Isometrie (Quelle: B&L-Gruppe, Stand 08.05.2018).

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen nach EnEV und EEWärmeG

2.3.1 Energie-Einsparverordnung (EnEV)

Hotelgebäude zählen nach der Energieeinsparverordnung [EnEV2014] zu den Nichtwohngebäuden und müssen die entsprechenden Anforderungen einhalten. Für Neubauten gelten ab 2016 im Wesentlichen folgende Anforderungen:

- Der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung darf maximal 75 % des Wertes für ein Referenzgebäude gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung betragen.
- Die Bauteile der thermischen Gebäudehülle dürfen die jeweiligen Höchstwerte des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten nach Anlage 2 Tabelle 2 der EnEV nicht überschreiten.
- Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach Anlage 2 Nummer 4 der EnEV müssen eingehalten werden.

2.3.2 Erneuerbares-Energie-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Neben der EnEV muss ein Neubau auch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [EEWärmeG 2015] von 2008 mit letzter Änderung von 2015 einhalten. Dieses Gesetz regelt die Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteversorgung von Neubauten. Je nach verwendeter Energieart muss der Wärme- (oder Kälte)-Energiebedarf in unterschiedlichem Umfang aus erneuerbaren Energien gedeckt werden:

- zu mindestens 15% durch thermische Solaranlagen,
- zu mindestens 30% durch gasförmige Biomasse (nur in Verbindung mit einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage),
- zu mindestens 50% durch flüssige oder feste Biomasse,
- zu mindestens 50% durch Geothermie oder Umweltwärme (z.B. in Verbindung mit Wärmepumpen mit einer Mindest-Jahresarbeitszahl)

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

- zu mindestens 50% durch Abwärme (in Verbindung mit Wärmepumpen mit einer Mindest-Jahresarbeitszahl oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und weiteren Mindestanforderungen),
- zu mindestens 50% durch hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen,
- zu 100% aus Fern- oder Nahwärmenetzen (mit wesentlichem Anteil erneuerbarer Energien, mindestens 50% Abwärme, mindestens 50% KWK-Anlagen oder mindestens 50% durch Kombination dieser Maßnahmen),
- oder die Anforderungen der EnEV an den Primärenergie-Bedarf und die Wärmedämmung der Gebäudehülle müssen um mindesten 15% unterschritten werden.

Die Maßnahmen und Ersatzmaßnahmen können untereinander kombiniert werden.

2.4 Hochhäuser im Passivhaus-Standard

2.4.1 Anforderungen an den Passivhaus-Standard

Die Anforderungen für zertifizierte Passivhäuser wurden vom Passivhaus-Institut Darmstadt festgelegt. Die Kriterien gelten einheitlich für alle Gebäudetypen, Nutzungsarten und Klimazonen. Sie betreffen den spezifischen Heizwärmebedarf, den spezifischen Kühl- und Entfeuchtungsbedarf, den spezifischen Primärenergiebedarf, die Luftdichtheit der Gebäudehülle sowie weitere Nebenanforderungen an die Übertemperaturhäufigkeit, die Nutzerzufriedenheit und die Lüftungsanlagen.

Tab. 46: Anforderungen für den Passivhaus-Standard nach [PHI-Kriterien 2016]

Kriterium	Anforderung
Spezifischer Heizwärmebedarf nach PHPP	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Spezifische Heizlast nach PHPP	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Spezifischer Kühlbedarf nach PHPP	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Spezifische Kühllast nach PHPP	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Spezifischer Primärenergiebedarf nach PHPP	$\leq 95 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Luftdichtheit (Drucktest-Luftwechsel n_{50})	$\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Der Nachweis des Passivhaus-Standards erfolgt nicht entsprechend dem Berechnungsverfahren der EnEV, sondern anhand des Passivhaus-Projektierungs-Pakets [PHPP2015]. Die Bezugsfläche für die spezifischen Werte ist die Energiebezugsfläche EBF nach PHPP, die von der Nutzfläche A_N der EnEV deutlich abweichen kann.

2.4.2 Vorteile von Hochhäusern bei der Erfüllung des Passivhaus-Standards

Im Gegensatz zur EnEV und den KfW-Förderstandards müssen bei den Anforderungen für den Passivhaus-Standard absolute Werte eingehalten werden und nicht ein Verhältnis gegenüber den Werten eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie und Orientierung. Deshalb spielen beim Passivhaus-Standard die Klima-daten am Baustandort, das A/V-Verhältnis, sowie der Fensterflächenanteil und die Fensterverteilung nach Himmelsrichtung eine wichtige Rolle. Bei Hochhäusern ergeben sich dadurch bestimmte Vorteile bei der Realisierung als Passivhaus:

- Hochhäuser weisen aufgrund ihrer Größe und ihrer Bauform i.d.R. eine große Kompaktheit des Baukörpers und somit ein sehr gutes A/V-Verhältnis auf.
- Hochhäuser erfahren durch ihre Höhe zumindest in den höheren Geschossen nur eine geringe bis gar keine Verschattung durch andere Gebäude. Dies verbessert das Potential zur Nutzung passiv-solarer Gewinne.
- Gegenüber anderen Gebäudeformen haben Hochhäuser eine relativ große Fassadenfläche im Verhältnis zu Dach- und Bodenfläche. Mit günstig orientierten und hocheffizienten Verglasungen kann dadurch die Nutzung passiv-solarer Gewinne erhöht werden.
- Die windbedingten Probleme der Fensterlüftung führen bei Hochhäusern meistens dazu, dass die Lüftung über mechanische Zu-/Abluftanlagen realisiert wird. Im vorliegenden Fall, bei dem zusätzlich mit Schallemissionen aus dem benachbarten Hafenbetrieb zu rechnen ist, ist die Realisierung einer

solchen Lüftungsanlage höchst wahrscheinlich. Damit ist die Möglichkeit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung gegeben und damit eine Grundvoraussetzung für die Erfüllung der Anforderungen an den Heizwärmebedarf beim Passivhaus-Standard bereits erfüllt.

Insgesamt ist zu erwarten, dass bei Umsetzung dieser Vorteile im Rahmen einer optimierten Planung die Mehrkosten für den Passivhaus-Standard gegenüber anderen Energiestandards bei Hochhäusern sehr gering sind.

2.4.3 Referenzbeispiele für Passivhaus-Wohnhochhäuser

2.4.3.1 Wohnhochhaus Bolueta in Bilbao

Das Hochhaus liegt im gleichnamigen Stadtteil Bolueta in der nordspanischen Stadt Bilbao und wurde dieses Jahr fertig gestellt. Es umfasst 28 Stockwerke und erreicht eine Höhe von 88 Metern und ist damit das derzeit höchste Passivhaus-Hochhaus der Welt. Es verfügt über 108 Eigentumswohnungen. Die 63 Apartments im angrenzenden, flacheren Nebengebäude werden im Rahmen des sozialen Wohnungsbaus vermietet. Die Kosten für das Projekt mit insgesamt 171 Wohnungen und rund 13.000 m² Wohn- und Nutzfläche belaufen sich auf rund 12,5 Millionen Euro. Der Heizwärmebedarf beträgt 6 kWh/(m²a) und der Primärenergiekennwert 98 kWh/(m²a). Das Gebäude wurde vom Passivhaus-Institut Darmstadt als Passivhaus zertifiziert.

Bauherr*in: VISESA, Vivienda y Suleo de Euskadie SA, Vitoria, Spanien
Architekt*in: VArchitectos, Ansoain, Spanien

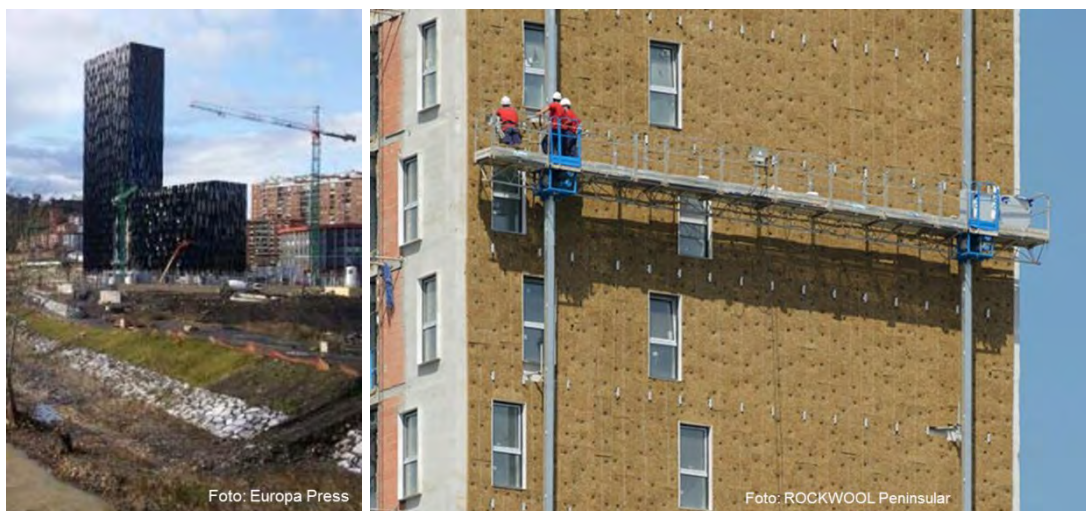


Abb. 41: Wohnhochhaus Bolueta im Passivhaus-Standard in Bilbao

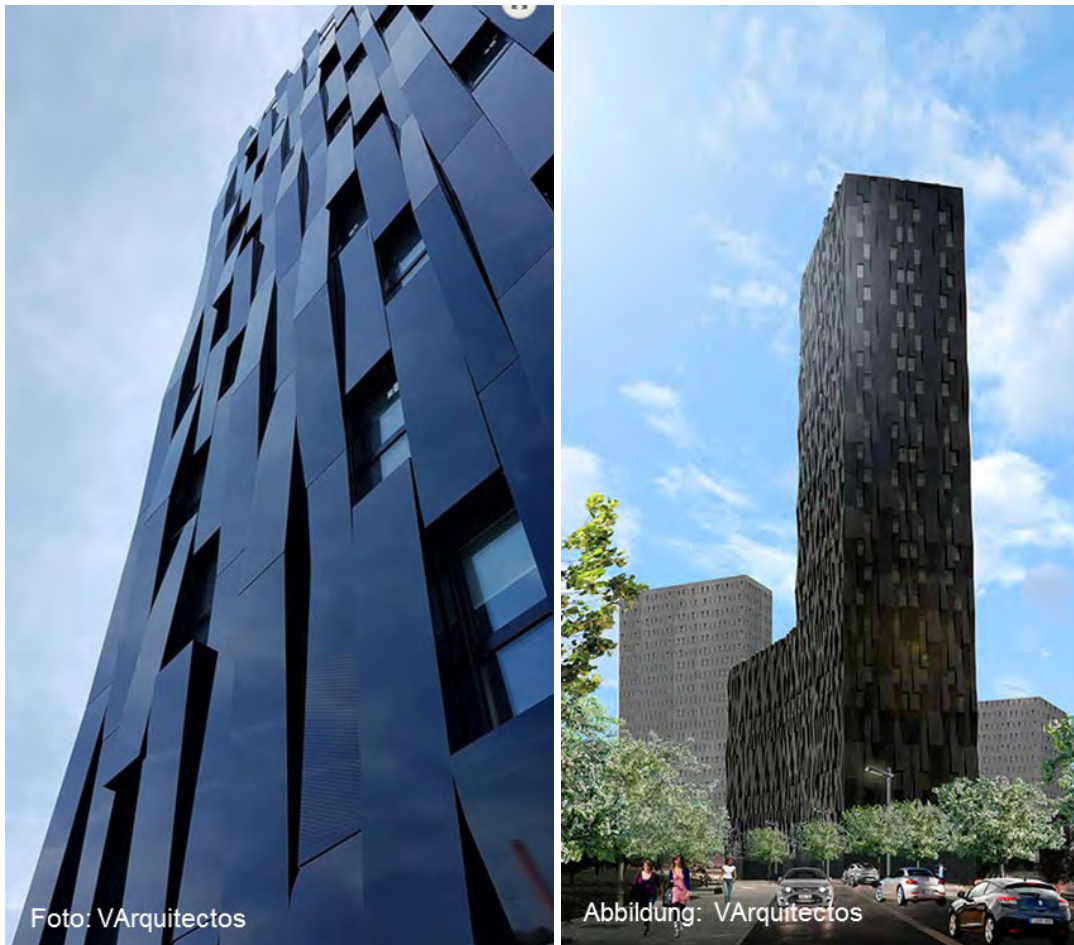


Abb. 42: Wohnhochhaus Bolueta im Passivhaus-Standard in Bilbao

2.4.3.2 Studentenwohnheim Cornell Tech in New York

Cornell Tech ist ein Engineering-Campus auf der Roosevelt-Insel in Manhattan, New York City. Dort wurde 2017 ein Studentenwohnheim im Passivhaus-Standard mit 352 Wohneinheiten für 550 Student*innen fertiggestellt. Das Gebäude hat 26 Geschosse, eine Höhe von 82 m² und eine Wohn-/Nutzfläche von rund 25.000 m². Der Heizwärmebedarf beträgt 14 kWh/(m²a), der Kühlbedarf 13 kWh/(m²a) und der Primärenergiekennwert 135 kWh/(m²a). Das Gebäude wurde vom Passivhaus-Institut Darmstadt als Passivhaus zertifiziert.

Bauherr*in: Cornell University, New York, USA
 Architekt*in: Handel Architects LLP, New York, USA

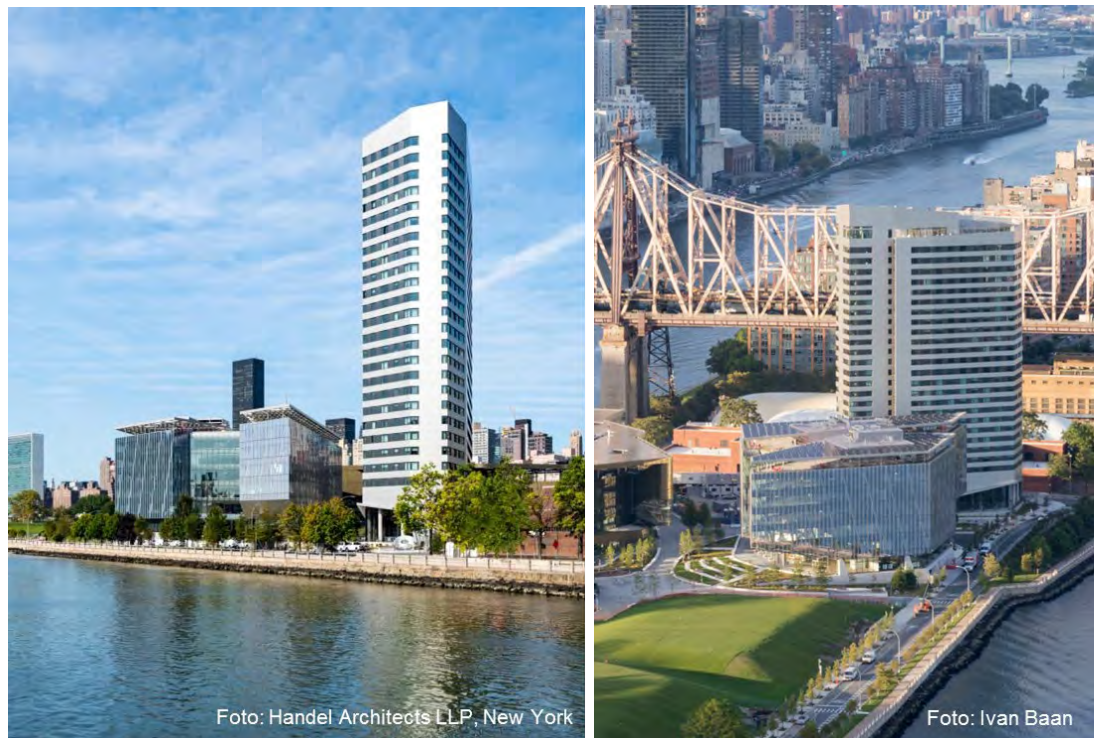


Abb. 43: Studentenwohnheim im Passivhaus-Standard: House of Cornell Tech in New York

2.5 Energetisch Gesichtspunkte

2.5.1 Raumwärme

Der Heizwärmebedarf zur Raumheizung eines Gebäudes ergibt sich aus der Bilanz der Wärmeverluste über Transmission und Lüftung auf der einen Seite und den internen und solaren Wärmegewinnen auf der anderen Seite. Die Höhe des Heizwärmebedarfs wird somit im Wesentlichen durch fünf Faktoren beeinflusst:

- das Verhältnis der Fläche der thermischen Gebäudehülle zum Bruttorauminhalt des Gebäudes (A/V -Verhältnis),
- die thermische Qualität der Gebäudehülle,
- den Außenluftwechsel (ggf. in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung),
- die Qualität, Größe, Orientierung und Verschattungssituation der Fenster,
- den internen Wärmegewinnen durch Personen und Geräte.

Bei Hochhäusern besteht die thermische Hüllfläche zum größten Teil aus der Fassade. Sie wird bei Hochhäusern oft als Vorhangfassade ausgeführt, sie kann aber auch als Loch- oder Bandfassade realisiert werden. Alle Fassadenarten können unterschiedliche Anteile opaker und transparenter Flächen aufweisen.

Anhand der abgeschätzten Kenndaten für das geplante Hotel-Projekt wurden Parameterstudien für drei Ausführungsvarianten durchgeführt, um den Einfluss der oben genannten Faktoren auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes zu untersuchen. Als Ausführungsvarianten werden dabei verglichen:

Variante 1: Gebäudehülle nach Mindestanforderungen EnEV, mit Vorhangfassade;

Variante 2: Gebäudehülle nach Mindestanforderungen EnEV, mit Lochfassade;

Variante 3: Gebäudehülle entsprechend Passivhaus-Standard, mit Lochfassade.

Der Grenzwert des Passivhaus-Standards für den Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m²a) lässt sich im vorliegenden Fall (gutes A/V-Verhältnis) am Standort Frankfurt a.M. mit U-Werten für die Außenbauteile erreichen, wie sie üblicherweise auch für den KfW-Effizienzhaus-Standard 55 Verwendung finden. Im Einzelnen handelt es sich dabei um folgende Werte:

Tab. 47: Annahmen für die U-Werte der Außenbauteile zur Erreichung des Passivhaus-Standards bei großen Gebäuden mit gutem A/V-Verhältnis in Frankfurt a.M.

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]
Opake Außenwand	0,18
Außenwand gg. Erdreich	0,25
Dach, Decke gg. außen	0,13
Boden gg. Erdreich od. unbeheizt	0,25
Boden gg. Außenluft	0,18
Fensterflächen	0,95

Folgende Parametervariationen wurden verwendet:

- A/V-Verhältnis: 0,18 / 0,20 / 0,225 / 0,25
Wird das geplante Gebäude ohne wesentliche Versprünge in der Fassade ausgeführt, kann ein A/V-Verhältnis von 0,18 bis 0,20 erreicht werden.
- Mittlerer Außenluftvolumenstrom während der Heizperiode:
1,5 m²/(m²h) / 2,0 m²/(m²h) / 2,5 m²/(m²h)
Für die geplante Nutzung erscheint ein mittlerer Außenluftvolumenstrom von 2,0 m²/(m²h) eine sinnvolle Zielgröße. Dies würde einem mittleren Außenluftwechsel von 0,8 1/h entsprechen.
- Fensterflächenanteil an der Fassade: 30 % / 50 % / 66 % / 100 %
Ein Fensterflächenanteil von 50 % an der Fassade entspricht im vorliegenden Fall einer Fensterfläche von 0,31 m² je m² beheizter NGF. Im Wohnungsbau sind Werte zwischen 0,16 und 0,25 m²FF/m²NGF üblich.
- Verwendung von Sonnenschutzverglasung:
keine Sonnenschutzverglasung (SSV) / SSV 70/40 / SSV 60/31 / SSV 40/22
Sonnenschutzverglasung reduziert in Abhängigkeit vom g-Wert die solaren

Wärmegewinne während der Heizperiode und erhöht somit den Heizwärmebedarf.

- Interne Wärmegewinne während der Heizperiode:

3 W/m² / 4 W/m² / 5 W/m² / 6 W/m²

Das Passivhaus-Projektierungs-Pakets [PHPP2015] verwendet für Wohnnutzung standardmäßig einen Wert von 2,4 W/m². Bei gehobener Hotelnutzung insbesondere in Verbindung mit Restaurationsbetrieben liegen die Werte deutlich höher. Je nach Belegungsdichte und Stromverbrauch können Werte zwischen 4 und 5 W/m² erreicht werden.

Als Ausgangsvariante wurde bei allen Parameterstudien ein A/V-Verhältnis von 0,20, ein Außenluftvolumenstrom von 2,0 m³/(m²h), ein Fensterflächenanteil von 50 % und interne Wärmegewinne von 5 W/m² angesetzt.

Folgende Randbedingungen wurden in allen Varianten konstant gehalten:

- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit WRG-Grad von 80 %
- Luftdichtheit der Gebäudehülle $n_{50} = 0,60$ 1/h
- Geringe Verschattung der Fensterflächen durch Laibungen, Überstände, andere Gebäude oder Horizont.
- Mittlere Raumtemperatur von 21,5°C während der Heizperiode.

Die Berechnungen des Heizwärmebedarfs ergeben für die drei Ausführungsvarianten des geplanten Hotel-Hochhauses folgende Ergebnisse:

- Je nach Variation der o.g. Parameter liegt der Heizwärmebedarf für eine Gebäudehülle nach EnEV mit Vorhangfassade (Variante 1) beim 1,6 bis 3,0-fachen einer EnEV-Lochfassade (Variante 2) und beim 3,6 bis 6,5-fachen einer Passivhaus-Lochfassade (Variante 3).
- Der Heizwärmebedarf einer EnEV-Lochfassade (Variante 2) liegt beim 2,0 bis 2,5-fachen Wert einer Passivhaus-Lochfassade (Variante 3).

A/V-Verhältnis

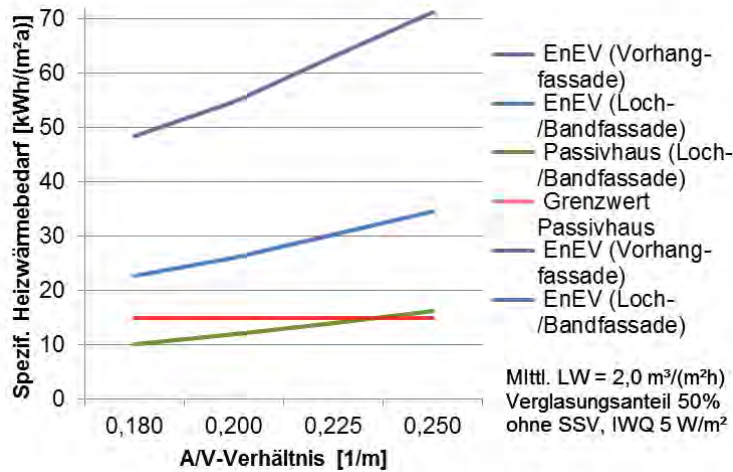


Abb. 44: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und dem A/V-Verhältnisses

Der A/V-Faktor hat einen starken Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Bei einem Anstieg des Faktors von 0,18 auf 0,25 erhöht er sich bei der EnEV-Vorhangfassade um 23 kWh/(m²a), bei der EnEV-Lochfassade um 12 kWh/(m²a) und bei der Passivhaus-Lochfassade um 6 kWh/(m²a).

Verglasungsanteil an der Fassade

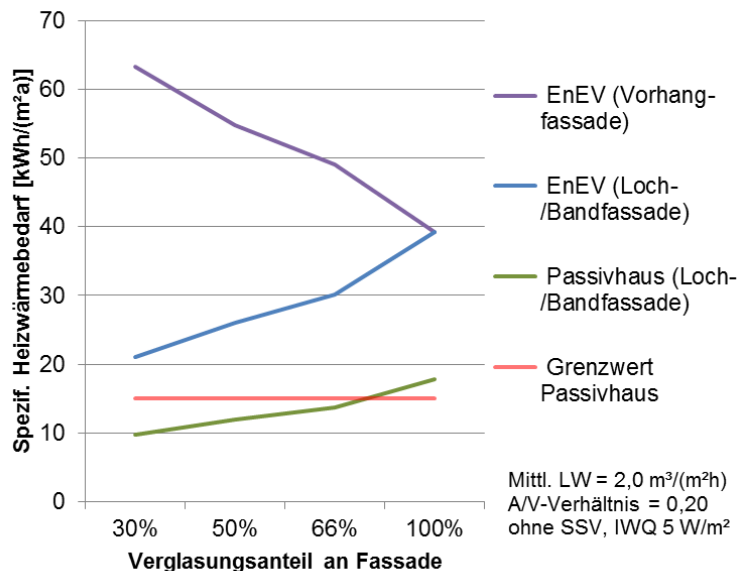


Abb. 45: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlich hohem Verglasungsanteil

Der Verglasungsanteil hat einen starken Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Bei einem Anstieg von 30 % auf 100 % erhöht er sich bei der EnEV-Lochfassade um 18 kWh/(m²a) und bei der Passivhaus-Lochfassade um 8 kWh/(m²a). Bei der EnEV-Vorhangfassade reduziert sich der Heizwärmebedarf mit steigendem Verglasungsanteil, da sich der U-Wert nicht ändert, die solaren Gewinne jedoch steigen. Bei den Lochfassaden ist der U-Wert der opaken Wand deutlich besser als der der Fensterflächen. Mit steigendem Verglasungsanteil nehmen die Transmissions-Wärmeverluste zu und überkompensieren die Zunahme der solaren Gewinne.

Interne Wärmegewinne

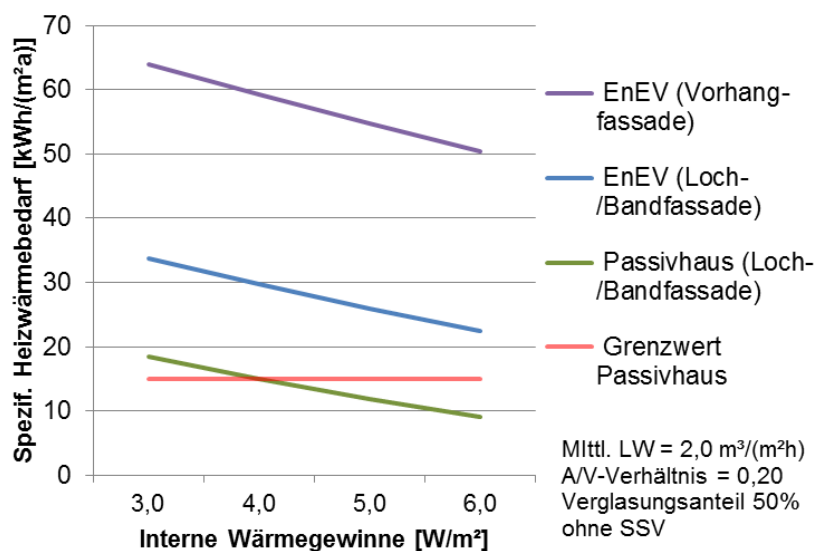


Abb. 46: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlich hohen internen Wärmegewinnen

Die internen Wärmegewinne haben einen starken Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Bei einem Anstieg der Gewinne von 3 auf 6 W/m² reduziert er sich bei der EnEV-Vorhangfassade um 14 kWh/(m²a), bei der EnEV-Lochfassade um 11,5 kWh/(m²a) und bei der Passivhaus-Lochfassade um 8 kWh/(m²a).

Mittlerer Außenluftvolumenstrom

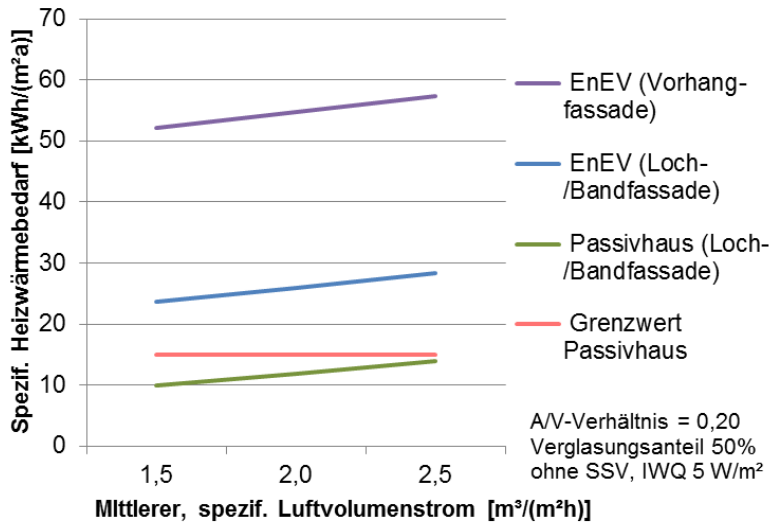


Abb. 47: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlichen Luftwechselln der Lüftungsanlagen

Der Luftvolumenstrom hat aufgrund der guten Wärmerückgewinnung nur einen geringen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Ein Anstieg von 1,5 auf 2,5 m³/(m²h) verursacht bei der EnEV-Vorhangfassade eine Erhöhung um 5 kWh/(m²a), bei der EnEV-Lochfassade um 4,5 kWh/(m²a) und bei der Passivhaus-Lochfassade um 4 kWh/(m²a).

Verwendung von Sonnenschutzverglasung

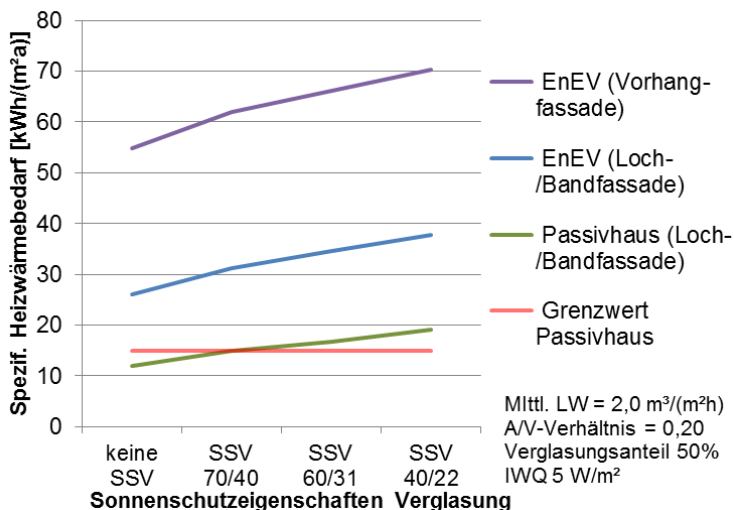


Abb. 48: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlichen Sonnenschutzverglasungen

Die Verwendung von Sonnenschutzverglasung hat einen deutlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Zwischen einer Ausführung ohne Sonnenschutzverglasung und einer sehr hochwertigen Sonnenschutzverglasung 40/22 erhöht sich der Heizwärmebedarf bei der EnEV-Vorhangfassade um 15 kWh/(m²a), bei der EnEV-Lochfassade um 12 kWh/(m²a) und bei der Passivhaus-Lochfassade um 7 kWh/(m²a). Wird nur ein leichtes Sonnenschutzglas 70/40 mit zusätzlichem, innenliegendem Sonnenschutz verwendet, ist die Erhöhung nur halb so groß.

2.5.2 Sommerlicher Wärmeschutz und Raumkühlung

Frankfurt a.M. war im Sommer 2018 Hitzehochburg in Deutschland. Die Stadt lag sowohl mit einer Durchschnittstemperatur von 22,2 °C als auch mit 18 aufeinanderfolgenden Hitzetagen an der Spitze [DWD 2018]. In Folge des Klimawandels ist in den kommenden Jahren mit einer Zunahme von heißen Sommern und Hitzeperioden zu rechnen.

Bei Hotels der gehobenen Klasse werden Überhitzungen der Räume nicht toleriert. Die Gebäude werden i.d.R. mit Klimaanlage zur Kühlung ausgestattet. Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz sind dennoch wichtig, um Überhitzungen zu vermeiden und den Bedarf an Kühlleistung und Energie zur Raumkühlung möglichst gering zu halten. Wesentliche Elemente einer Strategie zum sommerlichen Wärmeschutz und zur Reduzierung der Kühllasten sind:

- Angepasste Verglasungsflächen,
- Wirksamer Sonnenschutz vor Verglasungen,
- Reduzierung interner Wärmelasten,
- Nutzung von Wärme-(Kälte-)Rückgewinnung bei der Lüftung,
- Nutzung thermischer Speichermassen,
- Möglichkeiten zur freien Kühlung.

Verglaste Flächen haben einen deutlich höheren Wärmedurchgang als opake Außenwände. Bei hohen Außentemperaturen ist deshalb der Wärmestrom über die gleiche Fläche bei Verglasungen um ein Mehrfaches höher als bei opaken Wänden. Hinzu kommt der Wärmeeintrag durch solare Strahlung. Selbst bei sehr gutem Sonnenschutz (außer bei vollkommener Verdunkelung) kommt mit dem Sonnenlicht noch ein Vielfaches an Energie über die Fenster in einen Raum als durch Wärmeleitung. Die Größe der Fensterflächen, ihre Orientierung und ihr Anteil an der Fassadenfläche sind deshalb wesentliche Faktoren, die den sommerlichen Wärmeschutz und die Größe der Kühllasten beeinflusst.

Über unverschattete Glasflächen ohne Sonnenschutz können mehrere Hundert Watt pro Quadratmeter ins Gebäude gelangen. Wieviel Wärme in den Raum kommt, hängt vom Einstrahlungswinkel der Sonne zur Fassade des Gebäudes ab. Dieser ist je nach

Tages- und Jahreszeit sowie je nach Ausrichtung der Fassade unterschiedlich. Um eine Überhitzung der Räume zu vermeiden, ist ein geeigneter Sonnenschutz unverzichtbar. Der Sonnenschutz kann durch verschiedene Maßnahmen verwirklicht werden:

- Feststehender außenliegender Sonnenschutz kann durch Verschattung zu einem guten Sonnenschutz führen. Er ist allerdings nur für einen bestimmten Sonnenstand optimal und kann nicht an wechselnde Bedingungen oder Anforderungen angepasst werden.
- Beweglicher Sonnenschutz hat den Vorteil, dass er flexibel an äußere Bedingungen oder wechselnde Nutzungsanforderungen angepasst werden kann. Innenliegender Sonnenschutz ist i.d.R. kostengünstiger aber weniger wirkungsvoll als ein außenliegender Sonnenschutz. Dieser erfordert allerdings einen höheren Wartungsaufwand und ist an windexponierten Fassaden nur bedingt wirksam. Alternativ kann der mobile Sonnenschutz auch in Scheibenzwischenräumen oder in Doppelfassaden montiert werden.
- Sonnenschutzverglasungen zeichnen sich durch einen niedrigen Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) und eine möglichst hohe und farbneutrale Lichtdurchlässigkeit (T_L -Wert) aus. Sonnenschutzgläser haben gestalterische und wartungstechnische Vorteile. Von Nachteil ist die konstante Reflexion, so dass der Sonnenschutz nicht an die äußeren Bedingungen oder wechselnde Nutzungsanforderungen angepasst werden kann. So schränkt die Sonnenschutzverglasung z.B. im Winter die Tageslichtnutzung und die nutzbaren solaren Wärmegewinne ein.
- Durch Bedruckungen, Lackierungen und Ätzungen der Gläser kann ebenfalls ein integrierter Sonnenschutz realisiert werden. Vor- und Nachteile sind ähnlich wie bei Sonnenschutzverglasung.
- Bei schaltbaren, elektrochromen Scheibensystemen kann der g-Wert und T_L -Wert über elektrische Impulse in einem bestimmten Bereich variiert und den klimatischen Bedingungen angepasst werden.

2.5.3 Trinkwarmwasser

Durch die dichtere Belegung und zahlreiche Zusatznutzungen mit hohem Warmwasserverbrauch liegt dieser in Hotels i.d.R. deutlich höher als in Wohngebäuden. Er schwankt allerdings stark je nach Belegungsdichte, Auslastung und Ausstattung (z.B. Wellnessbereich). In Hotels der gehobenen Klasse ist ein Nutzwärmeverbrauch für Warmwasser von $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und mehr durchaus möglich (siehe dazu [Voss 2015]). Damit kann der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung den Bedarf für die Raumheizung übersteigen. Für energieoptimierte Hotels ist somit eine energieeffiziente Warmwasserbereitung unabdingbar. Durch wassersparende

Armaturen, verlustarme Installationen und durch Nutzersensibilisierung können Warmwasserverbrauch und Verteilverluste begrenzt werden.

2.5.4 Stromanwendungen

Der Stromverbrauch in Hotels ist hoch. In der Untersuchung [Voss 2015] liegt der mittlere Stromverbrauch von 35 Hotels bei 72 kWh/(m²a). In der Untersuchung [Bohdanowicz°2006] werden für die Kettenhotels von Hilton International und Scandic in Europa Werte von 150 bis 200 kWh/(m²a) angegeben.

Zu den hohen Stromverbräuchen können neben Beleuchtung, umfangreicher IuT-Ausstattung und Aufzügen vor allem Lüftungs- und Klimaanlage, Wellness- und Schwimmbadbereiche sowie Gastronomie beitragen. Die Angebote, der Ausstattungsgrad und das Komfortniveau des Hotels bestimmen somit in hohem Masse den Stromverbrauch.

In allen Anwendungsbereichen bestehen durch energieeffiziente Anlagen, Geräte und Regelungen große Einsparpotentiale. Darüber hinaus kann durch die Sensibilisierung der Angestellten und der Gäste hinsichtlich eines sparsamen Umgangs mit Energie spürbare Einsparungen erreicht werden [Huijbrechts 2015].

2.6 Energiebedarfsprognose

Die Energiebedarfsprognose vergleicht zwei Ausführungsvarianten für das geplante Hotel-Hochhaus:

- Gebäudehülle nach EnEV-Mindeststandard und Lochfassade mit 50 % Fensterflächenanteil, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Warmwasser-Normbedarf von Hotels nach [Voss 2015], Strombedarf ohne besonderes Stromsparkonzept in Anlehnung an den Mittelwert für Hotels von 72 kWh/(m²a) nach [Voss 2015], davon 55 kWh/(m²a) für Beleuchtung, Hotel- und Restaurantbetrieb sowie Nutzeranwendungen.
- Gebäudehülle nach Passivhaus-Standard (entsprechend H_T'-Anforderung für KfW-EH-55) und Lochfassade mit 50 % Fensterflächenanteil, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, reduzierter Wärmebedarf für Warmwasser durch Spararmaturen und effizientere Verteilung (-12,5 % gegenüber [Voss 2015]), Strombedarf mit Stromsparkonzept durch das der Mittelwert nach [Voss 2015] um knapp 50 % auf 38 kWh/(m²a) gesenkt wird, davon 24 kWh/(m²a) für Beleuchtung, Hotel- und Restaurantbetrieb sowie Nutzeranwendungen.

Bei beiden Varianten beträgt das A/V-Verhältnis 0,20 und es wird ein leichtes Sonnenschutzglas 70/40 mit zusätzlichem innenliegendem Sonnenschutz verwendet.

Der mittlere Luftvolumenstrom wird mit $2,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ und die internen Wärmegewinne mit 5 W/m^2 angesetzt.

Der Energiebedarf für Raumheizung, Warmwasserbereitung, Kühlung und Hilfsenergie wurde anhand eines vereinfachten Modells mit dem Bilanzierungsprogramm PHPP für beide Varianten berechnet. Bei Wärme und Kälte handelt es sich dabei um die Energie, die von den jeweiligen Erzeugersystemen zur Verfügung gestellt werden müssen. Die Ergebnisse sind in Tab. 48 zusammengestellt.

Tab. 48: Zusammenstellung des prognostizierten Energiebedarfs für die Ausführung im EnEV- und im Passivhaus-Standard

	EnEV		Passivhaus		Verhältnis PH/EnEV
	MWh/a	kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)	
Raumheizung	1.092	54,6	288	14,4	26%
TWW-Bereitung	1.360	68,0	1.050	52,5	77%
Raumkühlung	108	5,4	100	5,0	93%
Prozesskälte	15	0,8	15	0,8	100%
Hilfsstrom TGA	215	10,8	215	10,8	100%
Strom Beleuchtung	144	7,2	75	3,8	52%
Strom sonst. Gebäudetechnik	90	4,5	60	3,0	67%
Strom Hotel- /Restaurantbetrieb	518	25,9	200	10,0	39%
Strom Nutzer	440	22,0	200	10,0	45%
Wärme gesamt	2.452	122,6	1.338	66,9	55%
Kälte gesamt	123	6,2	115	5,8	93%
Strom gesamt	1.407	70,4	750	37,5	53%
Energie gesamt	3.982	199,1	2.203	110,2	55%

Der Gesamtenergiebedarf bei Ausführung im Passivhaus-Standard liegt um 45 % unter dem Bedarf der Ausführung im EnEV-Standard, beim Heizwärmebedarf beträgt der Unterschied sogar 74 %.

2.7 Lokale Potenziale erneuerbarer Energien

2.7.1 Nutzung von Oberflächenwasser

Der Standort des geplanten Hotels liegt auf der Molenspitze an der Einmündung des Osthafens in den Main. Das Hafenbeckenwasser kann ganzjährig als Energiequelle sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet werden. Dazu wird über eine geeignete Ansauggruppe im Hafenbecken Wasser angesaugt und über einen Wärmetauscher gepumpt. Im Heizbetrieb wird das Wasser dort um etwa 5 K abgekühlt, im Kühlbetrieb entsprechend erwärmt, und dann wieder ins Hafenbecken eingeleitet.

2.7.2 Oberflächennahe Geothermie

Standortbewertung

Laut dem Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen (GruSchu) des HLNUG liegt das Plangebiet außerhalb des Landschaftsschutzgebiets und wird als hydrogeologisch günstig eingestuft.

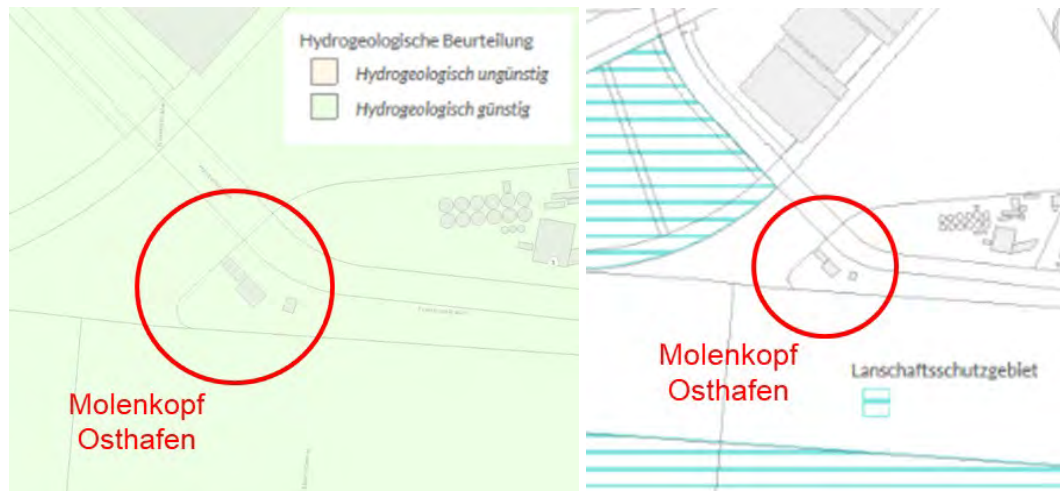


Abb. 49: Auszüge aus den Karten zur wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Beurteilung des HLNUG für den Bereich des Molenkopfs am Osthafen (Quelle: HNLUG, Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformationen)

Verfügbare Flächen

Das zur Verfügung stehende Gelände wird fast vollständig durch das geplante Gebäude ausgefüllt. Eine geothermische Nutzung des Untergrunds kann deshalb nur in Verbindung mit der Gründung des Gebäudes realisiert werden. Werden Gründungspfähle verwendet, können diese mit Wärmeüberträgerrohren ausgerüstet werden und als Energiepfähle verwendet werden. Diese funktionieren ähnlich wie Erdwärmesonden.

2.7.3 Solarenergie

Basierend auf dem vorliegenden Entwurf des Lageplans (s. Abb. 39) und dem Projektentwurf vom Mai 2018 wurden folgende Flächen für die Nutzung von Solarenergie identifiziert:

- Flachdach mit einer Bruttofläche von ca. 1.460 m²,
- Südfassade mit einer Bruttofläche von ca. 2.630 m²,
- Westfassade mit einer Bruttofläche von ca. 1.830 m²,
- Ostfassade mit einer Bruttofläche von ca. 2.740 m²

Bei den hier angegebenen Flächen handelt es sich um Bruttoflächen ohne Abzug von nicht nutzbaren Anteilen für Aufbauten, Fenster, Randabstände etc. Es wird davon ausgegangen, dass etwa 50 % der Brutto-Dachfläche und 25 % der Brutto-Fassadenfläche tatsächlich zur Errichtung von Solargeneratoren genutzt werden kann. Die Dachfläche kann sowohl für PV-Anlagen als auch für thermische Solarkollektoren genutzt werden, die Fassade eignet sich ausschließlich für PV-Module.

Technisches Potenzial Photovoltaik

Die Ergebnisse der Berechnung der Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen sind in Tab. 49 aufgeführt. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- spez. Modulleistung: 165 W/m²
- Systemleistungsfaktor: 0,80

Tab. 49: Ergebnisse der Berechnung des Strom-Erzeugungspotenzials mit PV-Anlagen

Flächen	Bruttofläche m ²	Nutzbarer Anteil	Generatorfläche m ²	Neigung	installierte Leistung kWp	Stromertrag kWh/a
Dach	1.460	50%	730	10°	110	100.000
Fassade Süd	2.626	25%	656	90°	98	67.000
Fassade West	1.826	25%	457	90°	68	35.000
Fassade Ost	2.740	25%	685	90°	103	60.000
Summe			2.528		379	262.000

Bei Ausschöpfung aller potentiellen Flächen können mit PV-Generatoren jährlich rund 260 MWh Strom erzeugt werden.

Technisches Potenzial Solarthermie

Die Ergebnisse der Berechnung der Erzeugungspotenziale mit Solarthermie-Anlagen sind in Tab. 50 aufgeführt. Folgende Randbedingungen wurden dazu angesetzt:

- Kollektortyp: Standard-Flachkollektor
- Kollektornutzungsgrad: 33 % (bei Nutzung für Trinkwarmwasserbereitung) (bei mittlerer Vor-/Rücklauftemperatur von 65 °C / 45 °C)

Tab. 50: Ergebnisse der Berechnung des Wärme-Erzeugungspotenzials mit Solarthermie-Anlagen

Flächen	Bruttofläche m ²	Nutzbarer Anteil	Nutzbare Fläche m ²	Kollektorfläche m ²	spez. Ertrag kWh/(m ² a)	Ertrag kWh/a
Dach	1.460	50%	730	292	350	102.200

Bei einer Nutzung der Dachfläche für Solarthermie könnten jährlich rund 100 MWh an Wärme für die Trinkwarmwasserbereitung erzeugt werden.

2.8 Energieversorgungskonzept unter maximaler Einbeziehung lokaler, erneuerbarer Energien

Das untersuchte Energieversorgungskonzept beinhaltet folgende Bausteine:

- Installation einer oder mehrerer Wärme/Kälte-Maschinen, mit denen gleichzeitig Nutzwärme und Nutzkälte erzeugt werden kann.
- Wird ganz oder vorwiegend Wärme erzeugt, werden Hafenbeckenwasser und Energiepfähle als Wärmequellen für die Wärme/Kälte-Maschinen genutzt.
- Wird ganz oder vorwiegend Kälte erzeugt, werden Hafenbeckenwasser und Energiepfähle als Wärmesenken für die Wärme/Kälte-Maschinen genutzt.
- Die Grundlast der Raumheizung im Winter bzw. der Raumkühlung im Sommer wird von thermisch aktivierten Bauteilen (TAB) gedeckt, die auf einem Temperaturniveau nahe der gewünschten Raumtemperatur betrieben werden.
- Die raumweise Raumtemperatur-Regelung wird über dezentrale Heiz-/Kühlregister in der Zuluft der Lüftungsanlage realisiert.
- Bei Kühlung des Gebäudes werden die TAB vorrangig mit direkter Kühlung aus den Energiepfählen oder dem Hafenbeckenwasser-Wärmetauscher versorgt.
- Die nutzbaren Flächen zur Solarenergienutzung werden ausschließlich für PV-Generatoren genutzt.

Die Wärme/Kälte-Maschine kann als Wärmepumpe, als Kältemaschine oder als gekoppelte Wärme/Kälte-Maschine betrieben werden. Für die Wärmeerzeugung wird beim Passivhaus-Standard eine maximale Heizleistung von 300 kW benötigt. Mit EnEV-Mindeststandard und Lochfassade wird eine maximale Leistung von 600 kW benötigt.

Bei Nutzung des Hafenbeckenwassers über einen Wärmetauscher wird von folgenden Kennwerten für den Wärmepumpenbetrieb ausgegangen:

Tab. 51: Betriebsweisen und Kennwerte im Wärmepumpenbetrieb bei Wärmequelle Mainwasser

Betriebsweise Wärmepumpe		TWW Winter	TWW Sommer	Raumheizung
Eintrittstemperatur kalte Seite	°C	8	18	8
Austrittstemperatur kalte Seite	°C	3	13	3
Eintrittstemperatur warme Seite (Rücklauf)	°C	55	55	28
Austrittstemperatur warme Seite (Vorlauf)	°C	65	65	35
Arbeitstemperatur Verdampfer T_o	K	275	285	275
Arbeitstemperatur Kondensator T_c	K	341	341	311
Mittlere Jahresarbeitszahl	-	2,8	3,4	4,8

Mit dem vorgeschlagenen Konzept kann die für Raumkühlung benötigte Kälte auf drei Arten bereitgestellt werden:

- als direkte Kühlung über Hafenbeckenwasser oder die Energiepfähle,
- als Kälte aus der Kältemaschine mit Wärmesenke Hafenbeckenwasser oder Energiepfähle
- als Kälte aus der Wärme/Kälte-Maschine im gekoppelten Betrieb.

Die Anteile in der Jahresbilanz wurden im vorliegenden Fall wie folgt abgeschätzt:

- Raumkühlung: 50 % aus direkter Kühlung, 30 % Kältemaschine, 20 % aus gekoppeltem Betrieb
- Prozesskälte: 100 % Kältemaschine

2.9 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Die Bilanzen werden für vier verschiedene Varianten erstellt. Bei den ersten drei Varianten (**EnEV**) handelt es sich um die Ausführungsvariante mit Gebäudehülle nach EnEV-Mindeststandard und Lochfassade wie in Abschnitt 2.6 beschrieben. Diese drei Varianten unterscheiden sich nur in der Art der Wärmeversorgung. Diese erfolgt einmal mit Gaskessel und thermischen Solaranlagen (**G+S**) als Referenzvariante, einmal mit Fernwärme aus dem Netz der Mainova AG (**FW**) und einmal entsprechend dem Energiekonzept wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben (**WP**). Bei der vierten Variante handelt es sich um die Ausführungsvariante nach Passivhaus-Standard (**PH**) in Verbindung mit einer Wärmeversorgung entsprechend dem vorgestellten Energiekonzept (**WP**).

Variante **EnEV/G+S**: EnEV-Mindeststandard mit Lochfassade
Gaskessel und thermischen Solaranlagen

Variante **EnEV/FW**: EnEV-Mindeststandard mit Lochfassade
Fernwärme aus dem Netz der Mainova AG

Variante **EnEV/WP**: EnEV-Mindeststandard mit Lochfassade
Wärmepumpe (Mainwasser/Energiepfähle)

Variante **PH/WP**: Passivhaus-Standard mit Lochfassade
Wärmepumpe (Mainwasser/Energiepfähle)

Bei der Variante **EnEV/G+S** steht wegen der Solarthermieanlage zur Warmwasserbereitung keine Dachfläche für die PV-Generatoren zur Verfügung, so dass in diesem Fall nur PV-Generatoren mit einer Nennleistung von 270 kWp installiert werden können. Bei den restlichen Varianten ist die PV-Nennleistung mit 380 kWp jeweils identisch. Die PV-Stromproduktion ist deutlich geringer als der im Gebäude benötigte Strom. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass 100 % des PV-Stroms im Gebäude selbst genutzt werden.

Mit den in der Energiebedarfsprognose ermittelten Energiebedarfen (siehe Tab. 48) und den zuvor beschriebenen Randbedingungen ergeben sich die Tab. 52 dargestellten Endenergiebilanzen.

Der Endenergieeinsatz bei der Referenzvariante liegt mit rund 3,6 GWh/a geringfügig unter der Variante mit Fernwärmeversorgung, da die Gewinne aus der Solarthermie die Erzeugerverluste des Gaskessels mehr als ausgleichen. Durch die Nutzung von Umweltwärme benötigen die Varianten mit Wärmepumpe deutlich weniger Endenergie: die EnEV-Variante nur etwa halb so viel wie die Referenzvariante, die PH-Variante vier Mal weniger.

Tab. 52: Jahres-Endenergiebilanz der vier untersuchten Varianten

Energienutzung	Energie-träger	Einheit	EnEV/G+S	EnEV/FW	EnEV/WP	PHWP
			Gas +Solar	Fern-wärme	Umwelt +WP	Umwelt +WP
Wärme (Heizung + TWW)	Erdgas	MWh	2.281			
Wärme (Heizung + TWW)	Fernwärme	MWh		2.502		
Wärme (Heizung + TWW)	Strom	MWh			672	402
Kälte (Raumkühlung + Prozesse)	Strom	MWh	19	19	19	18
Hilfsenergie und sonstige TGA	Strom	MWh	305	305	305	275
Beleuchtung	Strom	MWh	144	144	144	75
Nutzungsanwendungen	Strom	MWh	958	958	958	400
Zwischensumme	gemischt	MWh	3.708	3.928	2.098	1.170
PV-Erzeugung	Strom	MWh	-162	-262	-262	-262
Summe	gemischt	MWh	3.546	3.666	1.836	908
Spezif. Endenergiebedarf	gemischt	kWh/(m²a)	177	183	92	45
Verhältnis zu Referenz			100%	103%	52%	26%

Über die Wärmepumpe kann eine große Menge von Umweltwärme nutzbar gemacht werden. Die Bilanz für die Nutzung lokaler, erneuerbarer Energien fällt deshalb für die beiden Varianten mit Wärme/Kälte-Maschine besonders gut aus. Zusammen mit dem erzeugten PV-Strom können Autarkiegrade über 50 % erreicht werden, während die

beiden anderen Varianten mit „Umweltkälte“ und Solarenergie nur jeweils 9 % erreichen. Durch den geringeren Strombedarf der Passivhaus-Variante deckt die PV-Anlage einen größeren Anteil und der Autarkiegrad steigt deshalb gegenüber der EnEV-Variante von 54 % auf 59 %.

Tab. 53: Gesamt-Energieeinsatz und Anteile aus lokalen (erneuerbaren) Energien

Variante	EnEV/G+S Referenz	EnEV/FW	EnEV/WP	PH/WP
Energiestandard Hülle	EnEV	EnEV	EnEV	Passivhaus
Wärmeversorgung	Gas+Solar	Fernwärme	Umwelt+WP	Umwelt+WP
Energieeinsatz in MWh/a	3.914	4.032	3.982	2.203
davon lokale, erneuerbare Energien in MWh/a	368	366	2.146	1.295
<i>davon Wärme in MWh/a</i>	<i>102</i>	<i>0</i>	<i>1.780</i>	<i>936</i>
<i>davon Kälte in MWh/a</i>	<i>104</i>	<i>104</i>	<i>104</i>	<i>97</i>
<i>davon Strom in MWh/a</i>	<i>162</i>	<i>262</i>	<i>262</i>	<i>262</i>
davon Energien aus externen Quellen in MWh/a	3.546	3.666	1.836	908
zusätzl. in Stromnetz eingesp. lokal erzeug. Strom in MWh/a	0	0	0	0
Autarkiegrad an lokalen (erneuerbaren) Energien	9%	9%	54%	59%
Verhältnis der extern bezogenen Energie zur Referenz	100%	103%	52%	26%

Unter dem Gesichtspunkt des Masterplanziels, die verbleibende Endenergie bis 2050 rein regenerativ zu decken, ist auf den Vorteil der Passivhaus-Variante hinzuweisen, dass bei ähnlich hohem Autarkiegrad nur etwa halb so viel an externer Endenergie bezogen werden muss, wie bei der EnEV-Variante mit Wärmepumpe.

Zur Erstellung der Treibhausgas-Bilanzen wird die Endenergie mit den heutigen THG-Faktoren entsprechend den jeweiligen Energieträgern bewertet. Daraus ergeben sich die in Tab. 54 dargestellten THG-Bilanzen für die vier Varianten.

Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen unterscheiden sich die drei EnEV-Varianten nicht wesentlich. Der geringere Endenergiebedarf der Variante **EnEV/WP** wird durch den höheren THG-Faktor für Strom weitgehend aufgehoben. Wärmepumpen- und Fernwärme-Variante emittieren 18 % bzw. 15 % weniger CO₂-Äquivalente. Die Variante **PH/WP** emittiert dagegen fast 60 % weniger CO₂ als die Referenz und würde 775 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr einsparen. Auch gegenüber der EnEV-Variante mit Wärmepumpe (**EnEV/WP**) liegen die Emissionen noch um 50 % niedriger und die Einsparung beträgt 539 tCO_{2,äq}/a.

Tab. 54: Treibhausgasbilanz der vier untersuchten Varianten

Variante		EnEV/G+S	EnEV/FW	EnEV/WP	PH/WP
Energie-träger	Einheit	Gas +Solar	Fern-wärme	Umwelt +WP	Umwelt +WP
Erdgas	tCO _{2,äq} /a	570			
Fernwärme	tCO _{2,äq} /a		425		
Strom	tCO _{2,äq} /a	734	676	1.067	528
PV-Strom	tCO _{2,äq} /a	8	13	13	13
ST-Wärme	tCO _{2,äq} /a	3			
Summe	tCO_{2,äq}/a	1.315	1.115	1.080	541
Verhältnis zu Referenz		100%	85%	82%	41%
Differenz zu Referenz		0	201	236	775

Wird die Entwicklung der THG-Faktoren bis 2050 entsprechend den Annahmen in Kapitel I berücksichtigt, ergeben sich die in Tab. 55 aufgeführten Werte und die in Abb. 50 dargestellte Entwicklung der THG-Emissionen.

Tab. 55: Prognostizierte Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten für unterschiedliche Bezugsjahre

Variante	EnEV/G+S Referenz	EnEV/FW	EnEV/WP	PH/WP
Energiestandard Hülle	EnEV	EnEV	EnEV	Passivhaus
Wärmeversorgung	Gas+Solar	Fernwärme	Umwelt+WP	Umwelt+WP
CO₂-Äquivalente 2016 in t/a	1.315	1.115	1.080	541
bezogen auf EBF* in kg/(m ² a)	65,8	55,7	54,0	27,0
bezogen auf Referenz 2016	100%	85%	82%	41%
CO₂-Äquivalente 2030 in t/a	854	560	412	206
bezogen auf EBF* in kg/(m ² a)	42,7	28,0	20,6	10,3
bezogen auf Referenz 2016	65%	43%	31%	16%
CO₂-Äquivalente 2040 in t/a	747	336	256	128
bezogen auf EBF* in kg/(m ² a)	37,3	16,8	12,8	6,4
bezogen auf Referenz 2016	57%	26%	19%	10%
CO₂-Äquivalente 2050 in t/a	609	80	56	28
bezogen auf EBF* in kg/(m ² a)	30,4	4,0	2,8	1,4
bezogen auf Referenz 2016	46%	6%	4%	2%

* EBF: Energiebezugsfläche

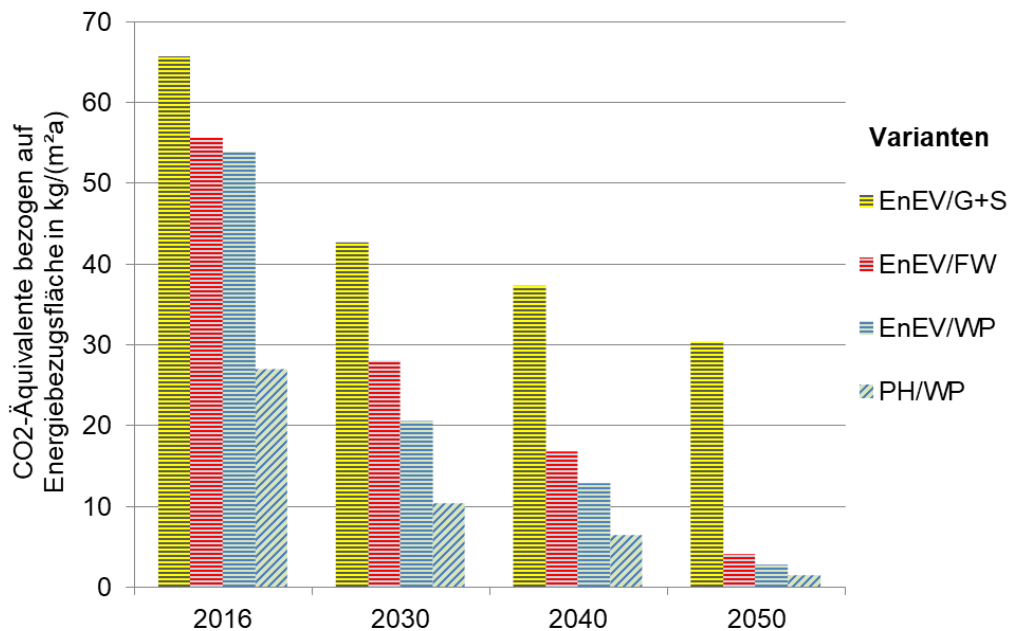


Abb. 50: Entwicklung der prognostizierten Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten bis 2050

Falls sich der THG-Faktor von Strom tatsächlich bis 2050 in der erforderlichen Weise kontinuierlich bis auf einen Wert von 0,03 tCO_{2,äq}/MWh verbessert, wird das Hotel im Passivhaus-Standard mit Wärmepumpe und Wärmenutzung aus Hafenbeckenwasser und Geothermie in 2050 nur noch 2 % der THG-Emissionen verursachen, die das Hotel im EnEV-Standard mit erdgasbasierter Wärmeversorgung und Solarthermie heute verursachen würde.

2.10 Zusammenfassung und Empfehlungen

Hotels, vor allem der gehobenen Komfortklasse, benötigen viel Energie und haben meist hohe flächenspezifische Energieverbräuche. Im Vergleich zur üblichen Wohnnutzung fallen besonders die Verbräuche für Warmwasser, Klimatisierung und für Stromanwendungen ins Gewicht.

Beispiele von realisierten Passivhaus-Hochhäusern zeigen, dass Hochhäuser energieeffizient betrieben werden können. Hinsichtlich der Reduzierung des Heizwärmebedarfs bieten sie sogar einige Vorteile:

- sie haben i.d.R. ein sehr gutes A/V-Verhältnis,
- sie können wegen geringer Verschattung besonders gut passiv-solare Gewinne nutzen,
- sie sind i.d.R. sowieso mit mechanischen Zu-/Abluftanlagen ausgestattet, die für eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung genutzt werden können.

Werden diese Vorteile optimal umgesetzt, ist zu erwarten, dass die Mehrkosten für den Passivhaus-Standard gegenüber gesetzlichen Mindestanforderungen bei Hochhäusern eher gering sein werden.

Neben der Reduzierung des Heizwärmebedarfs kommt in energieoptimierten Hotels der Vermeidung eines hohen Kühlbedarfs durch angepasste Verglasungsflächen und wirksamen Sonnenschutz, einem sparsamen Warmwasserverbrauch, energieeffizienter Warmwasserbereitung sowie stromsparender Ausstattung und Anwendungen besondere Bedeutung zu.

Werden diese Potentiale weitgehend ausgeschöpft, könnte im vorliegenden Beispiel ein Hotelgebäude realisiert werden, dessen Gesamt-Energiebedarf mit etwa 110 kWh/(m²a) nur etwa halb so hoch wäre, wie der übliche Durchschnittswert von Hotels.

Der Standort des Projekts an der Molenspitze des Osthafens eignet sich besonders zur Nutzung des Hafenbeckenwassers und der Gründungspfähle als Wärmequelle bzw. Wärmesenke in Verbindung mit einer Wärme/Kälte-Maschine. Diese kann als Wärmepumpe, als Kältemaschine oder als gekoppelte Wärme/Kälte-Maschine für die Wärme- und Kälteerzeugung betrieben werden.

Außerdem können auf dem Dach und an den Fassaden PV-Generatoren mit einer Nennleistung von 380 kWp installiert werden.

Mit diesem Energieversorgungskonzept und in Verbindung mit dem Passivhaus-Standard könnte der **Endenergiebedarf** des Gebäudes auf 45 kWh/(m²a) begrenzt werden, was etwa einem Viertel des Bedarfs der Referenzvariante im EnEV-Standard mit Erdgas-Brennwertkessel und Solarthermieanlage entspricht. Die **Treibhausgas-Emissionen** lägen bei etwa 27 kgCO_{2,äq}/(m²a) und wären um fast 60 % geringer als bei der Referenzvariante. Damit würden im Vergleich 775 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr eingespart. Mit der geplanten Verbesserung des THG-Faktors für Strom würden sich die THG-Emissionen bis 2050 auf 1,4 kgCO_{2,äq}/(m²a) verringern.

Der „Passivhaus-Hauptstadt“ Frankfurt stände ein Passivhaus-Hotel gut zu Gesicht und für einen Hotelbetreiber könnte die Realisierung eines besonders energieeffizienten und klimafreundlichen Hotels in den heutigen Zeiten ein hervorragendes Marketingargument und Alleinstellungsmerkmal sein.

3 Günthersburghöfe

3.1 Beschreibung des Gebiets

Mit den Günthersburghöfen soll im Gebiet „Friedberger Landstraße / Südlich Wasserpark“ des Stadtteils Nordend-Ost ein neues Wohnquartier (Bereich V1) entstehen. Das bestehende Mischgebiet (Bereich V2, Hungener Straße) soll neu geordnet und in das Quartier integriert werden. Die Grundlage für das vorliegende Klimaschutzteilkonzept bildet der Wettbewerbs-Beitrag der Bürogemeinschaft Torsten Becker Stadtplaner, Frankfurt, Stefan Bernard Landschaftsarchitekten, Berlin, Kölling Architekten, Bad Vilbel und Crossboundaries Antje Voigt, Frankfurt vom September 2017, welcher im Rahmen des nichtoffenen städtebaulichen und freiraumplanerischen Ideenwettbewerbs „Innovationsquartier“ im Auftrag des Stadtplanungsamts entstand (siehe Abb. 51). Die grundlegenden Informationen zum Gebiet sind nachfolgend für beide Bereiche V1 und V2 zusammengefasst.

Bebauungsplan:	Nr. 880,
Stadtteil:	Nordend-Ost,
Lage im Stadtgebiet:	nord-östlich an die Innenstadt angrenzend.
Konzipierte Bebauung:	Allg. Wohngebiet konzipiert für ca. 2.800 Einwohner in 1.400 Wohneinheiten verteilt auf
Wohngebäude:	mehrere Wohnblöcke (Geschosswohnungsbauten mit bis zu acht Geschossen um einen Innenhof, sog. Wohnhöfe), sowie ein Hochhaus und mehrere Sonderbaukörper.
Öffentliche Gebäude:	Schulstandort mit Grundschule, Kita u. Sporthalle.
Sonstige Nichtwohngeb.:	Integriert in Wohnbebauung verschiedene Gewerbe, Handel und Dienstleistungen.
Bauliche Kennwerte:	entspr. Wettbewerbsbeitrag vom Sept. 2017 und eigenen Berechnungen.
Brutto-Bauland:	15,5 ha (100 %),
Netto-Bauland ¹ :	7,1 ha (46 %),
Grundflächenzahl ² :	0,60,
Geschossflächenzahl:	2,94.

³) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

⁴) Berechnung der Grundflächenzahl nur für Hauptgebäude ohne Garagen, Stellplätze, Nebenanlagen etc.

Die für die Bedarfsprognose angenommenen Flächen und Nutzungen der konzipierten Bebauung sind in Tab. 56 dargestellt.



Abb. 51: Städtebauliches Konzept für die langfristige Entwicklung des Quartiers aus dem Wettbewerbs-Beitrag „Die Günthersburghöfe“ der Bürogemeinschaft Becker / Bernhard / Kölling / Crossboundaries vom September 2017.

Tab. 56: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Günthersburghöfe.

Nutzung	Geschossfläche ¹		Energiebezugsfläche ²		Dachflächen mit Solarpotenzial	
	m ²	Anteil	m ²	Anteil	m ²	Anteil
Wohnen	140.070	67%	112.050	65%	26.330	69%
GHD	56.270	27%	49.170	29%	8.350	22%
Öffentlich	12.720	6%	11.110	6%	3.520	9%
Industrie	0	0%	0	0%	0	0%
Gesamt	209.060	100%	172.330	100%	38.200	100%

¹⁾ Zusammengefasst für die Bereiche Neubau (V1) und Neuordnung Bestand (V2).

²⁾ Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.

3.2 Energetische Bewertung des Städtebaus

Die energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs beruht insbesondere auf der Beurteilung der Kompaktheit der Baukörper, der Orientierung der Fassaden und der Verschattungssituation der Gebäude und zielt darauf ab, günstige städtebauliche Bedingungen für eine Minimierung der Wärmeverluste, für die Optimierung der natürlichen Belichtung und der passiv-solaren Wärmegewinne sowie für ein angenehmes, sommerliches Außenklima zu schaffen.

3.2.1 Kompaktheit der Baukörper

Der städtebauliche Entwurf der Bürogemeinschaft Becker / Bernhard / Kölling / Crossboundaries sieht überwiegend eine sehr dichte Blockrandbebauung mit 4- bis 7-geschossigen Gebäuden vor. Das A/V-Verhältnis der Gebäude ist sehr gering.

3.2.2 Besonnungs- und Tageslichtstudie

Der Entwurf war Gegenstand von Besonnungs- und Tageslichtstudien zur Beurteilung der Einhaltung der Anforderungen aus der DIN 5034. Die Studien wurden vom Büro Ökoplan aus Mannheim durchgeführt und wurden dem IB ebök von der Instone Real Estate Development GmbH zur Verfügung gestellt.

Besonnung

Die Besonnungsstudie von Ökoplan vom 21.06.2018 [Ökoplan2018a] kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Baublöcke G, I, N O und P im Süden des Planungsgebiets weisen bereits im EG größtenteils eine ausreichende Besonnung für Wohnnutzung auf.
- Im Bereich der Baublöcke G und P sind die nördlichen Gebäudeteile sowohl an ihrer Südfassade als auch an ihrer Nordfassade ganztags verschattet.
- Ungünstige Besonnungsverhältnisse sind im EG-Niveau auch in Teilen der Baublöcke C, D, E und F vorhanden.
- Ungenügend ist die berechnete Besonnungsdauer auch im Bereich des Hochhauses H und in Teilbereichen des Baublocks K.
- In den Baublöcken A, B und L sind mit Hilfe durchgesteckter Grundrisse ausreichend besonnte Wohnungen möglich.
- Im Höhenniveau 5 m ü.G. (~1. OG) sind vor allem größere Teile der westlichen Baublock-Teilfassaden C, D und E sowie der Wohnturm H im Nordwesten nahezu ganztätig verschattet.



Abb. 52: Beurteilung für den 17. Januar (Auszug aus Besonnungsstudie Ökoplan)



Abb. 53: Beurteilung für den 21. März (Auszug aus Besonnungsstudie Ökoplan)

- In großen Teilbereichen ermöglicht der städtebauliche Entwurf die Realisierung von Wohnungen mit einer Mindest-Besonnungsdauer von 2 Stunden nach OVG Berlin (2004).
- Im EG-Niveau ist allein die Situation an den Nordseiten der Baublöcke G, K und P sowie in einem kleineren Teilbereich des Baublocks C (Nordwestfassade) problematisch. Ab dem 1. OG bzw. ab dem 2. OG sind auch dort (Ausnahme Baublock K) ausreichend besonnte Wohnungen realisierbar.

Folgende Optimierungen werden empfohlen:

- Die Reduktion der Gebäudehöhe im Nordbereich des Baublocks K auf einheitlich 18 m wird als wirksame Maßnahme zur Verbesserung der Besonnung in den Straßenzügen zwischen den Baublöcken C und D, D und E sowie E und F empfohlen.
- Die Verbreiterung der Straßenzüge von 15 m auf 19 m wird als wirksame Maßnahme empfohlen, um die Wohnqualität bezüglich der Besonnung insbesondere in den unteren Geschossebenen zu verbessern.

Tageslicht

Zur Beurteilung der Tageslichtnutzung wurden beispielhafte Grundrisse für Wohnungen im EG des Baublocks F untersucht. Damit wurden mit der Tageslichtstudie Worst-Case-Fälle abgebildet. Folgende Optimierungen werden empfohlen:

- Es wird darauf hingewiesen, dass durch eine Verbreiterung der Fensterflächen in den noch nicht zufriedenstellend belichteten Wohnungen eine ausreichende Helligkeit erreicht werden kann.
- In der Besonnungsstudie wird darauf hingewiesen, dass die Aufweitung der Straßenzüge auch eine wirksame Maßnahme zur Verbesserung der Belichtungsverhältnisse darstellt.

Stellungnahme zu den Ergebnissen der Studien seitens IB ebök

Wie in der Studie bereits richtig zum Ausdruck gebracht wird, ist es in dichten Innenstadtlagen i.d.R nicht möglich, die Anforderungen der DIN 5034 in Hinblick auf die Besonnung von Wohnungen bei allen Wohnungen einzuhalten, insbesondere in den unteren Geschossen. Dies ist der Hintergrund für das Urteil des OVG Berlin und die neue DIN EN 17037, die im März 2019 veröffentlicht wurde.

Die Simulationen zeigen für den 17. Januar vor allem in den von Nord-Ost nach Süd-West verlaufenden Straßen einen hohen Anteil von schlecht besonnten Fassadenflächen. Die Simulationen zeigen, dass am 21. März nur die Nordfassaden und die zu Innenhöfen liegenden Ost- und Westfassaden in den südlichen Innenhofecken nicht besonnt werden. Bezüglich der Besonnung kann dies in den meisten Fällen durch geeignete Grundrisstypologien („Durchwohnen“) gelöst werden. Die

Tageslichtsimulationen zeigen, dass auch bei ungünstiger Lage der Musterwohnungen nur in 5 von 13 untersuchten Räumen die Vorgaben der DIN 5034-1 nicht einhalten werden. In diesen Räumen könnten die Vorgaben durch eine Vergrößerung der Fensterfläche erfüllt werden.

Insgesamt bietet der städtebauliche Entwurf keine optimalen Bedingungen für die Besonnung und natürliche Belichtung der Wohnungen, bleibt aber im Rahmen üblicher dichter, innerstädtischer Bebauung. Eine grundsätzliche Überarbeitung des Entwurfs mit Verbreiterung der Straßen und/oder der Innenhofbereiche erscheint angesichts der begrenzten Verbesserung nicht erforderlich. Eventuell kann durch eine geringfügige Verbreiterung der beiden Nordost-Südwest-orientierten Straßen oder durch eine weitere Staffelung der oberen Geschosse Verbesserungen erreicht werden. Ansonsten sind bei der Gebäudeplanung insbesondere bei der Grundriss-Fensterflächengestaltung die Aspekte der Besonnung und natürlichen Belichtung weiter zu verfolgen und zu optimieren.

3.2.3 Beurteilung hinsichtlich passiver Solarnutzung und Erfüllung des Passivhaus-Standards

Eignung für die wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards

Studien zur Besonnungsdauer von Fassaden eignen sich nur bedingt zur Beurteilung der Potentiale von passiv-solaren Wärmegevinnen während der Heizperiode. Neben der Besonnungsdauer spielt der Einfallswinkel der Solarstrahlung und somit die Orientierung der Fassade eine wesentliche Rolle. Nordost- oder Nordwest-orientierte Fassaden haben fast keine solaren Gewinne auch wenn sie morgens oder abends für kurze Zeit von der Sonne beschienen werden.

Hinzu kommt, dass die solaren Gewinne vor allem in der Übergangszeit von März bis April entscheidend für die Reduzierung des Heizwärmebedarfs sind. Insofern kann die Besonnungsstudie für den 21. März nur eine grobe Orientierung für die Beurteilung der passiv-solaren Wärmegevinne geben.

Legt man die Ergebnisse der Besonnungsstudie für den 21. März sowie die Orientierung der Fassaden zugrunde, können die in Abb. 54 rot umrandeten Gebäudeteile identifiziert werden, die eher ungünstige Bedingungen für Solargewinne und somit bei der Erfüllung des Passivhausstandards haben. Die Solargewinne sind bei anderen Gebäude-Standards absolut gesehen in der gleichen Größenordnung, beim Passivhaus ist ihr Einfluss auf die Heizwärmebilanz jedoch deutlich größer und hohe passiv-solare Gewinne sind deshalb u.a. eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards.



Abb. 54: Gebäudebereiche, die sich nur bedingt für eine wirtschaftliche Erstellung im Passivhaus-Standard eignen.

In der Regel werden die Nachteile hinsichtlich der Verschattung und damit der Reduzierung der passiv-solaren Gewinne bei geschlossener Blockrandbebauung durch das sehr gute A/V-Verhältnis teilweise bis ganz ausgeglichen, soweit durch die architektonische Ausgestaltung der Baukörper das A/V-Verhältnis nicht wesentlich verschlechtert wird.

Im vorliegenden Fall ist jedoch zu vermuten, dass sich nicht alle Bereiche für eine wirtschaftliche Erstellung des Passivhaus-Standards eignen. Eine Reduzierung der Bebauungsdichte könnte an einigen Stellen zu Verbesserungen führen.

Auswirkungen einer Fensterflächenvergrößerung auf die Realisierbarkeit des Passivhaus-Standards

Fenster in Passivhausqualität sind die besten Sonnenkollektoren, aber nur wenn sie richtig orientiert sind. Die Fensterflächen haben je nach Orientierung unterschiedliche Energiebilanzen zwischen nutzbaren Solargewinnen und Wärmeverlusten. Während unverschattete Südfenster eine deutlich positive Bilanz aufweisen, ist diese bei allen Fenstern, die zwischen Nordwest und Nordost orientiert sind, negativ. Fenster mit West- oder Ostorientierung haben eine mehr oder wenig ausgeglichene Bilanz, die

gegebenenfalls auch durch Wahl eines höheren g-Wertes der Verglasung oder eines niedrigeren U-Wertes des Fensters ausgeglichen werden kann. Sind die Fenster im Winter deutlich verschattet, wird die Bilanz auch bei gut orientierten Fenstern negativ.

Aufgrund dieser allgemeinen Feststellungen muss die Frage der Fenstervergrößerung im vorliegenden Fall differenziert betrachtet werden. Generell sollten Nordorientierte Fenster (Norden $\pm 45^\circ$) nur groß sein, dass sie den Anforderungen an die natürliche Belichtung entsprechen. Dies gilt auch für verschattete Fenster der anderen Orientierungen. Ansonsten hat eine Fenstervergrößerung nur eine geringe bzw. im Falle von Südverglasung eine günstige Auswirkung auf die Energiebilanz.

Bei der letztendlichen Optimierung der Solargewinne, die erst bei der Gebäudeplanung erfolgen kann, sind weitere Punkte wie Laibungstiefen, Balkone oder Rücksprünge in der Fassade zu beachten und entsprechend zu behandeln.

Beurteilung von Fensterflächenvergrößerungen hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes Eine Vergrößerung der Fensterflächen führt im Sommer auch bei vorhandenem Sonnenschutz zwangsweise zu einem erhöhten Solareintrag und somit zu einer Erhöhung der Innenraumtemperaturen. Unabhängig davon ist die Installation eines außenliegenden, hochwertigen Sonnenschutzes die entscheidende Maßnahme zur Vermeidung von Überhitzung durch Solareinstrahlung.

Für Wohngebäude kann in Abhängigkeit von verschiedenen Randbedingungen der maximal zulässige Fensterflächenanteil abgeschätzt werden, mit dem die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108 Teil 2 eingehalten werden können. Der Fensterflächenanteil wird dabei auf die Wohnfläche des dahinter liegenden Raums bezogen.

Unter den folgenden Randbedingungen ergibt sich ein maximaler Fensterflächenanteil bezogen auf die Wohnfläche von 32%. Der Wert gilt unabhängig von der Orientierung (ausgenommen Norden).

- Sommerklimaregion C, gültig für Frankfurt a.M.
- Schwere Bauweise
- g-Wert der Verglasung 0,55 (typischer Wert für 3-Scheiben-WSV)
- guter, außenliegender Sonnenschutz mit $F_c=0,25$
- ohne Nachtlüftung oder andere freie Kühlung

In den fraglichen Räumen, die nach Tageslichtstudie nicht ausreichend belichtet sind, beträgt der Fensterflächenanteil zwischen 10 und 19 %. Eine Vergrößerung der Fensterfläche steht aus Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes nichts entgegen.

3.2.4 Zusammenfassende Beurteilung

Insgesamt bietet der städtebauliche Entwurf keine optimalen Bedingungen für die Besonnung und natürliche Belichtung der Wohnungen, bleibt aber im Rahmen üblicher dichter, innerstädtischer Bebauung. Allein aus diesen Gründen erscheint eine grundsätzliche Überarbeitung des Entwurfs nicht erforderlich.

Hinsichtlich der Besonnung sollte bei ungünstigen Situationen mit der entsprechenden Grundrissgestaltung reagiert werden. Unzureichende Belichtung von einzelnen Räumen kann durch eine Vergrößerung der Fensterflächen verbessert werden. Abgesehen von nördlichen Fensterorientierungen hat dies keine wesentlichen negativen Auswirkungen auf die Erfüllung des Passivhaus-Standards. Auch der sommerliche Wärmeschutz steht einer Fenstervergrößerung nicht im Wege, soweit auf hochwertigen Sonnenschutz geachtet wird.

Aufgrund der dichten und geschlossenen Blockrandbebauung und der damit verbundenen Verschattung ist zu vermuten, dass der Passivhaus-Standard trotz der guten Kompaktheit nicht in allen Bereichen wirtschaftlich realisiert werden kann. Eine Reduzierung der Bebauungsdichte könnte an einigen Stellen zu Verbesserungen führen.

3.3 Energiebedarfsprognose

Basierend auf den bereits dargestellten Energiekennwerten und der konzipierten Bebauung wurde der Energiebedarf mittels der abgeschätzten Energiebezugsfläche aller Gebäude hochgerechnet. Dabei wurden unterschiedliche Ausführungen der Gebäude im Hinblick auf die Qualität der Gebäudehülle und die Art der Lüftungsanlage betrachtet.

Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tab. 57 zu finden, detaillierte Ergebnisse für Wärme-, Kälte- und Strombedarf in den nachfolgenden Unterabschnitten. Eine Aufteilung des Gesamtbedarfs auf alle berücksichtigten Nutzungsarten ist in Tab. 58 für die Ausführung der Gebäude im Frankfurter Mix¹ zu finden. Diese Ausführung wurde auch für die Bewertung der Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.

Tab. 57: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH ²	Ffm.-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf³ in MWh/a	11.420	9.650	6.990	8.670
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	66	56	41	50
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	1.607	1.358	983	1.220
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	4.079	3.446	2.496	3.096
Strombedarf⁶ in MWh/a	6.430	6.420	6.810	6.560
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	37	37	40	38
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	905	903	958	923
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	2.296	2.293	2.432	2.343
Bedarf Wärme u. Strom in MWh/a	17.850	16.070	13.800	15.230
rel. Anteil Wärmebedarf	64%	60%	51%	57%
rel. Anteil Strombedarf	36%	40%	49%	43%
Kältebedarf für Raumkühlung in MWh/a	280			

- 1) Frankfurter Mix bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, alle anderen Gebäude als KfW-EH 55. Diese Ausführung der Gebäude wurde für die Bewertung der Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.
- 2) Passivhaus-Gebäudehülle bei Mehrfamilienhäusern etwa wie KfW-EH 55, bei Reihenhäusern und Doppelhäusern etwa wie KfW-EH 40.
- 3) Der Wärmebedarf entspricht der erforderlichen Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwassererwärmung ab Wärmeerzeuger/Übergabe an die Gebäude.
- 4) Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 5) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.
- 6) Der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf des Gebiets für Stromanwendungen inkl. Elektromobilität.

Tab. 58: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet Günthersburghöfe bei Ausführung der Neubauten im Frankfurter Mix.

Energienutzung	Energieform	Energiebedarf in MWh/a	Anteil
Wärmebedarf Raumheizung	Wärme	5.510	36%
Wärmebedarf Warmwasser	Wärme	3.170	20%
Wärmebedarf Prozesswärme	Wärme	0	0%
Kühlbedarf Gebäude	Kälte	270	2%
Kühlbedarf Prozesskälte	Kälte	0	0%
Nutzerstrom Haushalte	Strom	2.350	15%
Nutzerstrom öffentl. NWG	Strom	220	1%
Nutzerstrom GHD	Strom	2.220	14%
Nutzerstrom Industrie	Strom	0	0%
Hilfsstrom TGA Gebäude	Strom	460	3%
Allgemeinstrom Wohngebäude	Strom	220	1%
Strom E-Mobilität	Strom	1.070	7%
Strom öffentl. Beleuchtung	Strom	20	0%
Summe für gesamtes Gebiet		15.510	100%

3.3.1 Wärmebedarf

Die Aufteilung des prognostizierten Wärmebedarfs ist in Tab. 59 gezeigt. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesswärme identifiziert. Detaillierte Angaben zum prognostizierten Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung sind Tab. 60 in aufgeführt.

Tab. 59: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 155.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf Raumheizung u. Warmwasser in MWh/a	11.420	9.650	6.990	8.670
Relativ zu EnEV 2016	100%	85%	61%	76%
Anteil Warmwasser	28%	33%	45%	37%
Wärmebedarf Prozesswärme in MWh/a	0			
Anteil am ges. Bedarf	0%	0%	0%	0%
Gesamter Wärmebedarf in MWh/a	11.420	9.650	6.990	8.670

Tab. 60: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Günthersburghöfe.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 155.)

		Raumheizung				Warmwasser	
		EnEV16	EH 55	PH	Ffm.-Mix	ohne th. Solaranl.	mit th. Solaranl.
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude nach Nutzung							
Wohnen	MWh/a	4.370	3.470	2.270	3.110	2.810	1.700
GHD	MWh/a	3.180	2.460	1.270	2.100	290	180
Öffentlich	MWh/a	710	550	290	290	70	40
Industrie	MWh/a	0	0	0	0	0	0
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	MWh/a	8.260	6.480	3.830	5.500	3.170	1.920
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	47,9	37,6	22,2	31,9	18,4	11,1
Prozentual	-	100%	78%	46%	67%	100%	61%
Kumulierte Wärmeleistungen* für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	kW	6.550	5.370	3.580	4.730	4.120	
Prozentual	-	100%	82%	55%	72%		

* Für die Abschätzung der Wärmeleistungen wurde davon ausgegangen, dass die Wärmeübergabe zur Raumheizung im Durchflussprinzip erfolgen wird, während zur Trinkwassererwärmung gebäude-/blockzentrale Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Die kumulierten Leistungen berücksichtigen keine gebietsweiten Gleichzeitigkeitseffekte. Die Wärmeleistung für Raumheizung basiert auf der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599.

3.3.2 Kältebedarf

Für das Gebiet wurde ein potenzieller Kältebedarf zur Raumkühlung von etwa 280 MWh/a (Kälteabgabe an die Gebäude) prognostiziert. Neben gebäude- oder wohnungszentralen Kälteanlagen kommt bei einem Erdwärme-gestützten Wärmeversorgungskonzept auch die passive Kühlung über das Erdreich zur Deckung dieses Bedarfs in Frage. Sofern wie im Konzept vorgesehen ein Supermarkt im Gebiet eröffnet wird, entsteht zusätzlich ein Bedarf an Prozesskälte zur Kühlung von Lebensmitteln und Getränken.

3.3.3 Strombedarf

Eine Übersicht des für das Gebiet prognostizierten Strombedarfs ist in Tab. 61 und Tab. 62 gezeigt.

Tab. 61: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.
(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 155.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
(Hilfs-) Strombedarf für Heizung u. Lüftung in MWh/a	330	320	710	460
Relativ zu EnEV 2016	100%	97%	215%	139%
Strombedarf für Nutzung* in MWh/a	5.030			
Strombedarf für E-Mobilität in MWh/a	1.070			
Gesamter Strombedarf in MWh/a	6.430	6.420	6.810	6.560
Anteil Heizung/Lüftung	5%	5%	10%	7%
Anteil Nutzung	78%	78%	74%	77%
Anteil E-Mobilität	17%	17%	16%	16%

* Strombedarf für Nutzung der Gebäude inkl. Allgemeinstrom und Straßenbeleuchtung

Tab. 62: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Günthersburghöfe.
(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 155.)

		Strom für Nutzung	Strom für E-Mobilität
Haushalte	MWh/a	2.580	430
GHD	MWh/a	2.230	590
Öffentlich	MWh/a	220	50
Industrie	MWh/a	0	0
Ges. Quartier	MWh/a	5.030	1.070
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	29,2	6,2

3.4 Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale

In diesem Abschnitt werden die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger sowie die Erzeugungspotenziale lokaler (erneuerbarer) Energieträger im geplanten Quartier und in dessen nächster Umgebung dargelegt.

3.4.1 Elektrizität und Erdgas

Es wird angenommen, dass das Gebiet mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt wird und dass ausreichend elektrische Leistung zur Verfügung steht um ggf. auch eine Strom-basierte Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Die Erschließung wird voraussichtlich von der Friedberger Landstr. aus erfolgen. Ob auf Grund der E-Mobilität eine erhöhte Anschlussleistung notwendig ist, konnte nicht abgeschätzt werden. In jedem Fall wird empfohlen ein Lastmanagement-System für die Ladestationen vorzusehen.

Es wird angenommen, dass die Kapazität der bestehenden Erdgasleitungen in der Umgebung ausreicht um das Gebiet zu versorgen. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

Laut der Netzauskunft der Netzdienste Rhein-Main ist das bestehende Mischgebiet im Süden des Baugebiets bereits an die Erdgas-Leitung mit DN 200 in der Friedberger Landstraße angeschlossen. Die Gebäude in der Hungener Straße und der Münzenberger Straße werden jeweils über abzweigende Leitungen versorgt. Des Weiteren befindet sich östlich des geplanten Quartiers eine Leitung mit DN 100 in der Dortelweiler Straße, an welche mehrere Gebäude angeschlossen sind.

3.4.2 Fernwärme

Es wird angenommen, dass der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden. Zusätzlich müsste eine Verbindungsleitung vom bestehenden Netz zum Gebiet gebaut werden, wofür zusätzliche Investitionen notwendig sind.

Laut Auskunft der Mainova AG sowie der Netzdienste Rhein-Main liegen derzeit keine Fernwärmeleitungen im Baugebiet oder in direkter Umgebung. Es existieren jedoch Fern-/Nahwärmeversorgungsgebiete in benachbarten Stadtteilen:

- Etwa ein Kilometer westlich des Baugebiets liegt das Versorgungsgebiet Westend-Nord der Mainova AG. Dieses ist über eine Heizwasser-Verbindungsleitung an das Fernwärmenetz der Innenstadt angebunden. Mit dem Ausbau wurde bereits begonnen: Ende 2019 wird der Campus der

Frankfurt University of Applied Sciences südöstlich des Baugebiets (siehe grün markierter Bereich „Nahwärme Mainova“ in Abb. 55) angeschlossen.

- Des Weiteren befindet sich im Norden des Baugebiets (nördlich des Wasserparks) ein Nahwärmeversorgungsgebiet (siehe grün markierter Bereich „Nahwärme Dritter“ in Abb. 55), in welchem die Betriebsführung durch die Mainova AG stattfindet. Über Vorhaben zum Ausbau liegen keine Informationen vor.

3.4.3 Abwärme

Wie der Auszug aus dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt in Abb. 55 zeigt, befinden im Geltungsbereich des Bebauungsplans B880 und dessen Umgebung keine Möglichkeiten zur Nutzung von Abwärme aus Siedlungsabwässern oder Produktions- bzw. Kühlprozessen.

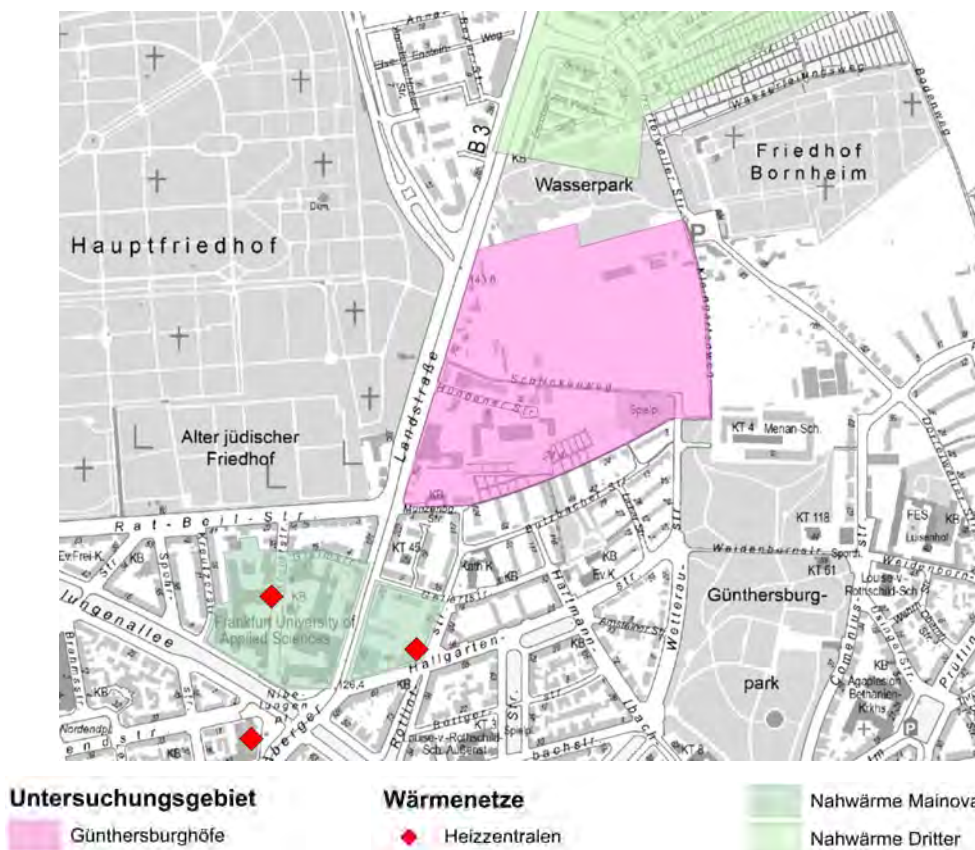


Abb. 55: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster mit dem Geltungsbereich des Bebauungsplans B880 sowie dessen Umgebung (Quelle: Energierreferat der Stadt Frankfurt, 2018).

3.4.4 Erdwärme

Es wird angenommen, dass eine flächendeckende Erschließung der Baugrundstücke und Teile der öffentlichen Verkehrsflächen mit Erdwärmesonden möglich ist und folglich mit Wärmepumpen ein hoher Anteil des prognostizierten Wärmebedarfs des Quartiers gedeckt werden kann. Es ist davon auszugehen, dass eine Regeneration des Erdreichs vorgesehen werden muss. Es wird dringend empfohlen, das Verfahren zur weiteren Untersuchung und Genehmigung dieser Versorgungsvariante frühestmöglich einzuleiten.

Im Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wird der gesamte Geltungsbereich des Bebauungsplans B880 sowie die unmittelbare Umgebung als „hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich günstig“ eingestuft. Dies kann als positive Voraussetzung für die Genehmigung der Erschließung des Gebiets mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren betrachtet werden. Es ist zu beachten, dass sich laut Auskunft des Regierungspräsidiums Darmstadt östlich des geplanten Quartiers im Abstand von ca. 100 m bereits ein etwa 5 ha großes Erlaubnisfeld für die Erdwärmenutzung befindet.

Das Potenzial einer flächendeckenden Erschließung mit Erdwärmekollektoren wird in Anbetracht der hohen prognostizierten Wärmebedarfsdichten des Gebiets zwischen 980 MWh/(ha a) und 1.600 MWh/(ha a) als zu gering eingeschätzt und nicht weiter betrachtet. Ein deutlich größeres Potenzial ermöglicht die flächendeckende Erschließung des Baugebiets mit Erdwärmesonden. Zwar ist laut Aussage des Stadtplanungsamts ist eine energetische Nutzung der etwa 50.000 m² bestehenden und geplanten Grünflächen „Gartenwildnis“ und „Gartenband“ ausgeschlossen, dennoch verbleiben im Geltungsbereich des Bebauungsplans folgende Flächen zur Errichtung von Erdwärmesonden:

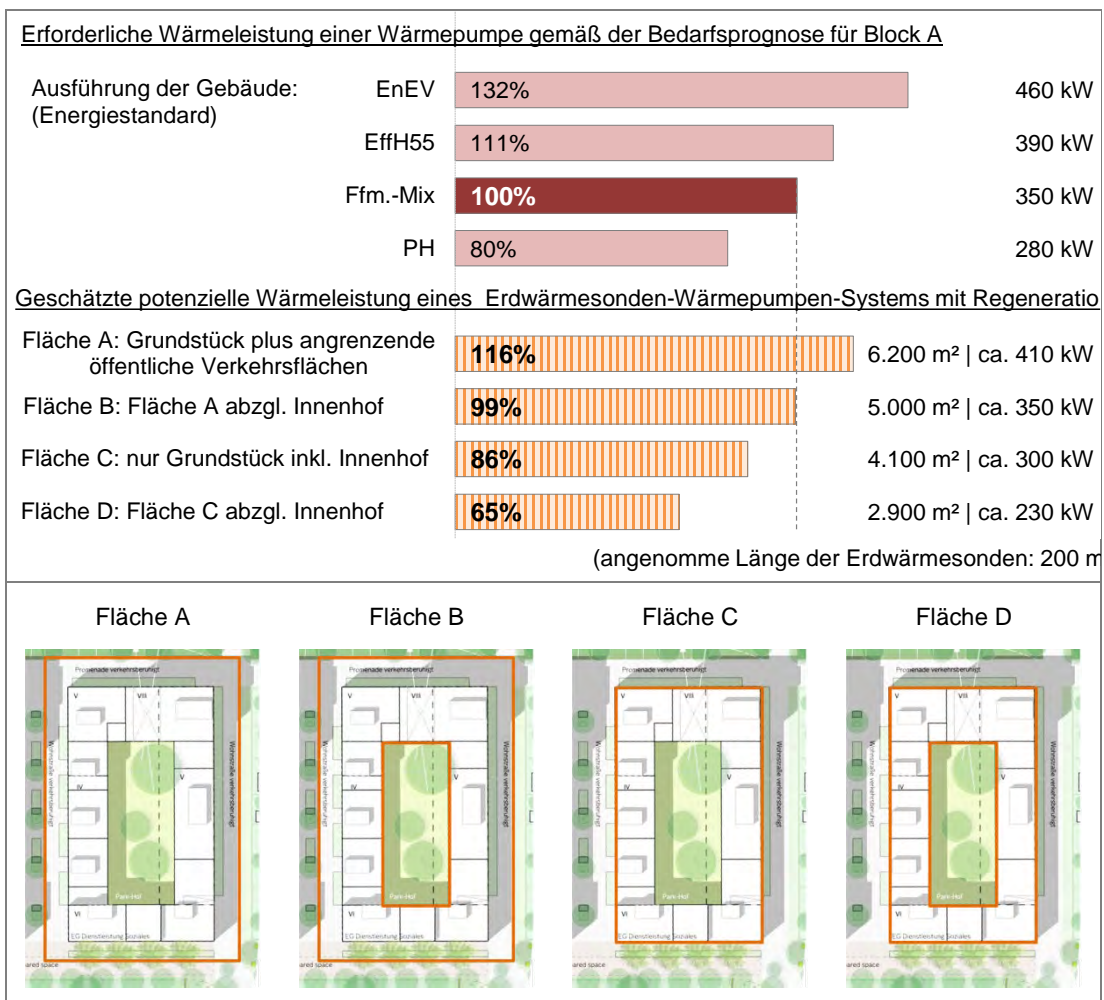
Potenziell nutzbare Flächen des Kerngebiets*:	90.000 m ²
Darin enthalten sind teilw. überbaute Grundstückflächen:	60.000 m ² ,
öffentliche Verkehrsflächen:	30.000 m ² .
Potenziell nutzbare Flächen des Schulstandorts:	15.000 m ²
Darin enthalten sind teilw. überbaute Grundstücksfläche:	10.000 m ² ,
öffentliche Verkehrsflächen:	5.000 m ³ .

* Mit Kerngebiet sind hier geplanten Flächen für Wohnen, GHD und Gemeinbedarf der Bereiche V1 u. V2 ohne den Schulstandort im Nordosten gemeint.

Für große Erdwärmesonden-Felder in städtischen Gebieten ist eine Regeneration des Erdreichs in der Regel empfehlenswert um mittel- bis langfristig die Auskühlung des Erdreichs und damit einen Abfall der Entzugsleistung zu verhindern. Im geplanten Quartier kommen dazu in Frage:

- Abwärme aus Raumkühlung der Gebäude;
- lokal erzeugte (vor allem im Sommer) nicht anderweitig nutzbare Solar-energie, beispielsweise aus PVT-Hybridkollektoren;
- ggf. Überschüsse aus regional erzeugtem erneuerbarem Strom.

Für den Gebäudeblock A (Geschossfläche ca. 15.500 m²) im Osten des Gebiets sind die Potenziale einer Wärmeversorgung mit einem Erdwärmesonden-Wärmepumpen-System mit Regeneration nachfolgend beispielhaft dargestellt. Wird der Wohnblock im Frankfurter Mix ausgeführt, wäre bei einer Sondenlänge von 200 m eine monovalente Versorgung ab einer Gesamtfläche des Sondenfelds von etwa 5.000 m² möglich, eine bivalente Versorgung mit hohem Deckungsanteil ab einer Gesamtfläche des Sondenfelds von etwa 3.000 m².



3.4.5 Solarenergie

Es wird angenommen, dass mindestens 50 % der Bruttodachflächen mit Anlagen zur aktiven Solarenergiegewinnung belegt werden können. Zusätzlich können geeignete Süd-Fassaden der Gebäude genutzt werden.

Basierend auf dem vorliegenden städtebaulichen und landschaftsplanerischen Konzept wurden nachfolgende potenziell zur Solarenergiegewinnung verfügbare Flächen geschätzt. Alle Angaben sind zusammengefasst für die Bereiche Neubau (V1) und Neuordnung Bestand (V2). Eine energetische Nutzung der etwa 50.000 m² bestehenden und geplanten Grünflächen „Gartenwildnis“ und „Gartenband“ wurde gemäß der Aussage des Stadtplanungsamts ausgeschlossen.

Brutto-Dachflächen der Gebäude ¹ :	38.200 m ² .
Darin enthalten sind:	Wohngebäude inkl. GHD 34.700 m ² ,
	Schulstandort und Kita 3.500 m ² ,
Geeignete Fassadenflächen der Gebäude ² :	6.500 m ² .

- 1) Bruttoflächen der Decken der obersten Geschosse, Überdachung von Treppenaufgängen etc. eingeschlossen.
- 2) Bruttofläche gut geeigneter Fassaden (mit geringer Verschattung, möglichst Süd-Orientierung), jeweils ohne Erdgeschoss.

Im Verlauf der Arbeiten zu diesem Klimaschutzteilkonzept hat die Bürogemeinschaft Kölling und Crossboundaries Architekten ein Dachflächenkonzept erarbeitet, welches die sozialen, energetischen und stadtklimatischen Belange der Dachflächennutzung in Einklang bringen soll. Das Ergebnis ist exemplarisch für einen Wohnblock in Abb. 56 gezeigt.



Abb. 56: Exemplarische Darstellung des Dachflächenkonzepts für einen geplanten Wohnblock. (Quelle: Bürogemeinschaft Kölling und Crossboundaries Architekten)

In dem Konzept sind 50 % der Bruttodachflächen für die Solarenergiegewinnung in Kombination mit einer extensiven Begrünung vorgesehen. Weitere Flächen zur Energiegewinnung mit halbtransparenten Photovoltaik-Modulen könnten auf tragenden Konstruktionen über Dachflächen für Aufenthaltsbereiche oder Urban Gardening vorgesehen werden.

Photovoltaik

Die resultierenden Erzeugungspotenziale für Strom aus Photovoltaikanlagen sind in Abb. 57 dargestellt. Wenn alle Neubauten im Frankfurter Mix ausgeführt werden, könnten zwischen 26 % und 34 % des prognostizierten Gesamtstrombedarfs des Quartiers (Haushalte, GHD u. öffentliche Geb. inkl. TGA, Straßenbeleuchtung und E-Mobilität) lokal und erneuerbar erzeugt werden, wenn Photovoltaik-Module auf 50 % der Dachflächen sowie an gut geeigneten Fassaden der Gebäude installiert würden.

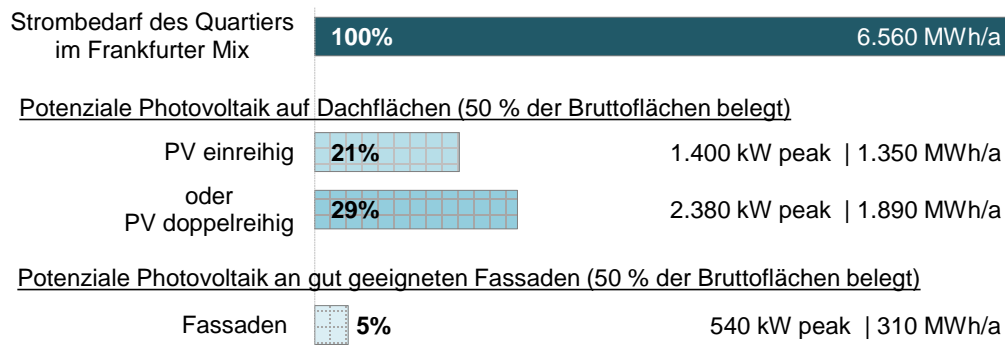


Abb. 57: Gegenüberstellung von Bedarf der geplanten Gebäude und (Erzeugungs-) Potenzialen von Photovoltaik-Anlagen auf unterschiedlichen Flächen für das Gebiet Günthersburghöfe.

Zu den in Abb. 57 dargestellten Potenzialen sind folgende Anmerkungen zu beachten:

- Ggf. kann nicht die gesamte potenziell erzeugte Strommenge der PV-Anlagen zur Eigenversorgung im Gebiet genutzt werden. Der restliche Teil wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und in benachbarten Siedlungsgebieten genutzt.
- Die Bestrahlung der Modul- und Kollektorflächen wurde entsprechend der im Baugebiet vorkommenden Orientierungen der Dachflächen bzw. Fassaden abgeschätzt.
- Für die Flachdächer sind Potenziale für zwei Varianten angegeben:
 - „Klassische“ einreihige Aufstellung der Module (mit einheitlicher Orientierung mögl. nach Süden, einer Neigung von 30° und größeren Reihenabständen zu Vermeidung von Verschattung).

- Doppelreihige Aufstellung (mit paarweise entgegengesetzter Orientierung und flacherer Neigung von 15°. Falls eine extensive Dachbegrünung auf denselben Flächen realisiert werden soll, kommt diese Aufstellung nicht in Frage.

3.5 Betrachtete Versorgungsvarianten

Neben einer Referenzvariante wurden – abgestimmt auf die lokalen Potenziale erneuerbarer Energien und die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger – verschiedene Versorgungsvarianten für das Gebiet untersucht. In Tab. 63 ist eine Übersicht der betrachteten Varianten zu finden. In diesem Abschnitt werden die technischen Details der Varianten näher erläutert.

Tab. 63: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Günthersburghöfe.

Akronym	Kurzbeschreibung	VL/RL in °C	Bemerkungen
GEBÄUDE- / BLOCKZENTRALE VARIANTEN			
Gas-BWK +ST	Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie (Referenz)	65/45	Referenzvariante mit solarthermischer Anlage zur Trinkwassererwärmung.
EWS-WP +PVT mono/biva	Erdwärmesonden-Wärmepumpen ggf. mit PVT-Kollektoren monovalent / bivalent	55/35	Erdwärmenutzung auf Grundstücksflächen, Gebäude mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.
GEBIETSZENTRALE VARIANTE			
FernW (+PV)	Anschluss an den Fernwärmeverbund der Mainova AG ggf. mit Photovoltaik-Anlagen	75/50	Gebäude optional mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.

3.5.1 Variante „Gas-BWK+ST“: Gas-Brennwertkessel und Solarthermie (Referenz)

Die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzlichen Mindestanforderungen erfolgt mittels gebäudezentralen Gas-Brennwertkesseln und solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung: (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	88 % Gas-Brennwertkessel. 12 % solarthermische Anlage zur WW-Bereitung
Wärmenetz:	nicht benötigt.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.

Platzbedarf: übliche Abmessungen für Gebäude / Block.

Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und –technik müssen mindestens den Anforderungen an ein KfW Effizienzhaus 55 entsprechen, alle anderen effizienzsteigernden Maßnahmen sind optional.
Zukunftsperspektive:	Keine.

3.5.2 Variante „EWS-WP“: Wärmepumpen mit Erdwärmesonden

Die Wärmeversorgung erfolgt mittels gebäude- bzw. blockzentraler Sole/Wasser-Wärmepumpen. Als Wärmequelle dient das Erdreich unter dem Baugrundstück, welches über ein Erdsondenfeld erschlossen wird. Vorzugsweise erfolgt der Betrieb monovalent, falls nötig bivalent mit Gas-Spitzenlastkessel mit Erdgas oder Flüssiggas als Brennstoff. Ergänzend können photovoltaisch-thermische Kollektoren (PVT-Kollektoren) in den Sommermonaten Wärme zur Regeneration des Erdreichs und ganzjährig erneuerbaren Strom bereitstellen. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung: (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	95 % - 100 % Sole/Wasser-Wärmepumpen. Als Quelle dienen Erdwärmesonden-Felder auf Baugrundstücken. 5 % Gas-Brennwertkessel (für bivalente Option)
Zusätzlich:	Je nach Bedarf kann die Regeneration des Erdreichs mittels passiver Kühlung der Gebäude oder den Einsatz photovoltaisch-thermischer (PVT) Hybrid-Kollektoren erfolgen.
Wärmenetz:	nicht benötigt bzw. nur zur Unterverteilung im Block.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, optimierte Wärmeverteilung mit Flächenheizung und wohnungsweise Übergabestationen.
Zukunftsperspektive:	Die vergleichsweise geringe Menge an Erdgas für einen bivalenten Betrieb könnte langfristig durch lokal oder regional erneuerbar erzeugten Elektrolyse-Wasserstoff bzw. daraus hergestelltes Methan ersetzt werden.

3.5.3 Variante „FernW“: Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem

Die Wärmeversorgung aller Abnehmer erfolgt über ein Wärmenetz, welches an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG angeschlossen ist. In Abb. 58 ist eine

schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs im Gebiet gezeigt. Detailliertere Information zu dieser Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.



Abb. 58: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs eines Wärmenetzes sowie der und Fassadenflächen zur Solarenergiegewinnung für das Gebiet Günthersburghöfe.
(Plan © Bürogemeinschaft Becker / Bernhard / Kölling / Crossboundaries, Sep. 2017).

Wärmeerzeugung: 100 % Fernwärme der Mainova AG,
Wärmenetz: 2-Leiter Wärmenetz (Kunststoffmantelrohr).

	Vor-/Rücklauftemperatur: 75 °C / 50 °C (gleitend),
Heizraum:	Übergabestationen integriert in Keller- geschoss/Tiefgarage.
	Platzbedarf: übliche Abmessungen für ein Gebäude.
Sonstige Anforderungen:	Keine, Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, möglichst mit Flächenheizung.
Zukunftsperspektive:	Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im Fern- wärmeverbund der Mainova AG reduzieren sich auch die Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung des Quartiers.

3.6 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Eine tabellarische Übersicht der prognostizierten Energie-Bilanz der drei Hauptvarianten ist in Tab. 63 gegeben. Eine entsprechende graphische Darstellung der Ergebnisse ergänzt um einige Untervarianten ist in Abb. 59 zu finden. Die daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen aller Varianten sind für unterschiedliche Bezugsjahre in Abb. 60 dargestellt. Die zugehörige tabellarische Übersicht der Ergebnisse für die drei Hauptvarianten ist in Tab. 65 zu finden.

Tab. 64: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Günthersburghöfe.

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	EWS-WP +PVT mono	FernW + PV
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Ffm.-Mix ¹	Ffm.-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix ²	Mix ²
Energiebedarf ³ in MWh/a	16.340	15.500	15.500
Energieeinsatz ⁴ in MWh/a	= 16.610	15.830	16.320
davon Wärme/Kälte aus lokalen Energieträgern ⁵ in MWh/a	+ 1.440	6.730	210
davon Strom aus lokalen Energieträgern in MWh/a	+ 0	1.700	1.350
Autarkiegrad durch lokale Energieträger ^{6,7}	9%	53%	10%
zusätzlicher Strom ins Netz eingespeist in MWh/a	0	0	0
davon Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	+ 15.170	7.400	14.770
bez. auf EBF ⁸ in kWh/(m ² a)	88	43	86
bez. auf NBL ⁹ in MWh/(ha a)	2.134	1.041	2.078
bez. auf Einw. in kWh/(EW a)	5.418	2.643	5.275
anteilig bez. auf Referenz	100%	49%	97%
bez. auf Energiebedarf	0,93	0,48	0,95

- 1) Frankfurter Mix (Ffm.-Mix) bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, restliche Gebäude haben KfW-EH 55-Hülle und Abluftanlage.
- 2) Entsprechend dem Frankfurter Mix der Energiestandards haben die KfW-EH 55 Abluftanlagen und die Passivhäuser Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung.
- 3) Der Wärme-/Kältebedarf entspricht der Nutzenergieabgabe ab Erzeuger/Übergabe an die Gebäude, der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf der Gebäude.
- 4) Der Energieeinsatz entspricht der Summe aller zur Deckung des Energiebedarfs im Quartier erzeugten bzw. von extern zugeführten erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger.
- 5) Fernwärme wird nicht als lokaler Energieträger betrachtet.
- 6) Der Autarkiegrad entspricht dem relativen Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger (Solar-, Umwelt-, Wasser-, Windenergie) sowie Abwärme am gesamten Energieeinsatz.
- 7) Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 8) Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

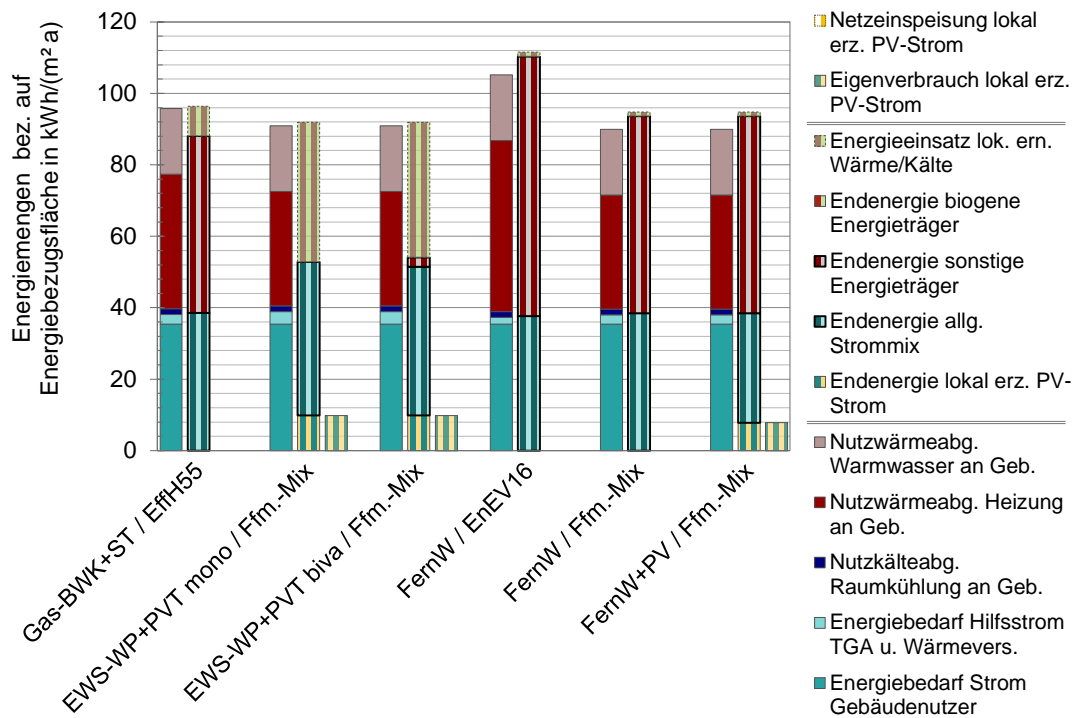


Abb. 59: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Günthersburghöfe.

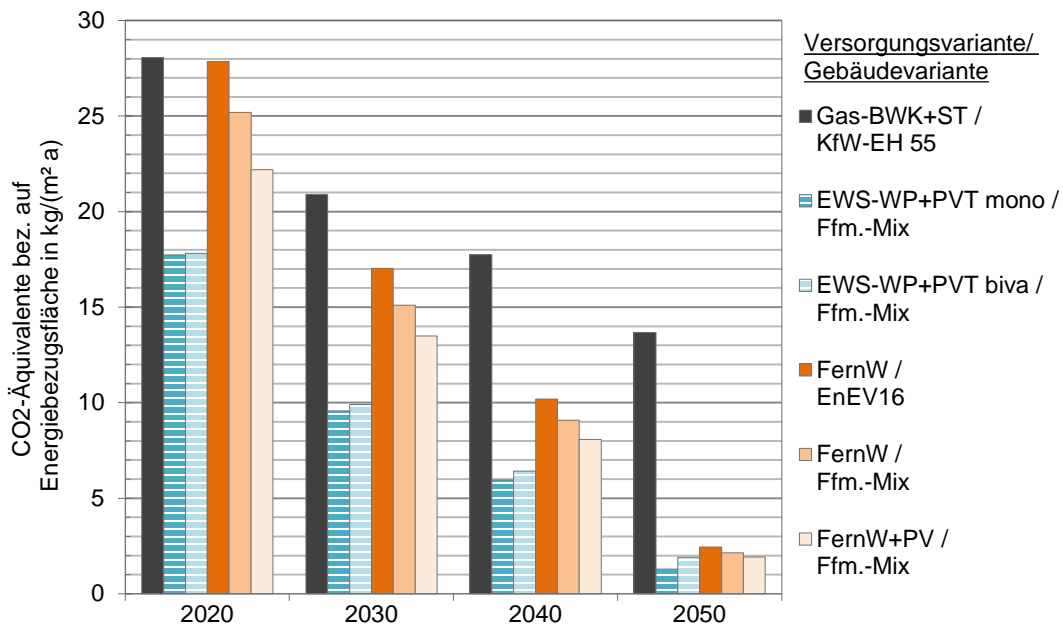


Abb. 60: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Günthersburghöfe (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Tab. 65: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Günthersburghöfe (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	EWS-WP +PVT mono	FernW +PV
Qualität der Gebäudehülle	<i>EH 55</i>	Ffm.-Mix*	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	<i>Abluft</i>	Mix*	Mix
CO₂-Äquivalente <u>2020</u> in t/a	4.835	3.055	3.824
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	28,1	17,7	22,2
anteilig bez. auf Ref. 2020	100%	63%	79%
CO₂-Äquivalente <u>2030</u> in t/a	3.603	1.647	2.325
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	20,9	9,6	13,5
anteilig bez. auf Ref. 2020	75%	34%	48%
CO₂-Äquivalente <u>2040</u> in t/a	3.058	1.024	1.393
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	17,7	5,9	8,1
anteilig bez. auf Ref. 2020	63%	21%	29%
CO₂-Äquivalente <u>2050</u> in t/a	2.357	223	332
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	13,7	1,3	1,9
anteilig bez. auf Ref. 2020	49%	5%	7%

* Erläuterungen zu Abkürzungen und Definitionen finden sich auf den vorherigen Seiten.

3.7 Ökonomische Bewertung

Je nachdem, welche Varianten von Wärmeversorgung und Gebäude (Hülle/ Lüftung) miteinander kombiniert werden, ergeben sich unterschiedliche Gebäude-Energiestandards und Umweltwirkungen sowie unterschiedliche Investitionen und Betriebskosten für die Eigentümer bzw. Nutzer der Gebäude. An Hand dieser Indikatoren werden die Varianten nachfolgend verglichen.

3.7.1 Grundlagen und betrachtete Kombinationen

Folgende Kriterien wurden bei der ökonomischen Bewertung berücksichtigt:

- Die **Investitionen** dienen als Maß für den wirtschaftlichen Ressourceneinsatz. Alle Investitionen sind Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018). Es werden nur relevante Investitionen einbezogen, die zum einen maßgeblich für die Wärmeversorgung der Gebäude sind und zum anderen zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Im Detail werden berücksichtigt:

- Zusätzliche Investitionen für einen verbesserten Dämmstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 hinausgeht.
 - Investitionen für Komponenten zur Lüftung und Wärmeversorgung, sofern diese zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Beispielsweise werden Warmwasser-Verteilungen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind, nicht berücksichtigt.
 - Aussagekräftig sind folglich die Differenzen der Investitionen der verglichenen Varianten, nicht aber die absoluten Ergebnisse einer einzelnen Variante.
- Die durchschnittlichen **Betriebskosten pro Monat** (im ersten Jahr) dienen als Maß für die laufenden Kosten nach heutigem Stand.
 - Die **Annuitäten der Kosten und Erlöse** dienen als Maß für die Wirtschaftlichkeit. Die Annuitäten wurden in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

Diese Kriterien wurden für folgende Mustergebäude ausgewertet:

Mustergebäude: Mehrfamilienhaus mit 20 WE.

Geschosse: sechs Vollgeschosse,

Geschossfläche: 2.150 m²,

Energiebezugsfläche: 1.790 m².

Die Ausführungen der Mustergebäude werden nachfolgend für die mit einer Wärmeversorgungsvariante erreichbaren Gebäude-Energiestandards beschrieben:

EnEV Gas-BW+ST: (Referenz)	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage.
EnEV FernW:	Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.
EH55 EWS-WP+PVT mono:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und PVT-Kollektoren.
EH55 FernW:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.
PH EWS-WP+PVT mono:	Gebäudehülle entspr. PH*, Zu-/Abluftanlage mit WRG, dez. S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und PVT-Koll.
EH55 FernW:	Gebäudehülle entspr. PH*, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.

3.7.2 Vergleich der Investitionen

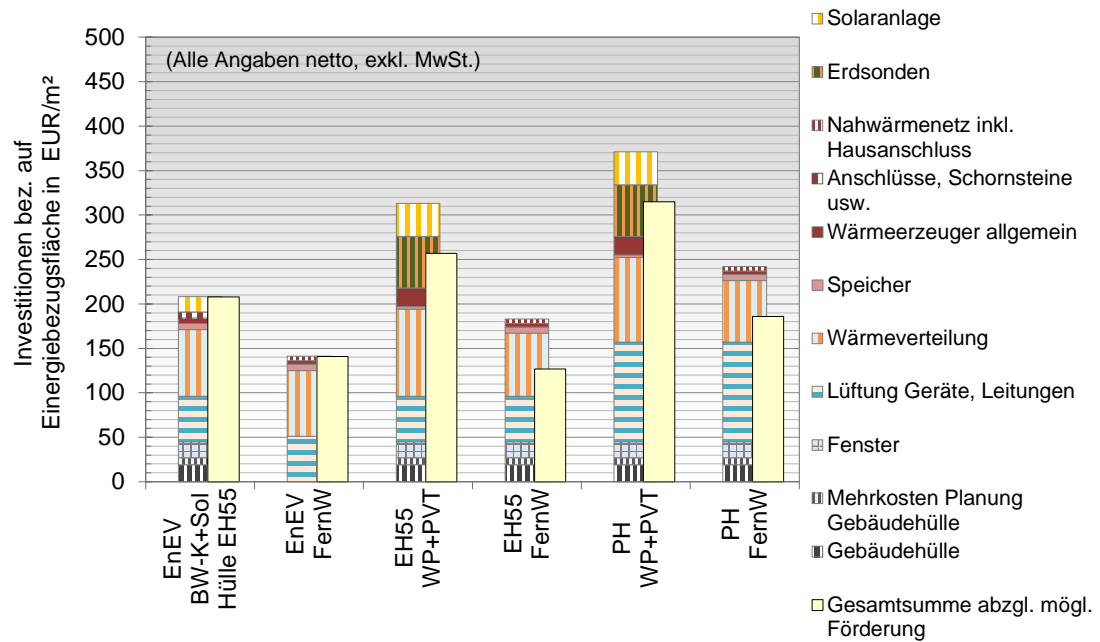


Abb. 61: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.

3.7.3 Vergleich der monatlichen Betriebskosten (1. Jahr)

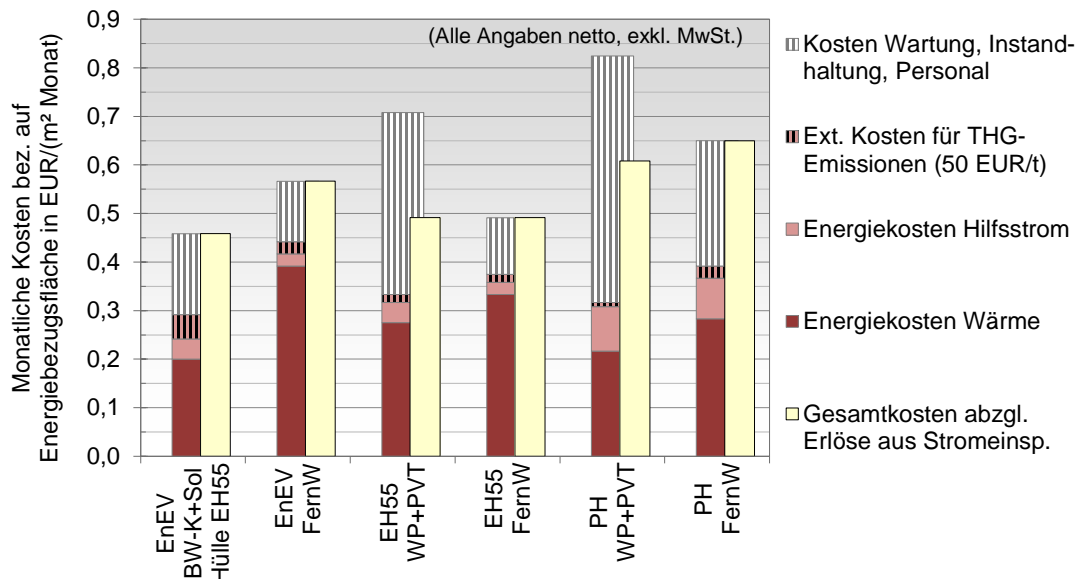


Abb. 62: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.

3.7.4 Vergleich der Annuitäten

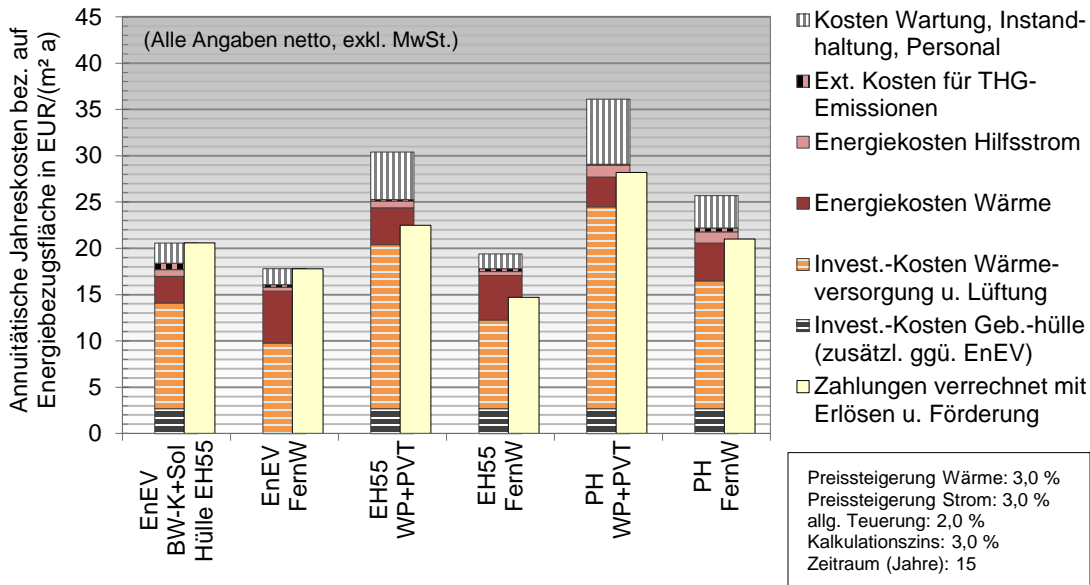


Abb. 63: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.

3.8 Fazit und Empfehlung

Das städtebauliche Konzept für das Quartier Günthersburghöfe sieht größtenteils Blockrand-Bebauung mit vier bis acht Geschossen vor. Dadurch kann für das Plangebiet die mit Gebäuden überbaute Fläche minimiert und ein großer Teil der bestehenden Grün- und Waldflächen erhalten werden. Positiv aus energetischer Sicht ist, dass die Baukörper durchweg ein sehr günstiges A/V-Verhältnis aufweisen, sofern dieses bei der weiteren Ausgestaltung der Gebäude nicht deutlich verschlechtert wird. In Bezug auf die Besonnung der Gebäudefassaden und die Belichtung der Wohnungen bringt die dichte Anordnung der Baukörper jedoch Nachteile mit sich, wenngleich eine umfassende Überarbeitung des Entwurfs nicht erforderlich scheint. Auch ist zu erwarten, dass sich nicht alle Bereiche für eine wirtschaftliche Erstellung des Passivhaus-Standards eignen.

Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Städtebaus

- Bei starker Einschränkung der Besonnung können durch eine Staffelung / Anpassung der obersten Geschosse der verschattenden Baukörper sowie

durch eine geringfügige Verbreiterung der entlang der Südwest-Nordost-Achse verlaufenden Straßen Verbesserungen erreicht werden.

- Bei der Gebäudeplanung sollten die Grundriss- und Fensterflächengestaltung auf die Besonnung und natürliche Belichtung abgestimmt werden. In vielen Fällen kann eine unzureichende Besonnung durch zweiseitig belichtete Wohnungen vermieden werden. Bei ost-, süd- oder westorientierten Fassaden spricht aus energetischer Sicht auch nichts gegen eine Vergrößerung der Fensterflächen, sofern ein hochwertiger Sonnenschutz vorgesehen wird.

Der Vergleich der energetisch relevanten Investitionen hat gezeigt, dass auf Grund der möglichen Förderung eine Gebäudehülle entsprechend dem KfW Effizienzhaus 55 im Geschosswohnungsbau niedrigere Investitionen (die Förderung eingerechnet) erfordert als eine Hülle entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude. In Anbetracht dessen, dass der KfW Effizienzhaus 55 Standard bezogen auf den Betrieb des Gebäudes auch energetisch und damit ökologisch vorteilhaft ist, kann dieser Standard uneingeschränkt für alle Gebäude empfohlen werden, die nicht im Passivhaus-Standard errichtet werden.

Empfehlungen zum Gebäude-Energiestandard

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude weiterhin im Passivhaus-Standard auszuführen.
Im Geschosswohnungsbau kann der Passivhaus-Standard bei ausreichender Besonnung in der Regel mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW Effizienzhaus 55 und dem zusätzlichen Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden. Gebäude im Passivhaus-Standard sollten vorrangig in jenen Baukörpern realisiert werden, die sich auf Grund der passiven solaren Gewinne am besten dazu eignen.
- Alle anderen Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Referenzvariante und zweier untersuchter Versorgungsvarianten gegenüber gestellt.

Versorgungsvariante	Referenz: Erdgas	Vorschlag 1: Erdwärme	Vorschlag 2: Fernwärme
zentrale/dezentrale Erzeuger	gebäudezentrale Gas-BW-Kessel	gebäude-/ block-zentrale Wärmepumpen	gebietszentrale FW-Versorgung
Gebäude-Energiestandard	EnEV	KfW EH 55 (teilw. PH)	KfW EH 55 (teilw. PH)
ENERGIE/AUTARKIE			
Energieeinsatz in MWh/a	16.610	15.830	16.320
Autarkiegrad	9%	53%	10%
durch folgende lokale Energieträger	Solarthermie	Erdwärme, Solarstrom, Solarthermie	Solarstrom
Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	15.170	7.400	14.770
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	88	43	86
Haupt-Endenergieträger für Wärmeanwendungen	Erdgas	Strommix	Fernwärme
TREIBHAUSGASE			
CO ₂ -Äquivalente <u>2020</u> in t/a	4.835	3.055	3.824
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	28,1	17,7	22,2
CO ₂ -Äquivalente <u>2050</u> in t/a	2.357	223	332
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	13,7	1,3	1,9
WIRTSCHAFTLICHKEIT KfW EH 55			
Energetisch relevante Investitionen (netto) abzgl. Förderung bez. auf EBF in EUR/(m ²)	208	257	127**
Monatliche Betriebskosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² M)	0,46	0,49	0,49
Annuitätische Gesamtkosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² a)	21	23	15**

* Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.

** Mögliche Baukostenzuschüsse zum Anschluss an den Fernwärmeverbund sowie zur Erschließung des Gebiets selbst nicht eingerechnet.

Die Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen und Erdwärmesonden kombiniert mit photovoltaisch-thermischen Kollektoren weist für das Quartier Günthersburghöfe das größte Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen auf. Darüber hinaus können durch die Nutzung lokaler erneuerbarer Energieträger potenziell etwa 53 % der benötigten Energie auf dem Gebiet selbst gewonnen werden. Eine Wärmeversorgung mit Fernwärme würde heute insgesamt zu etwa 25 % mehr Treibhausgasemissionen führen. Da die gesamte (Fern-) Wärme dem Gebiet von außen zugeführt werden muss, wird die Problematik der klimaschonenden Energieversorgung mit dieser Variante größtenteils auf die Stadt bzw. die Region verlagert.

Die Versorgung mit Fernwärme weist die niedrigsten Zusatzinvestitionen und annuitätischen Gesamtkosten auf (mögliche Investitionen oder Baukostenzuschüsse zum Anschluss an den Fernwärmeverbund sowie zur Erschließung des Gebiets selbst nicht eingerechnet), was diese Variante aus ökonomischer Sicht für Investoren attraktiv macht. Auch aus Nutzersicht ergeben sich keine nennenswerten Nachteile gegenüber der Referenzvariante, da die Betriebskosten der Fernwärme nur geringfügig höher ausfallen. Dies gilt auch für die Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen. Allerdings fallen die Zusatzinvestitionen bei letzterer Variante auf Grund der Erdwärmesonden deutlich höher aus.

Unter der Voraussetzung dass die bundes- bzw. landesweiten Klimaschutzziele für den Strommix erreicht werden, können die Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt für 2050 sowohl bei der Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen als auch mit Fernwärme erreicht oder sogar übertroffen werden. Bei letzterem muss zusätzlich die Transformation der städtischen Fernwärmeversorgung zur „grünen Fernwärme“ gelingen.

Empfehlungen zur Energieversorgung

- Es wird empfohlen mindestens 50 % der Dachflächen sowie alle geeigneten Fassadenflächen der Gebäude zur Solarstromerzeugung zu nutzen. Das bereits vorliegende Dachflächenkonzept sollte bei der weiteren Ausgestaltung der Gebäude beachtet werden. Darüber hinaus wird empfohlen geeignete Fassadenflächen zu nutzen.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht sollte eine Wärmeversorgung mit Wärmepumpen (gespeist aus Erdwärmesonden) und Solarenergie angestrebt werden. Diese Variante bietet gegenüber der Fernwärmeversorgung ein etwas besseres Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Darüber hinaus ist das Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien deutlich höher. Mit der Kombination von Erdwärme und Solarenergie kann voraussichtlich ein Energieautarkiegrad des Gebiets von über 50 % erreicht werden.
- Zur weiteren Umsetzung wird insbesondere im Hinblick auf das bergrechtliche Genehmigungsverfahren und die notwendige messtechnische Überprüfung der Machbarkeit einer umfassenden Erdwärmennutzung empfohlen, das Thema Wärmeversorgung möglichst frühzeitig in die fachplanerischen Prozesse zu integrieren.

4 Am Römerhof

4.1 Beschreibung des Gebiets

Mit dem Quartier „Am Römerhof“ im Frankfurter Stadtteil Bockenheim soll aus einem bestehenden Gewerbegebiet ein urbanes, gemischt genutztes Quartier mit zwei Schulen entstehen. Im Rahmen eines Planungsworkshops des Stadtplanungsamts mit dem Titel „Transformation eines Gewerbegebietes in ein urbanes Quartier nach gründerzeitlichem Vorbild“ wurden im März 2018 ein städtebauliches Strukturkonzept und ein erster Entwurf des Lageplans zum Aufstellungsbeschluss erarbeitet. Dieser Entwurf in der Version vom 19.04.2018 (s. Abb. 64) sowie das zugehörige 3D-Modell bilden die Grundlage für das vorliegende Klimaschutzteilkonzept. Die grundlegenden Informationen zum Gebiet sind nachfolgend zusammengefasst.

Bebauungsplan:	Nr. 919,
Stadtteil:	Bockenheim,
Lage im Stadtgebiet:	im Westen des Stadtgebiets.
Konzipierte Bebauung:	Urbanes Gebiet konzipiert für ca. 4.000 Einwohner in 2.000 Wohneinheiten verteilt auf Wohngebäude: mehrere Wohnblöcke (Geschosswohnungsbauten mit bis zu sechs Geschossen, teilw. um drei- geschossig bebaute Innenhöfe).
Öffentliche Gebäude:	zwei Schulstandorte.
Sonstige Nichtwohngeb.:	bestehende und neue Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (neue teilw. integriert im Erdgeschoss der Blockrandbebauung).
Bauliche Kennwerte:	entspr. Strukturkonzept vom Mrz. 2018 und eigenen Berechnungen.
Brutto-Bauland:	28,9 ha (100 %),
Netto-Bauland ¹ :	13,4 ha (46 %),
Grundflächenzahl ² :	0,50,
Geschossflächenzahl:	2,40.

¹) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

²) Berechnung der Grundflächenzahl nur für Hauptgebäude ohne Garagen, Stellplätze, Nebenanlagen etc.

Die für die Bedarfsprognose angenommenen Flächen und Nutzungen der konzipierten Bebauung sind in Tab. 66 dargestellt.



Abb. 64: Ausschnitt aus dem Entwurf des Lageplans zum Aufstellungsbeschluss des Bebauungsplans B919 zum Gebiet Am Römerhof (Quelle: Stadtplanungsamt, 19.04.2018).

Tab. 66: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Am Römerhof.

Nutzung	Geschossfläche		Energiebezugsfläche*		Dachflächen mit Solarpotenzial	
	m ²	Anteil	m ²	Anteil	m ²	Anteil
Wohnen	202.940	65%	162.350	62%	45.500	68%
GHD	50.450	16%	44.080	17%	0	0%
Öffentlich	42.040	13%	36.730	14%	15.000	22%
Bestand GHD	19.080	6%	16.670	6%	6.600	10%
Gesamt	314.510	100%	259.830	100%	67.100	100%

* Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.

4.2 Energetische Bewertung des Städtebaus

Die energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs beruht insbesondere auf der Beurteilung der Kompaktheit der Baukörper, der Orientierung der Fassaden und der Verschattungssituation der Gebäude und zielt darauf ab, günstige städtebauliche Bedingungen für eine Minimierung der Wärmeverluste, für die Optimierung der

natürlichen Belichtung und der passiv-solaren Wärmegewinne sowie für ein angenehmes, sommerliches Außenklima zu schaffen.

Der erste Entwurf für ein städtebauliches Bild, der aus dem Workshop des Stadtplanungsamts im März 2018 hervor ging, sieht eine 6-geschössige Blockrandbebauung und 3-geschössige Innenhof-Bebauung vor. Das mittlere A/V-Verhältnis der 13 Baublöcke liegt mit Werten zwischen 0,26 und 0,35 im unteren Bereich und bescheinigt eine sehr gute Kompaktheit der Baukörper.



Abb. 65: Zwischenstand des Entwurfs des Lageplans mit mittleren A/V-Verhältnissen der einzelnen Baublöcke und deren Bezeichnungen (Quelle: Stadtplanungsamt, 19.04.2018).

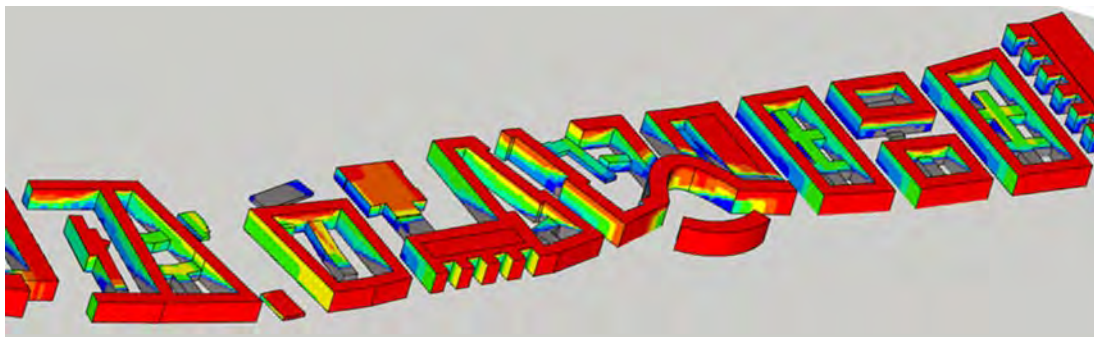


Abb. 66: Besonnungsstudie anhand eines 3-D-Modells des Entwurfs des Lageplans für den 17. Januar. Abbildung zeigt den Blick aus Südwesten

Eine Besonnungsstudie, die anhand eines 3-D-Modells für den 17. Januar durchgeführt wurde, zeigt eine sehr gute Besonnung der Süd-Fassaden und eine meist gute Besonnung der Westfassaden. Für die Mehrzahl der Wohnungen kann bei mehrseitiger Belichtung eine Stunde Besonnung am 17.01. in mindestens einem Aufenthaltsraum sichergestellt werden. Allerdings gibt es vor allem bei der Innenhof-Bebauung schlecht besonnene Bereiche.

Bei einer Detailbetrachtung der Blöcke B, C, D und E wird deutlich, dass die Fassaden der Innenhof-Bebauung sowie die Ost- und Westfassaden, die sich jeweils an den südlichen Blockrand anschließen, am 17. Januar wenig bis gar nicht besonnt werden

(siehe Abb. 67). Das Gleiche gilt für die gezahnte Bebauung (Block A) entlang des Parkhauses (siehe Abb. 68).

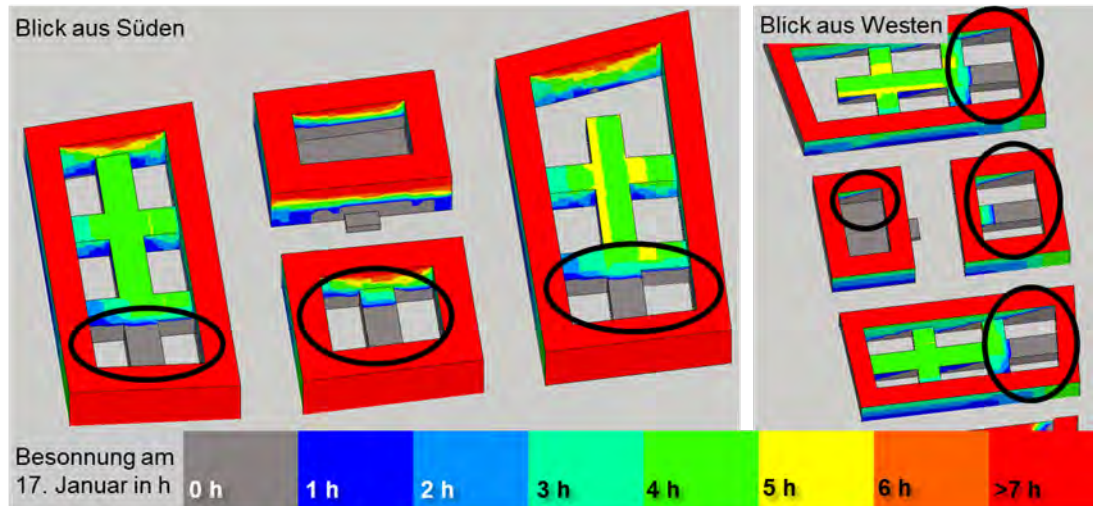


Abb. 67: Detail mit den Baublöcken B, C, D und E aus der Besonnungsstudie für den 17. Januar.

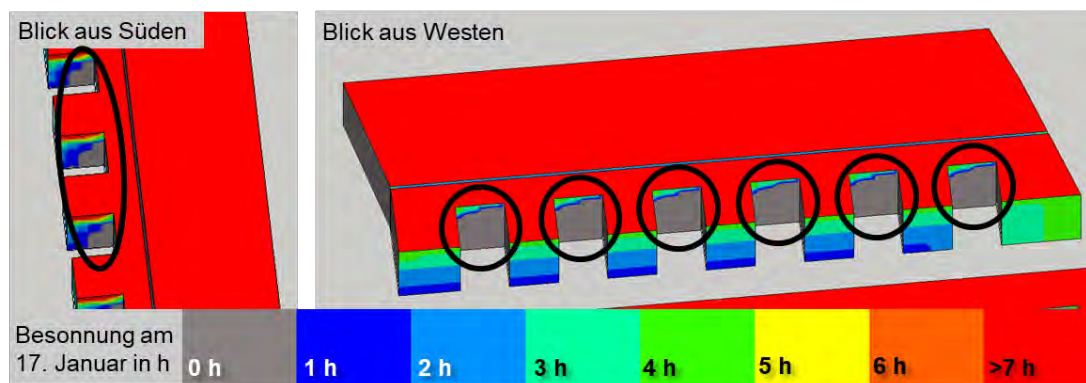


Abb. 68: Detail mit Block A aus der Besonnungsstudie für den 17. Januar.

Bei der weiteren Planung sollten dort unter Berücksichtigung der Nutzungen gegebenenfalls Optimierung vorgenommen werden. Folgende Lösungsmöglichkeiten können in Betracht gezogen werden:

- Wohnungs-Grundrisse sollten so gestaltet werden, das mindestens ein Aufenthaltsraum jeder Wohnung an eine gut besonnte Fassade grenzt (mehrsseitig belichtete Wohnungen);
- Innenhof-Bebauung, welche nur einseitig (Nord-Süd-Achse) an die Blockrandbebauung anschließt, sollte möglichst im Norden anschließen;
- schlecht besonnte Bereiche im südlichen Teil der Innenhofbebauung könnten ggf. wegfallen oder nach Norden verschoben werden;

- Innenhof vergrößern;
- die Geschossigkeit der südlichen Blockrandbebauung könnte reduziert werden;
- schlecht besonnte Bereiche der Innenhofbebauung könnten für gewerbliche Nutzung vorgesehen werden.

Am Beispiel der Baublöcke B, C und E wird in Abb. 69 auch die solare Einstrahlung auf die Fassaden während der Monate Februar und März dargestellt. In diesen Monaten tragen die solaren Warmegewinne am Meisten zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs bei. Das Ergebnis ist ähnlich wie für die Beurteilung der Besonnungsdauer: Vor allem die Ost- und West-Fassaden der Innenhof-Bebauung erhalten im Winter kein Sonnenlicht.

Eine wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards erfordert ein gutes A/V-Verhältnis, eine günstige Orientierung und eine geringe winterliche Verschattung der Hauptfassaden. Werden diese Kriterien berücksichtigt, ergibt sich die in Abb. 69 dargestellte Bewertung für eine wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards.

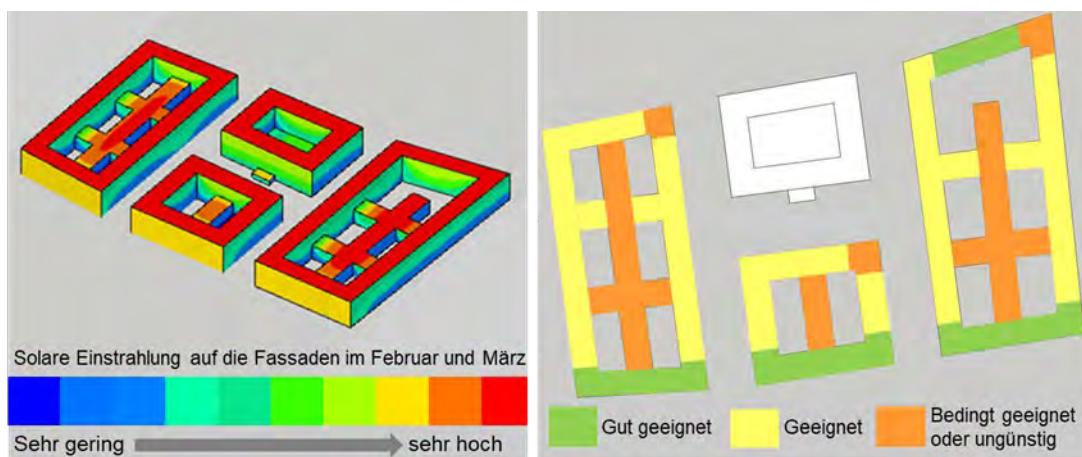


Abb. 69: Solarstudie zur Bestimmung der solaren Erträge in den Monaten Februar und März auf die Fassaden der Baublöcke B, C und E und die Eignung der unterschiedlichen Bereiche für die wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards

4.3 Energiebedarfsprognose

Basierend auf den bereits dargestellten Energiekennwerten und der konzipierten Bebauung wurde der Energiebedarf mittels der abgeschätzten Energiebezugsfläche aller Gebäude hochgerechnet. Dabei wurden unterschiedliche Ausführungen der Gebäude im Hinblick auf die Qualität der Gebäudehülle und die Art der Lüftungsanlage betrachtet.

Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tab. 67 zu finden, detaillierte Ergebnisse für Wärme-, Kälte- und Strombedarf in den nachfolgenden Unterabschnitten. Eine Aufteilung des Gesamtbedarfs auf alle berücksichtigten Nutzungsarten ist in Tab. 68 für die Ausführung der Gebäude im Frankfurter Mix¹ zu finden. Diese Ausführung wurde auch für die Bewertung der Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.

Tab. 67: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.

Qualität der Gebäudehülle der Neubauten	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH ²	Ffm.-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage der Neubauten	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf³ in MWh/a	17.550	14.990	11.020	13.260
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	68	58	42	51
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	1.315	1.123	825	993
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	4.388	3.748	2.755	3.315
Strombedarf⁶ in MWh/a	9.600	9.590	10.140	9.820
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	37	37	39	38
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	719	718	760	735
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	2.400	2.398	2.535	2.453
Bedarf Wärme u. Strom in MWh/a	27.150	24.580	21.160	23.080
rel. Anteil Wärmebedarf	65%	61%	52%	57%
rel. Anteil Strombedarf	35%	39%	48%	43%
Kältebedarf für Raumkühlung in MWh/a	380			

- 1) Frankfurter Mix bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, alle anderen Gebäude als KfW-EH 55. Diese Ausführung der Gebäude wurde für die Bewertung der Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.
- 2) Passivhaus-Gebäudehülle bei Mehrfamilienhäusern etwa wie KfW-EH 55, bei Reihenhäusern und Doppelhäusern etwa wie KfW-EH 40.
- 3) Der Wärmebedarf entspricht der erforderlichen Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwassererwärmung ab Wärmeerzeuger/Übergabe an die Gebäude.
- 4) Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 5) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.
- 6) Der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf des Gebiets für Stromanwendungen inkl. Elektromobilität.

Tab. 68: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen (summiert für Neubauten und Bestand) bei Ausführung der Neubauten im Frankfurter Mix für das Gebiet Am Römerhof.

Energienutzung	Energieform	Energiebedarf in MWh/a	Anteil
Wärmebedarf Raumheizung	Wärme	8.740	37%
Wärmebedarf Warmwasser	Wärme	4.520	19%
Wärmebedarf Prozesswärme	Wärme	0	0%
Kühlbedarf Gebäude	Kälte	380	2%
Kühlbedarf Prozesskälte	Kälte	0	0%
Nutzerstrom Haushalte	Strom	3.410	15%
Nutzerstrom öffentl. NWG	Strom	300	1%
Nutzerstrom GHD	Strom	3.310	14%
Nutzerstrom Industrie	Strom	0	0%
Hilfsstrom TGA Gebäude	Strom	710	3%
Allgemeinstrom Wohngebäude	Strom	320	1%
Strom E-Mobilität	Strom	1.700	7%
Strom öffentl. Beleuchtung	Strom	70	0%
Summe für gesamtes Gebiet		23.460	100%

4.3.1 Wärmebedarf

Die Aufteilung des prognostizierten Wärmebedarfs ist in Tab. 69 gezeigt. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesswärme identifiziert. Detaillierte Angaben zum prognostizierten Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung sind Tab. 70 in aufgeführt.

Tab. 69: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 183.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf Raumheizung u. Warmwasser in MWh/a	17.550	14.990	11.020	13.260
Relativ zu EnEV 2016	100%	85%	63%	76%
Anteil Warmwasser	26%	30%	41%	34%
Wärmebedarf Prozesswärme in MWh/a	0			
Anteil am ges. Bedarf	0%	0%	0%	0%
Gesamter Wärmebedarf in MWh/a	17.550	14.990	11.020	13.260

Tab. 70: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das Gebiet Am Römerhof.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 183.)

		Raumheizung				Warmwasser	
		EnEV16	EH 55	PH	Ffm.-Mix	ohne th. Solaranl.	mit th. Solaranl.
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude nach Nutzung							
Wohnen	MWh/a	6.410	5.110	3.330	4.580	4.080	2.470
GHD	MWh/a	3.040	2.290	880	1.870	290	180
Öffentlich	MWh/a	2.020	1.510	730	730	110	40
Bestand GHD	MWh/a	1.560	1.560	1.560	1.560	50	50
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	MWh/a	13.030	10.470	6.500	8.740	4.530	2.740
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	50,1	40,3	25,0	33,6	17,4	10,5
Prozentual	-	100%	80%	50%	67%	100%	60%
Kumulierte Wärmeleistungen* für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	kW	9.060	7.670	5.730	6.700	6.240	
Prozentual	-	100%	85%	63%	74%		

* Für die Abschätzung der Wärmeleistungen wurde davon ausgegangen, dass die Wärmeübergabe zur Raumheizung im Durchflussprinzip erfolgen wird, während zur Trinkwassererwärmung gebäude-/blockzentrale Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Die kumulierten Leistungen berücksichtigen keine gebietsweiten Gleichzeitigkeitseffekte. Die Wärmeleistung für Raumheizung basiert auf der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599.

4.3.2 Kältebedarf

Für das Gebiet wurde ein potenzieller Kältebedarf zur Raumkühlung von etwa 380 MWh/a (Kälteabgabe an die Gebäude) prognostiziert. Neben gebäude- oder wohnungszentralen Kälteanlagen kommt bei einem Erdwärme-gestützten Wärmeversorgungskonzept auch die passive Kühlung über das Erdreich zur Deckung dieses Bedarfs in Frage. Sofern wie im Konzept vorgesehen ein Supermarkt im Gebiet eröffnet wird, entsteht zusätzlich ein Bedarf an Prozesskälte zur Kühlung von Lebensmitteln und Getränken.

4.3.3 Strombedarf

Eine Übersicht des für das Gebiet prognostizierten Strombedarfs ist in Tab. 71 und Tab. 72 gezeigt.

Tab. 71: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 183.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
(Hilfs-) Strombedarf für Heizung u. Lüftung in MWh/a	500	490	1.040	710
Relativ zu EnEV 2016	100%	98%	208%	142%
Strombedarf für Nutzung* in MWh/a	7.400			
Strombedarf für E-Mobilität in MWh/a	1.700			
Gesamter Strombedarf in MWh/a	9.600	9.590	10.140	9.810
Anteil Heizung/Lüftung	5%	5%	10%	7%
Anteil Nutzung	77%	77%	73%	75%
Anteil E-Mobilität	18%	18%	17%	17%

* Strombedarf für Nutzung der Gebäude inkl. Allgmeinstrom und Straßenbeleuchtung

Tab. 72: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Am Römerhof.

(Erläuterungen zu Begriffen und Abkürzungen finden sich auf Seite 183.)

		Strom für Nutzung	Strom für E-Mobilität
Haushalte	MWh/a	3.770	620
GHD	MWh/a	2.830	830
Öffentlich	MWh/a	310	70
Bestand GHD	MWh/a	490	190
Ges. Quartier	MWh/a	7.400	1.710
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	28,5	6,6

4.4 Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale

In diesem Abschnitt werden die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger sowie die lokalen Erzeugungspotenziale lokaler (erneuerbarer) Energieträger im geplanten Quartier und in dessen nächster Umgebung dargelegt.

4.4.1 Elektrizität und Erdgas

Es wird angenommen, dass das Gebiet mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt wird und dass ausreichend elektrische Leistung zur Verfügung steht um ggf. auch eine Strom-basierte Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Ob auf Grund der E-Mobilität eine erhöhte Anschlussleistung notwendig ist, konnte nicht abgeschätzt werden. In jedem Fall wird empfohlen ein Lastmanagement-System für die Ladestationen vorzusehen.

Es wird angenommen, dass die Kapazität der bestehenden Erdgasleitungen in der Umgebung ausreicht um das Gebiet zu versorgen. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

Laut der Netzauskunft der Netzdienste Rhein-Main sind bislang wenige bestehende Abnehmer im Gebiet an das Erdgasnetz angeschlossen. Diese werden über eine Leitung mit DN 200 versorgt, welche aus Norden kommend unter dem Rebstockpark zwischen Weiher und Rebstockbad hindurch zum Kreisverkehr der Straße „Am Römerhof“ verläuft. Zwei weitere Erdgasleitungen befinden sich im Westen des Plangebiets. Zum einen ist die Liegenschaft „Am Römerhof 9“ (gehört zur Sportanlage Rebstock) über eine private Leitung versorgt, die parallel zur Straße „Am Römerhof“ aus Norden kommend verläuft. Zum anderen verläuft eine Leitung des öffentlichen Gasnetzes mit DN 300, die aus Norden kommend parallel zur Autobahn A5 nach Süden.

4.4.2 Fernwärme

Es wird angenommen, dass der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

Laut Auskunft der Mainova AG sowie der Netzdienste Rhein-Main befinden sich derzeit keine Fernwärmeleitungen im Baugebiet selbst. Jedoch befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft im Osten das Europaviertel, welches über die „City West Leitung 4“ an den Fernwärmeverbund angeschlossen ist.

Eine Fernwärmeleitung mit DN 100 endet momentan kurz vor der Straße „Am Römerhof“ (s. Kartenauszug in Abb. 70).

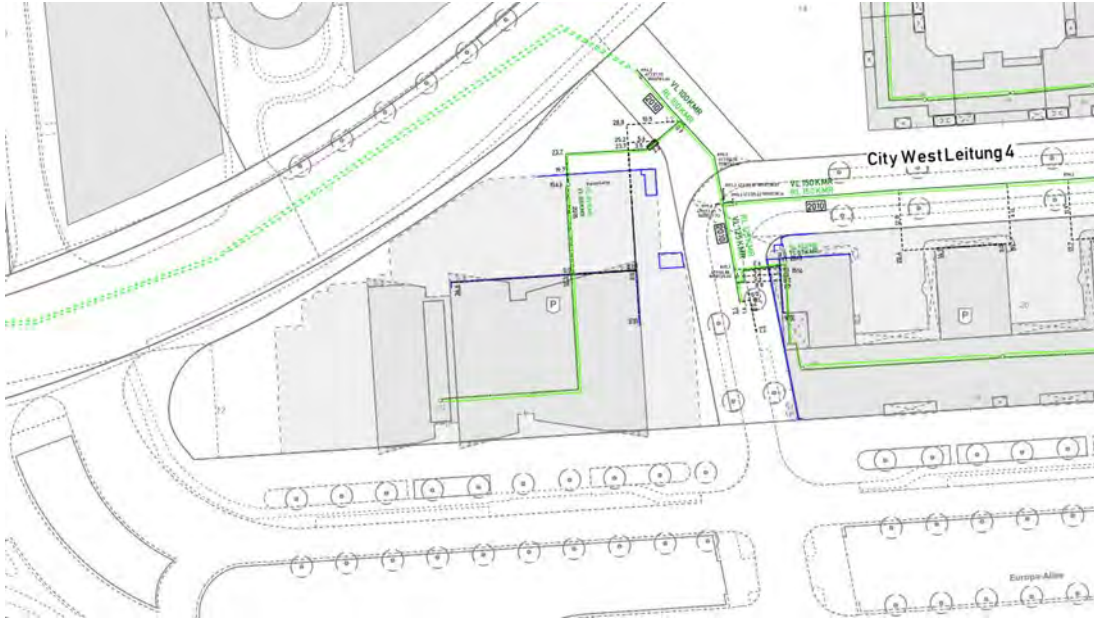


Abb. 70: Kartenauszug der Netzauskunft mit den bestehenden Fernwärmeleitungen im Europaviertel östlich des geplanten Quartiers (Quelle: Netzdienste Rhein-Main GmbH).

4.4.3 Abwasserwärme

Es wird angenommen, dass mittels Abwasserwärme aus dem großen Kanal im Plangebiet und Wärmepumpen ein hoher Anteil des prognostizierten Wärmebedarfs des geplanten Quartiers gedeckt werden kann. Es wird dringend empfohlen, weitere Schritte zur Vor-Planung dieser Versorgungsvariante einzuleiten.

Einen Überblick der potenziellen Möglichkeiten zur Abwärmenutzung im Quartier gibt das Abwärmekataster der Stadt Frankfurt. Ein entsprechender Auszug für das untersuchte Quartier ist in Abb. 71 gezeigt. Wie darin zu sehen ist, verlaufen zwei Abwasserkanäle aus Norden kommend durch das Baugebiet, die ein Potenzial zur Abwasserwärmenutzung aufweisen. Der aus Nord-Osten kommende größere Kanal hat ein Kastenprofil mit einer lichten Weite von 3,5 m und einer mittleren lichten Höhe von ca. 2,3 m. Die V-förmige Rinne des Kanals mit einem Gefälle von 1:5 zur Mitte hin ist mit einer 15 cm dicken Schicht Kanalklinker ausgekleidet. In dem von Norden nach Süden verlaufenden Teilabschnitt des Kanals ist kurz bevor der Kanal unter der Straße „Am Römerhof“ nach Westen abknickt bereits eine Anlage zur Abwasserwärmenutzung mit einem etwa 60 m langen Wärmetauscher und einer Entzugsleistung von ca. 300 kW (Heizen) installiert. Die Abkühlung des Abwassers ist bei dieser Anlage derzeit vertraglich auf maximal 1 K begrenzt.

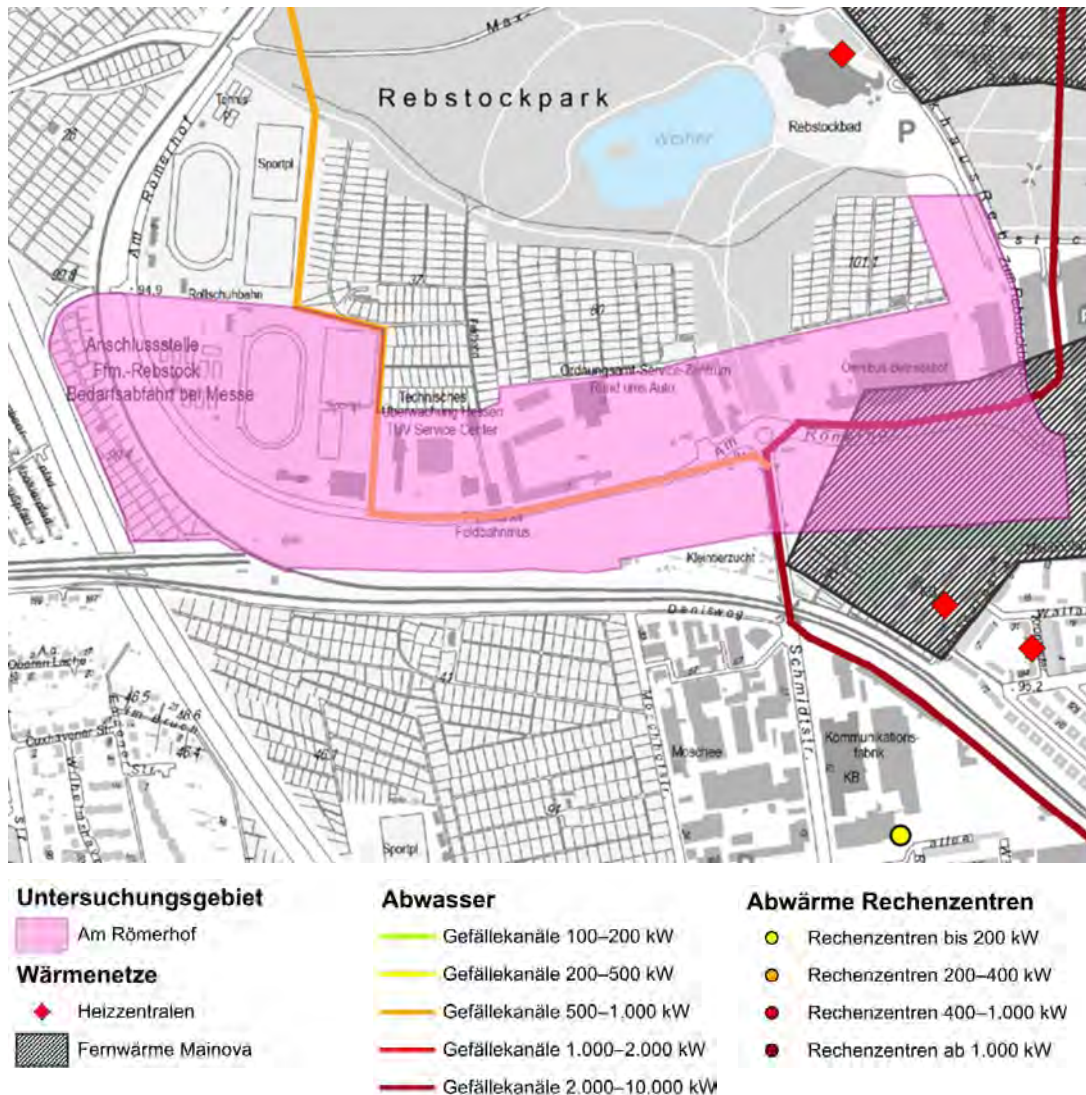


Abb. 71: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster für Frankfurt mit dem geplanten Quartier „Am Römerhof“ (Quelle: Energiereferat der Stadt Frankfurt, 2018).

Der aus Nord-Westen kommende kleinere Kanal mündet etwa auf halber Länge (West-Ost) des Plangebiets in den größeren Kanal. Der in der Straße „Am Römerhof“ von Westen nach Osten verlaufende Teilabschnitt des kleineren Kanals hat ein Ei-Profil mit einer lichten Breite von 1,2 m und einer lichten Höhe von 1,8 m. Der aus Norden kommende Teilabschnitt hat ein Rundprofil mit einer Nennweite von 1200 mm. Gemäß den Vorgaben der Stadtentwässerung der Stadt Frankfurt sollte in beiden Teilabschnitten möglichst kein innenliegender Wärmetauscher vorgesehen werden. Eine Wärmenutzung im Bypass ist jedoch möglich.

Laut Aussage des Ingenieurbüros ECO.S kann im Fall des größeren Kanals von einem Tagesmittel des Trockenwetterabfluss von 1.800 m³/h und im Fall des kleineren Kanals von 360 m³/h ausgegangen werden. Die minimale Abwassertemperatur kann mit 12 °C angesetzt werden. Die Eingangsgrößen sowie die sich ergebenden möglichen Entzugsleistungen sind in Tab. 73 aufgeführt. Darin ist auch zu sehen, dass die bestehende Anlage mit einer Entzugsleistung von ca. 300 kW voraussichtlich nur zu einer geringen Abkühlung des Abwassers von etwa 0,2 K führt. Für die mögliche Entzugsleistung der hier betrachteten neu zu errichtenden Anlage im großen Kanal, die sich stromabwärts der bestehenden Anlage befinden wird, wird daher mit einer möglichen Abkühlung des Abwassers von 2 K gerechnet. Für die letzten Endes aus der entzogenen Wärme erzielbare nutzbare Heizleistung ist das nachgeschaltete Wärmeversorgungssystem, insbesondere die Vor- und Rücklauftemperaturen, von entscheidender Bedeutung. Für die betrachteten quartierszentralen Versorgungssysteme wurde nur der große Kanal berücksichtigt. Ein Abwärmennutzung im kleinen Kanal erschien eher für eine dezentrale Versorgung beispielsweise des großen Schulgebäudes im Westen des Quartiers geeignet, welches direkt an den Kanal grenzt.

Tab. 73: Angenommene Eingangsgrößen und Ergebnisse der Berechnung der möglichen Entzugsleistungen zur Abwasserwärmenutzung für Heizzwecke.

		Vorhandene Anlage im großen Kanal	Potenzial einer neuen Anlage im großen Kanal	Potenzial einer neuen Anlage im kleinen Kanal*
Abwasser Eintrittstemperatur	°C	12,0	11,8	12,0
Abwasser Austrittstemperatur	°C	11,8	9,8	10,0
Tagesmittel Trockenwetterabfluss	m ³ /h	1.800	1.800	360
Sicherheitsfaktor	-	0,70	0,70	0,70
Entzugsleistung	kW	293	2.926	585
Max. Nutzungsstunden	h/a	8.760	8.760	8.760
Max. jährl. Entzugsmenge	MWh/a	2.567	25.632	5.125

* Das Potenzial der neuen Anlage im kleinen Kanal wurde für die betrachteten Quartierszentralen Wärmeversorgungssysteme nicht berücksichtigt.

4.4.4 Erdwärme

Es wird angenommen, dass eine flächendeckende Erschließung der Baugrundstücke und der öffentlichen Verkehrsflächen mit Erdwärmesonden möglich ist. Jedoch wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit der Genehmigung sowie der wirtschaftlichen Umsetzung der Wärmeversorgung mit Erdwärme und Wärmepumpen gegenüber der Wärmeversorgung mit Abwasserwärme und Wärmepumpen geringer ist. Daher wird empfohlen, die Wärmeversorgung des Gebiets mit Siedlungs-Abwasser vorrangig anzustreben.

Standortbewertung

Laut dem Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen (GruSchu) des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie werden das Plangebiet und seine Umgebung auf Grund einer „weiteräumigen Grundwasserstockwerksgliederung“ als „hydrogeologisch ungünstig“ eingestuft. Damit ist eine flächendeckende Erschließung mit Erdwärmesonden zwar nicht ausgeschlossen, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit der Umsetzbarkeit verringert. Ggf. ist mit Sonderauflagen für Niederbringung und Betrieb der Erdwärmesonden zu rechnen. Eine genauere Einschätzung ist nur nach erfolgter Erkundung des Gebiets möglich. Vor diesem Hintergrund positiv zu bewerten ist die Tatsache, dass laut Aussagen des HLNUG und der Unteren Wasser- und Bodenschutzbehörde im Plangebiet auf der Liegenschaft „Am Römerhof 19“ bereits eine geothermische Anlage mit 24 Erdwärmesonden installiert wurde. Die Erkundungsbohrung der bestehenden Anlage ergab, dass die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs bis 100 m Tiefe ca. 1,8 W/(m K) und die Temperatur in 100 m Tiefe ca. 15 °C betragen. Bei den bisher durchgeführten Bohrungen bis in eine Tiefe von 100 m wurde offenbar auch kein artesisch gespanntes Grundwasser angetroffen.

Im Norden des Plangebiets befindet sich ein großflächiges Landschaftsschutzgebiet, in dem unter anderem der Rebstockpark und mehrere Kleingarten-Anlagen liegen. Ob dies ein Hindernis für eine Genehmigung darstellt, muss geprüft werden. Im Süden des Gebiets an die Straße „Am Römerhof“ angrenzend befindet sich eine Ausgleichsfläche zum Artenschutz, welche nicht im GruSchu verzeichnet ist. Diese Fläche kann lt. Aussage der Unteren Naturschutzbehörde für eine Nutzung ausgeschlossen werden.

Verfügbare Flächen

Zur Bestimmung der verfügbaren Flächen wird davon ausgegangen, dass ein einzelnes Erdwärmesonden-Feld gekoppelt mit einer Wärmepumpe zur dezentralen Versorgung einzelner Gebäude dient oder unter Umständen noch Wärme mit der entsprechenden Vorlauftemperatur in ein Nahwärmenetz einspeist. Über das

gesamte Baugelbiet zusammenhängende und vernetzte Erdwärmesonden-Felder werden nicht betrachtet. Unter Berücksichtigung der nicht in Frage kommenden Flächen, eines Abstands zwischen den Erdwärmesonden-Feldern untereinander und zum bereits existierenden Feld und der Eignung der geplanten Gebäude zur dezentralen Versorgung (möglichst mit Wärme- und Kältebedarf) wurden basierend auf dem vorliegenden Entwurf des Lageplans (s. Abb. 64) folgende Flächen zur Errichtung von Erdwärmesonden identifiziert:

- Grundfläche von ca. 20.000 m² (teilweise überbaut) im Westen des geplanten Quartiers (auf dem Gelände der geplanten weiter-führenden Schule)
- Grundfläche von ca. 10.000 m² Fläche (teilweise überbaut) im Westen des geplanten Quartiers (östlich des Feldbahn-Geländes)
- Grundfläche von ca. 20.000 m² (teilweise überbaut) in der Mitte des geplanten Quartiers (nördlich des Kreisverkehrs bis in den Rebstockpark hinein)
- Grundfläche von ca. 5.000 m² (teilweise überbaut) im Osten des geplanten Quartiers (auf dem Gelände der geplanten Grundschule)
- Grundfläche von ca. 5.000 m² (teilweise überbaut) im Osten des geplanten Quartiers entlang der Straße „Am Rebstockbad“

Technisches Potenzial

Für die Abschätzung des technischen Potenzials wurden nachfolgende Annahmen / Vereinfachungen getroffen. Die Ergebnisse sind in Tab. 74 dargestellt.

- Für die Nutzung der Erdwärme werden nur Erdwärmesonden betrachtet.
- Die maximal mögliche Entzugsleistung der Erdwärmesonden wurde vereinfacht mittels der Vorgaben für kleine Anlagen (< 30 kW) aus der Richtlinie VDI 4640-2:2001-09 berechnet. Die für große Anlagen empfohlene detaillierte analytische oder numerische Auslegungs-Berechnung konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht erfolgen. Diese sollte bei der späteren Planung unbedingt durchgeführt werden.
- Zwischen den einzelnen Sonden eines Feldes wurde ein Abstand von ≥ 10 m angesetzt. Die ggf. entstehenden Wechselwirkungen mit benachbarten Anlagen zur Erdwärmennutzung wurden nicht näher betrachtet.

Tab. 74: Angenommene Eingangsgrößen und Ergebnisse der Berechnung der maximal möglichen Entzugsleistungen und -wärmemengen aus der Erdwärmenutzung für Heizzwecke.

verfügbare Fläche	m ²	20.000	10.000	5.000
Fläche pro Erdwärmesonde	m ²	100	100	100
Anzahl der Sonden	-	200	100	50
Bohrtiefe der Sonden	m	100	100	100
max. spez. Entzugsleistung	W/m	60	60	60
max. Entzugsleistung ges. Feld	kW	1.200	600	300
max. spez. entzog. Wärmemenge	kWh/(m a)	150	150	150
max. entzog. Wärmemenge ges. Feld	MWh/a	3.000	1.500	750

Regeneration des Erdreichs

Für große Erdwärmesonden-Felder ist eine Regeneration des Erdreichs in der Regel empfehlenswert um mittel- bis langfristig die Auskühlung des Erdreichs und damit einen Abfall der Entzugsleistung zu verhindern. Im geplanten Quartier kommen dazu in Frage:

- Abwärme aus Raumkühlung der Gebäude
- Überschüsse solarthermisch erzeugter Wärme in den Sommermonaten
- Überschüsse der Abwasser-Wärme
- ggf. Abwärme aus zukünftigem Rechenzentrum

4.4.5 Solarenergie

Verfügbare Flächen

Basierend auf dem vorliegenden Entwurf des Lageplans (s. Abb. 64) und der vorläufigen Berechnung der Grundflächen wurden folgende Flächen für die Nutzung von Solarenergie identifiziert:

- Flachdächer mit einer Bruttofläche von ca. 12.600 m² der geplanten weiterführenden Schule im Westen des Quartiers
- Flachdächer mit einer Bruttofläche von ca. 2.400 m² der geplanten Grundschule im Osten des Quartiers
- Flachdächer mit einer Bruttofläche von ca. 45.500 m² aller geplanten Neubauten für Wohnen und GHD
- Flachdächer mit einer Bruttofläche von ca. 6.600 m² der verbleibenden gewerblich genutzten Bestandsgebäude

- Flachdächer mit einer Bruttofläche von ca. 13.600 m² einer möglichen Nicht-Wohn-Bebauung (angenommen mit einer GRZ von 0,8) im Kurvenbereich der Straße „Am Römerhof“ südwestlich der Sportanlage Rebstock (bislang nicht im Entwurf des Lageplans zum Aufstellungsbeschluss des Bebauungsplans B919 vorgesehen)

Um daraus nutzbaren Nettoflächen nach Abzug von nicht nutzbaren Anteilen für Schächte, Fenster/Oberlichter, Randabstände etc. zu bestimmen, wurden die Annahmen in Kapitel I verwendet. Da nicht abzusehen ist, wann und ob die Dachflächen der möglichen zusätzlichen Bebauung im Südwesten des Quartiers und der bestehenden gewerblich genutzten Gebäude genutzt werden können, werden diese Dachflächen nur für die Prognose der möglichen Entwicklung der Quartiersversorgung bis 2050 berücksichtigt.

Zusätzlich zu den genannten Dachflächen bieten sich große Teile der nach Süd-Süd-Ost orientierten Fassadenflächen insbesondere zur Nutzung mit Photovoltaik-Generatoren an. Die hier verfügbare Brutto-Fläche wird auf ca. 5.400 m² geschätzt, wovon etwa 60 % mit Generatoren belegt werden könnte. Da eine solche Nutzung jedoch sehr stark von den bautechnischen und gestalterischen Vorgaben der Architekten abhängt, wird diese Fläche bei der folgenden Potenzialabschätzung nicht berücksichtigt.

Technisches Potenzial Photovoltaik

Die Ergebnisse der Berechnung der Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen sind in Tab. 75 aufgeführt.

Tab. 75: Ergebnisse der Berechnung der Strom-Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen für das geplante Quartier „Am Römerhof“.

	Neubau Schule West	Neubau Schule Ost	Neubauten Wohnen u. GHD	Gewerbe Bestand*	Neubauten Freifläche West* (GRZ 0,8)
Brutto-Dachfläche in m²	12.600	2.400	45.500	6.600	13.600
Generatorfläche in m²	9.131	1.739	23.553	4.783	9.856
Peakleistung in kW	1.507	287	3.886	789	1.626
Jahresertrag in MWh/a	1.281	244	3.305	671	1.383

* Diese Dachflächen werden nur für die Prognose der möglichen Entwicklung der Energieversorgung des Quartiers bis 2050 berücksichtigt (siehe Abs. 1.6.3).

Technisches Potenzial Solarthermie

Die Ergebnisse der Berechnung der Erzeugungspotenziale mit Solarthermie-Anlagen sind in Tab. 76 aufgeführt.

Tab. 76: Ergebnisse der Berechnung der Wärme-Erzeugungspotenziale mit Solarthermie-Anlagen für das geplante Quartier „Am Römerhof“.

	Neubau Schule West	Neubau Schule Ost	Neubauten Wohnen u. GHD	Gewerbe Bestand*	Neubauten Freifläche West* (GRZ 0,8)
Brutto-Dachfläche in m²	12.600	2.400	45.500	6.600	13.600
Brutto-Kollektorfl. in m²	3.063	583	7.900	1.604	3.306
spez. Ertrag in kWh/(m² a)	376	376	376	376	376
Jahresertrag in MWh/a	1.152	219	2.972	604	1.244

* Diese Dachflächen werden nur für die Prognose der möglichen Entwicklung der Energieversorgung des Quartiers bis 2050 berücksichtigt.

4.5 Betrachtete Versorgungsvarianten

Neben einer Referenzvariante wurden – abgestimmt auf die lokalen Potenziale erneuerbarer Energien und die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger – verschiedene Versorgungsvarianten für das Gebiet untersucht. In Tab. 77 ist eine Übersicht der betrachteten Varianten zu finden. In diesem Abschnitt werden die technischen Details der Varianten näher erläutert.

Tab. 77: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Am Römerhof.

Akronym	Kurzbeschreibung	3.L/VL/RL in °C	Bemerkungen
GEBÄUDEZENTRALE VARIANTEN			
Gas-BWK +ST	Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie (Referenz)	-/65/45	Referenzvariante mit solarthermischer Anlage zur Trinkwassererwärmung.
GEBIETSZENTRALE VARIANTEN			
FernW (+PV)	Anschluss an den Fernwärme- verbund der Mainova AG ggf. mit Photovoltaik-Anlagen	-/75/50	Gebäude optional mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.
NahW1 +PV	Nahwärme mit zentr. AW-WP, Gas-BHKW und Gas-SpK sowie Photovoltaik-Anlagen	-/75/55	Klassische Betriebsweise des Nahwärme-Netzes, konventionelle Haustechnik
NahW2 +PV	Nahwärme mit zentr. AW-WP und Gas-SpK mit zentr. ST- Kollektoren sowie Photovoltaik-Anlagen	-/60/30	Reduzierte Vorlauf-Temperatur des Wärmenetzes zur besseren Einbin- dung der AW-WP und zentr. ST- Kollektorfeld auf Schule im Westen, Flächenheizungen sowie angepasste TW-Verteilung in Gebäuden erforderlich

NahW3 +PV	Nahwärme mit zentr. AW-WP und Gas-SpK mit zentr. ST-Kollektoren sowie Photovoltaik-Anlagen	60/40/30	Trennung von Vorlauf WW-Bereitung und Vorlauf Heizung zur Optimierung der Einbindung der AW-WP und zentr. ST-Kollektorfeld, Flächenheizungen sowie angepasste TW-Verteilung in Gebäuden erforderlich
NahW4 +PV	Nahwärme mit zentr. AW-WP und Gas-SpK mit zentr. ST-Anlage sowie dez. Booster-WP sowie Photovoltaik-Anlagen	-/40/25	Siehe NahW2, jedoch dez. WW-Bereitung in Gebäuden erforderlich (z.B. Booster-WP)

4.5.1 Variante „Gas-BWK+ST“: Gas-Brennwertkessel und Solarthermie (Referenz)

Die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzlichen Mindestanforderungen erfolgt mittels gebäudezentralen Gas-Brennwertkesseln und solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung:	88 % Gas-Brennwertkessel. (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	12 % solarthermische Anlage zur WW-Bereitung
Wärmenetz:	nicht benötigt.	
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.	
	Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block.
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik müssen mindestens den Anforderungen an ein KfW Effizienzhaus 55 entsprechen, alle anderen effizienzsteigernden Maßnahmen sind optional.	
Zukunftsperspektive:	Keine.	

4.5.2 Variante „FernW“: Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem

Die Wärmeversorgung aller Abnehmer erfolgt über ein Wärmenetz, welches an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG angeschlossen ist. Detailliertere Information zu dieser Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung:	100 % Fernwärme der Mainova AG,
Wärmenetz:	2-Leiter Wärmenetz (Kunststoffmantelrohr).

Vor-/Rücklauftemperatur:	75 °C / 50 °C (gleitend),
Trassenlänge:	ca. 2,1 km Verteilnetz,
Hausanschlüsse:	115 Anschlüsse, insges. ca. 2,3 km Hausanschlussleitungen
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für ein Gebäude.
Sonstige Anforderungen:	Keine, Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, möglichst mit Flächenheizung.
Zukunftsperspektive:	Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im Fernwärmeverbund der Mainova AG reduzieren sich auch die Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung des Quartiers.

4.5.3 Varianten „NahW“: gebietszentrale Versorgung mit Nahwärmenetz

Für das Quartier wurde ein Wärmenetz mit den folgenden Eckdaten konzipiert:

• Anzahl der Abnehmer:	115
• zu liefernde Wärme (nach ÜGS ¹³):	13.260 MWh/a
• Wärmebezugsdichte:	715 MWh/(ha a)
• Gleichzeitigkeitsfaktor ¹⁴ :	1,0
• zu liefernde Wärmeleistung (nach ÜGS):	6,7 MW
• Trassenlänge Verteilnetz:	2.100 m
• Trassenlänge Hausschlüsse:	2.300 m

Es folgt eine kurze Beschreibung der Nahwärme-Varianten inkl. Abschätzung der Erzeuger-Nennleistungen und Deckungsanteile. Es wird von einer modularen Ausstattung der Nahwärmezentralen mit Wärmeerzeugern ausgegangen, wodurch sowohl eine redundante Wärmeversorgung als auch eine Anpassung der Leistung an den jeweiligen Baufortschritt des Gebiets bzw. des Nahwärmenetzes möglich ist. Die

¹³ Übergabestation

¹⁴ Da bei den hier zu Grunde gelegten sehr guten Gebäude-Energiestandards (Ffm.-Mix) im Hinblick auf die zu liefernde Wärmeleistung für die Raumheizung ein Gleichzeitigkeitsfaktor nahe eins zu erwarten ist, und die kumulierte Wärmeleistung zur Raumheizung mittels der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599 berechnet wurde und nicht mittels der etwas höheren Norm-Heizlast nach DIN EN 12831, und da zudem die kumulierte Leistung für die Raumheizung jene für die Trinkwassererwärmung übersteigt, wurde zur Vordimensionierung des Wärmeversorgungssystems im Vorrang-Betrieb die kumulierte Wärmeleistung zur Raumheizung mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 1,0 verwendet.

benötigte Grundfläche der Wärmezentrale beträgt je nach Variante der Wärme-erzeugung zwischen 320 m² und 380 m² bei einer Mindestraumhöhe von 4,5 m.

Variante „FernW“: Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem

In dieser Variante wird die Wärme an alle Abnehmer im Quartier über ein 2-Leiter Wärmenetz mit einer Vor- bzw. Rücklauf-temperatur von 75 °C bzw. 55 °C verteilt. Das Wärmenetz ist voraussichtlich über eine zentrale Übergabestation an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG angeschlossen.

Variante „NahW1“: Abwasser-Wärmepumpen mit Gasmotor-BHKWs und Gas-Spitzenlastkesseln

In dieser Variante wird die Wärme an alle Abnehmer im Quartier über ein 2-Leiter Wärmenetz mit einer Vor- bzw. Rücklauf-temperatur von 75 °C bzw. 55 °C verteilt. In der Nahwärmezentrale werden Abwasser-Wärmepumpen (AW-WP) und Gasmotor-Blockheizkraftwerke (Gas-BHKW) zur Deckung von Grund- und Mittellast eingesetzt. Die Wärmepumpen werden nur gekoppelt mit den BHKWs betrieben, die BHKWs kommen im Grundlastbereich auch ohne WPs zum Einsatz. Gas-Kessel dienen zur Deckung der Spitzenlast und als Redundanz. Alle Erzeuger können entweder direkt ins Netz einspeisen oder einen Pufferspeicher beladen. Der von den BHKWs erzeugte Strom wird zur Deckung des Strombedarfs der Wärmepumpen eingesetzt oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist.

Tab. 78: Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW1“.

Erzeuger-Typ	Installierte Nennleistung	Erzeugte Energiemenge	Deckungs-anteil Wärmeerz.	Volllaststunden	Benötigte/ Strommenge (o. Hilfsstrom)
AW-WPs	1,6 MW	6.251 MWh	44%	3.910 h	2.232 MWh
Gas-BHKWs	1,6 MW (th.) 1,3 MW (el.)	6.483 MWh 5.186 MWh	46%	4.050 h	-
Gas-Kessel	6,7 MW	1.473 MWh	10%	220 h	-

Variante „NahW2“: Abwasser-Wärmepumpen mit zentralem solarthermischem Kollektorfeld und Gas-Spitzenlastkesseln

In dieser Variante wird die Wärme an alle Abnehmer über ein 2-Leiter Netz mit einer mittleren Vor- bzw. Rücklauf-temperatur von 60 °C bzw. 30 °C verteilt. In der Nahwärmezentrale werden Abwasser-Wärmepumpen (AW-WP) zur Deckung der Grund- und Mittellast eingesetzt. Alternativ kann ein zentrales solarthermisches Kollektorfeld mit einer Bruttokollektorfläche von 3.060 m² auf der Schule im Westen ein Teil dieser Last decken. Gas-Kessel dienen zur Deckung der Spitzenlast und als

Redundanz. Alle Erzeuger können entweder direkt ins Netz einspeisen oder einen Pufferspeicher beladen.

Tab. 79: Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW2“.

Erzeuger	Installierte Nennleistung	Erzeugte Wärmemenge	Deckungsanteil Wärmeerz.	Volllaststunden	Benötigte/ Strommenge (o. Hilfsstrom)
AW-WPs	4,4 MW	12.066 MWh	87%	2.740 h	4022 MWh
ST-Kollektoren		1.301 MWh	9%	-	-
Gas-Kessel	6,7 MW	583 MWh	4%	90 h	

Variante „NahW3“: Abwasser-Wärmepumpen mit zentralem solarthermischem Kollektorfeld und Gas-Spitzenlastkesseln

In dieser Variante wird die Wärme an alle Abnehmer über ein 3-Leiter Netz verteilt, mit einem Vorlauf zur Trinkwassererwärmung (mittlere Temperatur von 60 °C), einem zweiten Vorlauf zur Raumheizung (mittlere Temperatur von 40 °C) und einem Rücklauf (mittlere Temperatur von 30 °C) verteilt. In der Nahwärmezentrale werden Abwasser-Wärmepumpen (AW-WP) zur Deckung der Grund- und Mittellast eingesetzt. Alternativ kann ein zentrales solarthermisches Kollektorfeld mit einer Bruttokollektorfläche von 3.060 m² auf der Schule im Westen ein Teil dieser Last decken. Gas-Kessel dienen zur Deckung der Spitzenlast und als Redundanz. Alle Erzeuger können entweder direkt ins Netz einspeisen oder einen Pufferspeicher beladen.

Tab. 80: Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW3“.

Erzeuger	Installierte Nennleistung	Erzeugte Wärmemenge	Deckungsanteil Wärmeerz.	Volllaststunden	Benötigte/ Strommenge (o. Hilfsstrom)
AW-WPs	3,8 MW	11.778 MWh	83%	3.100 h	3166 MWh
ST-Kollektoren		1.519 MWh	11%		
Gas-Kessel	6,7 MW	831 MWh	6%	120 h	

Variante „NahW4“: Abwasser-Wärmepumpen mit zentralem solarthermischem Kollektorfeld und Gas-Spitzenlastkesseln

In dieser Variante wird die Wärme an alle Abnehmer über ein 2-Leiter Netz mit einer mittleren Vor- bzw. Rücklauf (Temperatur von 40 /25 °C) verteilt. In der Nahwärmezentrale werden Abwasser-Wärmepumpen (AW-WP) zur Deckung der Grund- und Mittellast eingesetzt. Alternativ kann ein zentrales solarthermisches Kollektorfeld mit

einer Bruttokollektorfläche von 3.060 m² auf der Schule im Westen ein Teil dieser Last decken. Die zentralen Erzeuger können entweder direkt ins Netz einspeisen oder einen Pufferspeicher beladen. Zusätzlich werden bei allen Abnehmern dezentrale Booster-Wärmepumpen vorgesehen, welche die Trinkwassertemperatur und zusätzliche Leistung zur Raumheizung bereitstellen. Zur Deckung der Lastspitzen sind die Booster-Systeme mit einem elektrischen Heizstab ausgerüstet.

Tab. 81: Übersicht der abgeschätzten Gesamt-Energiemengen und -Leistungen der zentralen und dezentralen Erzeuger der Variante „NahW4“.

Erzeuger	Installierte Nennleistung	Erzeugte Wärmemenge	Deckungsanteil Wärmeerz.	Volllaststunden	Benötigte Strommenge (o. Hilfsstrom)
zentr. AW-WPs	3,8 MW	10.706 MWh	78%	2.820 h	2.276 MWh
zentr. ST-Kollektoren	-	1.635 MWh	12%	-	-
dez. Booster-WPs	2,7 MW	899 MWh*	7%	1.378 h	899 MWh
dez. Booster-Heizstäbe	2,5 MW	408 MWh	3%	160 h	408 MWh

* Entspricht der Wärmemenge, die zusätzlich zu der durch die Abwasser-Wärmepumpen erzeugten Wärmemenge durch die Booster-Wärmepumpen erzeugt wird.

4.6 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Eine tabellarische Übersicht der prognostizierten Energie-Bilanz von drei der Varianten ist in Tab. 82 gegeben. Eine entsprechende graphische Darstellung der Ergebnisse mit allen Varianten ist in Abb. 72 zu finden. Die daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen aller Varianten sind für unterschiedliche Bezugsjahre in Abb. 73 dargestellt. Die zugehörige tabellarische Übersicht der Ergebnisse ist für drei der Varianten in Tab. 83 zu finden.

Tab. 82: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Am Römerhof.

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK+ST	FernW +PV	NahW3 +PV
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Ffm.-Mix ¹	Ffm.-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix ²	Mix ²
Energieabgabe ³ in MWh/a	24.960	23.460	23.460
Energieeinsatz ⁴ in MWh/a	= 25.360	25.030	25.150
davon Wärme/Kälte aus lokalen Energieträgern ⁵ in MWh/a	+ 2.080	290	10.550
davon Strom aus lokalen Energieträgern in MWh/a	+ 0	3.000	2.730
Autarkiegrad durch lokale Energieträger ^{6,7}	8%	13%	53%
zusätzlicher Strom ins Netz eingespeist in MWh/a	0	850	220
davon Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	+ 23.280	21.740	11.870
bez. auf EBF ⁸ in kWh/(m ² a)	90	84	46
bez. auf NBL ⁹ in MWh/(ha a)	1.744	1.628	889
bez. auf Einw. in kWh/(EW a)	5.820	5.435	2.968
anteilig bez. auf Referenz	100%	93%	51%
bez. auf Energieabgabe	0,93	0,93	0,51

- 1) Frankfurter Mix (Ffm.-Mix) bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, restliche Gebäude haben KfW-EH 55-Hülle und Abluftanlage.
- 2) Entsprechend dem Frankfurter Mix der Energiestandards haben die KfW-EH 55 Abluftanlagen und die Passivhäuser Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung.
- 3) Der Wärme-/Kältebedarf entspricht der Nutzenergieabgabe ab Erzeuger/Übergabe an die Gebäude, der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf der Gebäude.
- 4) Der Energieeinsatz entspricht der Summe aller zur Deckung des Energiebedarfs im Quartier erzeugten bzw. von extern zugeführten erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger.
- 5) Fernwärme wird nicht als lokaler Energieträger betrachtet.
- 6) Der Autarkiegrad entspricht dem relativen Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger (Solar-, Umwelt-, Wasser-, Windenergie) sowie Abwärme am gesamten Energieeinsatz.
- 7) Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 8) Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

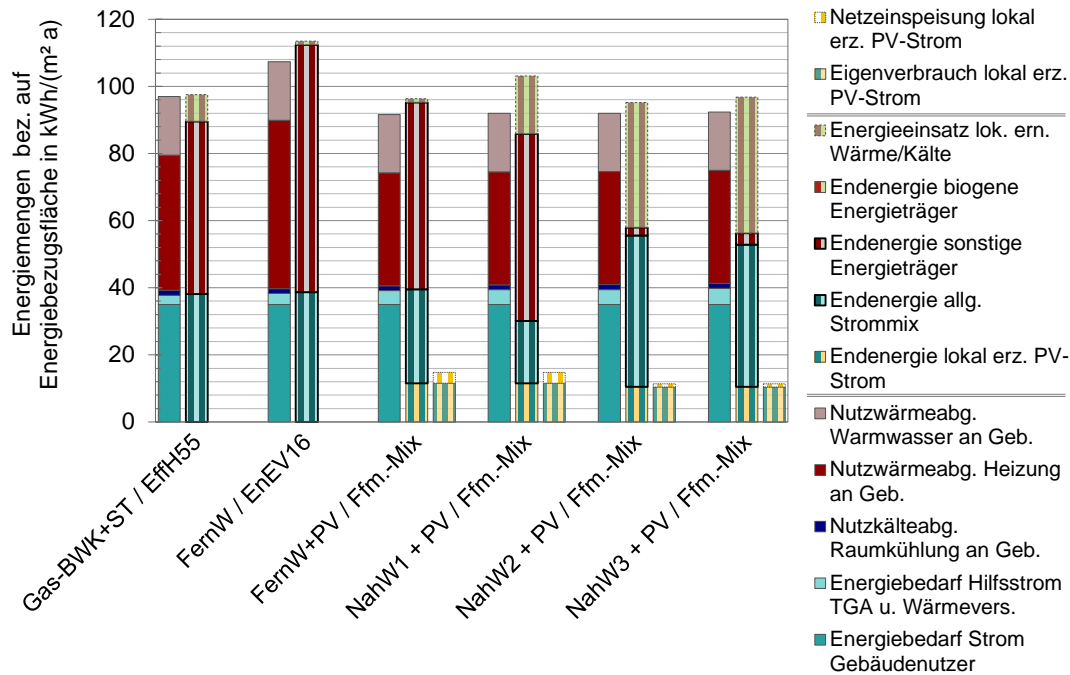


Abb. 72: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Am Römerhof.

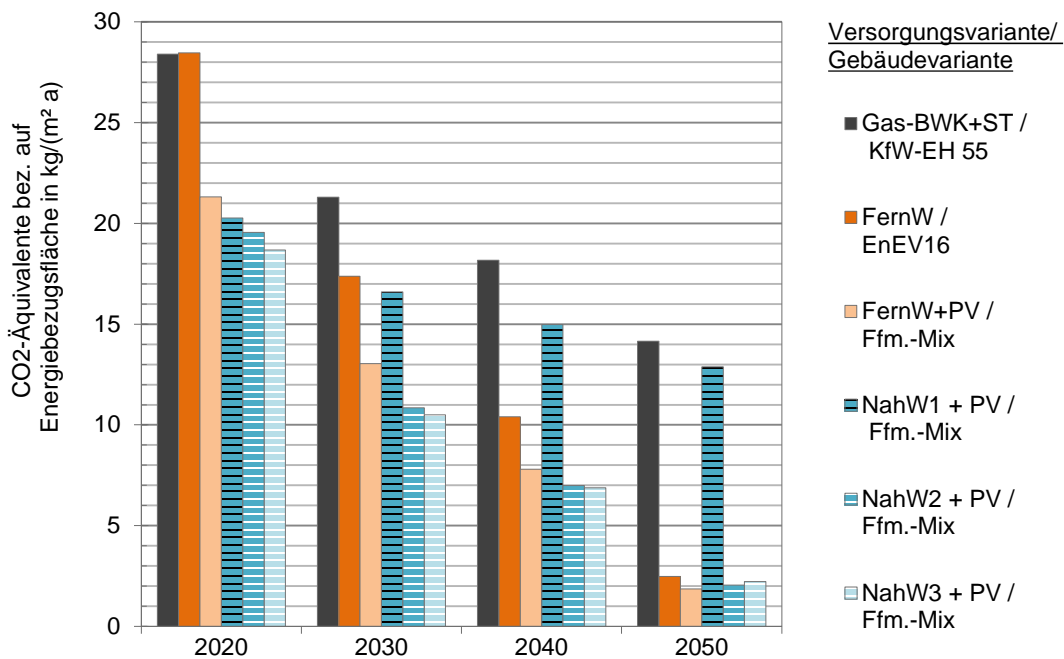


Abb. 73: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Am Römerhof (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Tab. 83: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Am Römerhof (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	FernW +PV	NahW3 +PV
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Ffm.-Mix ¹	Ffm.-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix ²	Mix ²
CO₂-Äquivalente 2020 in t/a	7.377	5.538	4.854
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	28,4	21,3	18,7
anteilig bez. auf Ref. 2020	100%	75%	66%
CO₂-Äquivalente 2030 in t/a	5.536	3.387	2.728
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	21,3	13,0	10,5
anteilig bez. auf Ref. 2020	75%	46%	37%
CO₂-Äquivalente 2040 in t/a	4.722	2.026	1.787
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	18,2	7,8	6,9
anteilig bez. auf Ref. 2020	64%	27%	24%
CO₂-Äquivalente 2050 in t/a	3.676	485	578
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	14,1	1,9	2,2
anteilig bez. auf Ref. 2020	50%	7%	8%

* Erläuterungen zu Abkürzungen und Definitionen finden sich auf den vorherigen Seiten.

4.7 Ökonomische Bewertung

Je nachdem, welche Varianten von Wärmeversorgung und Gebäude (Hülle/ Lüftung) miteinander kombiniert werden, ergeben sich unterschiedliche Gebäude-Energiestandards und unterschiedliche Investitionen und Betriebskosten für die Eigentümer bzw. Nutzer der Gebäude. An Hand dieser Indikatoren werden unterschiedliche Kombinationen nachfolgend verglichen.

4.7.1 Grundlagen und betrachtete Kombinationen

Folgende Kriterien wurden bei der ökonomischen Bewertung berücksichtigt:

- Die **Investitionen** dienen als Maß für den wirtschaftlichen Ressourceneinsatz. Alle Investitionen sind Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018). Es werden nur relevante Investitionen einbezogen, die zum einen maßgeblich für die Wärmeversorgung der Gebäude sind und zum anderen zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Im Detail werden berücksichtigt:

- Zusätzliche Investitionen für einen verbesserten Dämmstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 hinausgeht.
- Investitionen für Komponenten zur Lüftung und Wärmeversorgung, sofern diese zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Beispielsweise werden Warmwasser-Verteilungen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind, nicht berücksichtigt.
- Aussagekräftig sind folglich die Differenzen der Investitionen der verglichenen Varianten, nicht aber die absoluten Ergebnisse einer einzelnen Variante.
- Die durchschnittlichen **Betriebskosten pro Monat** (im ersten Jahr) dienen als Maß für die laufenden Kosten nach heutigem Stand.
- Die **Annuitäten der Kosten und Erlöse** dienen als Maß für die Wirtschaftlichkeit. Die Annuitäten wurden in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

Diese Kriterien wurden für folgende Mustergebäude ausgewertet:

Mustergebäude: Mehrfamilienhaus mit 20 WE.

Geschosse: sechs Vollgeschosse,

Geschossfläche: 2.150 m²,

Energiebezugsfläche: 1.790 m².

Die Ausführungen der Mustergebäude werden nachfolgend für die mit einer Wärmeversorgungsvariante erreichbaren Gebäude-Energiestandards beschrieben:

EnEV Gas-BW+ST:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage.
EnEV FernW:	Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.
EH55 FernW:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.
EH55 NahW3:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an Nahwärme mit Abwasserwärmenutzung und Solarthermie, hocheffiziente Wärmeverteilung in Gebäuden erforderlich.
PH FernW:	Gebäudehülle entspr. PH*, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.
PH NahW3:	Gebäudehülle entspr. PH*, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an Nahwärme mit Abwasserwärmenutzung und Solarthermie, hocheffiziente Wärmeverteilung in Gebäuden erforderlich.

4.7.2 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Vergleich der Investitionen

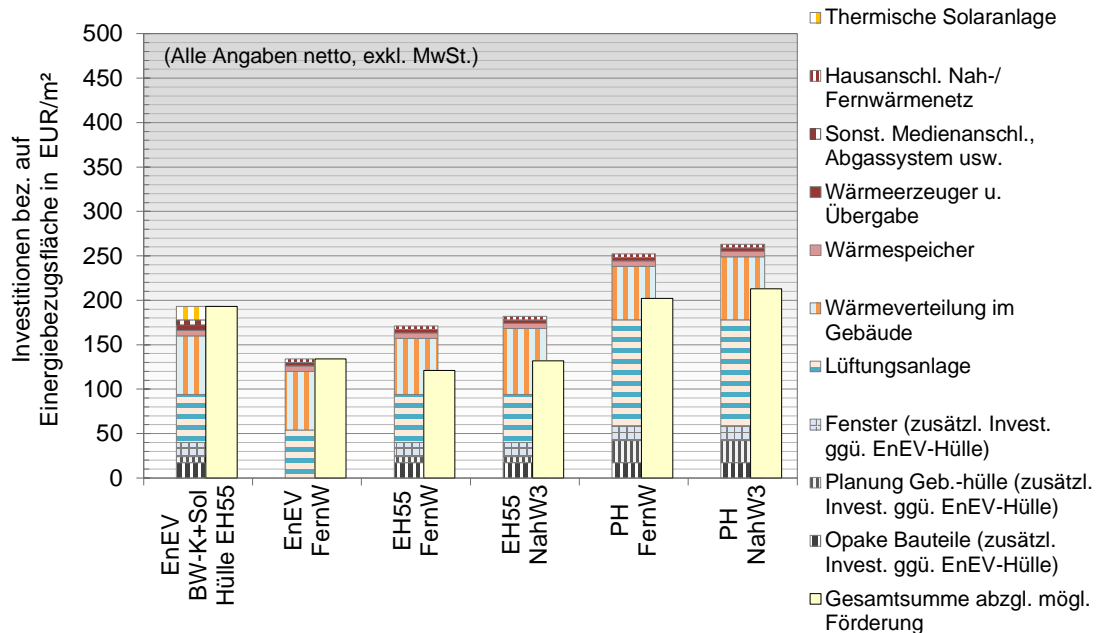


Abb. 74: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.

Vergleich der monatlichen Betriebskosten (1. Jahr)

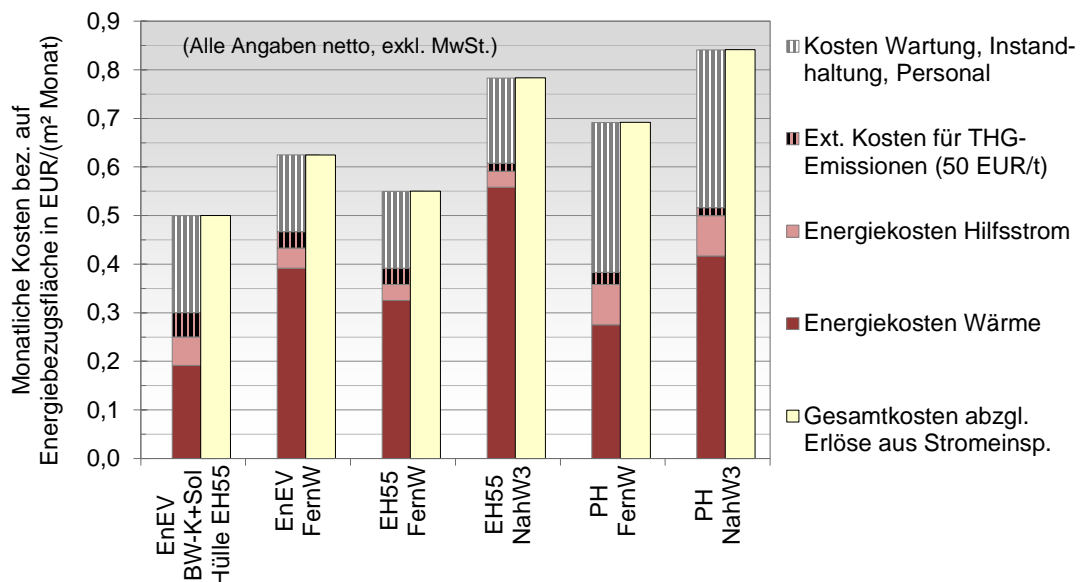


Abb. 75: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.

Vergleich der Annuitäten

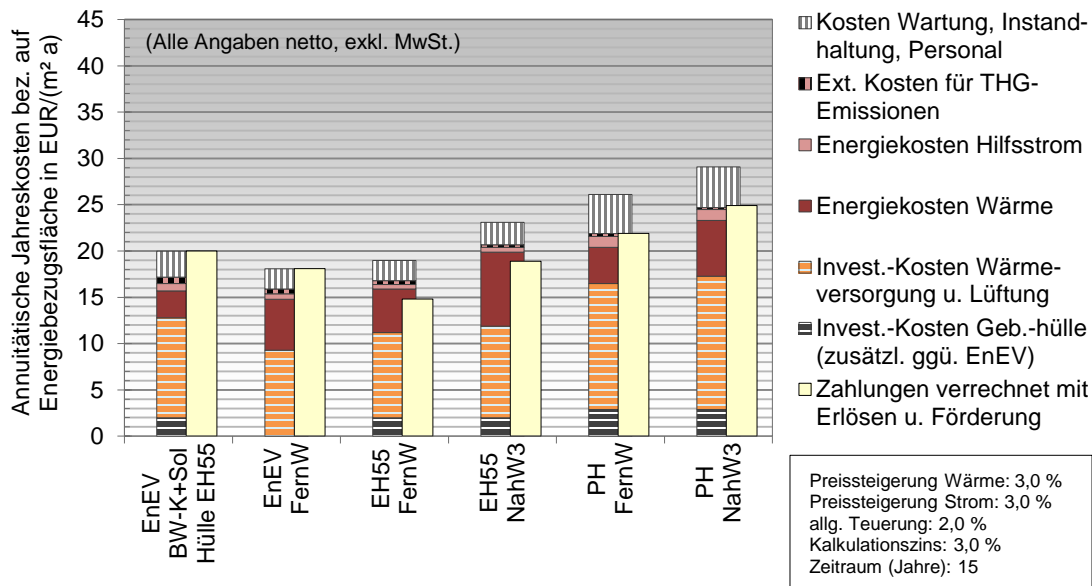


Abb. 76: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.

4.7.3 Betrachtung der kommunalen Wertschöpfung

Für die Betrachtung des Einflusses unterschiedlicher Versorgungsvarianten des Gebietes auf die kommunale Wertschöpfung wurden zwei Varianten verglichen. Betrachtet werden die Varianten EnEV Gas-BW+ST und PH NahW3.

Hierbei werden die Investitionskosten sowie die jährlichen Betriebskosten der beiden Varianten miteinander verglichen und nach Maßnahmengruppen der kommunalen Wertschöpfung aufgeteilt. Über die kommunalen Umsatzanteile wird ermittelt, welcher Anteil der Kosten der beiden Varianten effektiv in der Region verbleibt.

Hierbei ist anzumerken, dass eine teurere Variante natürlich mehr Geld in der Region hinterlässt (bei gleichen regionalen Umsatzanteilen), als eine billigere. Um diesen Effekt auszublenden werden im Folgenden zunächst die regionalen Umsatzanteile der einzelnen Maßnahmengruppen nach der Investitionssumme gewichtet und die verbleibenden mittleren regionalen Umsatzanteile der Investitionskosten und der jährlichen Betriebskosten verglichen:

Bei den Investitionskosten liegen die beiden Varianten jeweils einem kommunalen Umsatzanteil von 72 %. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die in den Gebäuden anfallenden Arbeiten sowie auch die Installation der solarthermischen Kollektoren und der Wärmepumpen größtenteils von Unternehmen aus der Region geleistet werden.

Auch die dafür benötigten Komponenten kommen bei beiden Varianten größtenteils aus der Region.

Tab. 84: Gewichteter, gemittelter regionaler Umsatzanteil Wertschöpfung für das Gebiet Am Römerhof

gewichteter, gemittelter regionaler Umsatzanteil	EnEV Gas-BW+ST	PH NahW3	Differenz
Investitionskosten	72 %	72 %	+ 0 %
Betriebskosten	56 %	68 %	+ 12 %

Bei den laufenden Betriebskosten jedoch hat die Variante Passivhaus mit Nahwärmevariante 3 einen erhöhten regionalen Umsatzanteil von 68 % gegenüber 56 % der EnEV-Variante.

Der regionale Umsatz wird daraufhin versteuert. Daraus ergibt sich der Anteil des Umsatzes, der in Form von den erzielten Gewinnen (nach Steuer) der an den Maßnahmen beteiligten Unternehmen, den Steuerzahlungen an die Kommune, sowie den Nettoeinkommen der beteiligten Beschäftigten, in der Kommune verbleibt. Diese kommunale Wertschöpfung der beiden Varianten wurde anschließend miteinander verglichen.

Tab. 85 zeigt nachfolgend wie hoch der Effekt der Investitionskosten und jährlichen Betriebskosten der beiden Maßnahmen auf die kommunale Wertschöpfung ist.

Tab. 85: Kommunale Wertschöpfung für das Gebiet Am Römerhof pro investierte Million EUR

gewichtete Investitionssteigerung	EnEV Gas-BW+ST	PH NahW3	Differenz
Einmaliger Effekt durch Investition	316.000	318.000	+ 0,6 %
jährlicher Effekt durch Betrieb	222.000	271.000	+ 22,1 %

Die auftretenden Unterschiede ergeben sich zum einen durch den Unterschied im regionalen Umsatzanteil und zum anderen durch Unterschiede in der Versteuerung, Arbeitnehmerkosten und Gemeinkostenanteilen.

Die kommunale Wertschöpfung aus dem Betrieb der Anlagen wirkt sich auf die Beschäftigung in der Region aus. Im Falle der beiden Varianten für das Gebiet Am Römerhof bewirkt die kommunale Wertschöpfung aus der Referenzvariante EnEV Gas-BW+ST ein Arbeitsplatzäquivalent von 7,6. Die Variante PH NahW3 bewirkt hingegen ein Arbeitsplatzäquivalent von 9,3 und damit ein Plus von 1,7 gegenüber der Referenz. Durch die Wahl der zweiten Variante könnten gegenüber der ersten Variante somit jährlich 1,7 Arbeitsplätze mehr pro Million Betriebskosten in der Region gehalten, bzw. geschaffen werden.

4.8 Fazit und Empfehlung

Das städtebauliche Konzept für das Quartier Am Römerhof sieht größtenteils Blockrand-Bebauung mit sechs Geschossen und eine drei-geschossige Bebauung der Innenhöfe vor. Damit werden für urbane Gebiete übliche Maße der baulichen Nutzung erreicht. Positiv aus energetischer Sicht ist, dass die Baukörper durchweg ein niedriges A/V-Verhältnis (fast alle kleiner 0,35) aufweisen, sofern dieses bei der weiteren Ausgestaltung nicht deutlich verschlechtert wird. Generell wird eine ausreichende bis sehr gute Besonnung der Blockrand-Fassaden erzielt. Problematisch im Hinblick auf Besonnung und Belichtung erwies sich nur die Innenhof-Bebauung, welche im Winter zu großen Teilen verschattet wird. Diese Bereiche eignen sich folglich auch nicht für eine möglichst wirtschaftliche Erstellung des Passivhaus-Standards.

Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Städtebaus

- Für die Blockrandbebauung sollte bei der Gebäudeplanung die Grundriss- und Fensterflächengestaltung auf die Besonnung und natürliche Belichtung abgestimmt werden. In den meisten Fällen kann eine ausreichende Besonnung durch zweiseitig belichtete Wohnungen sichergestellt werden. Bei ost-, süd- oder westorientierten Fassaden spricht aus energetischer Sicht auch nichts gegen eine Vergrößerung der Fensterflächen, sofern ein hochwertiger Sonnenschutz vorgesehen wird.
- Die drei-geschossige Bebauung der Innenhöfe sollte generell möglichst auf die nördlichen Teile der Höfe konzentriert werden. Da sich eine ausreichende Besonnung und Belichtung hier nicht überall erreichen lässt, sollten diese kritischen Bereiche für gewerbliche Nutzungen vorgesehen werden.

Der Vergleich der energetisch relevanten Investitionen hat gezeigt, dass auf Grund der möglichen Förderung eine Gebäudehülle entsprechend dem KfW Effizienzhaus 55 im Geschosswohnungsbau niedrigere Investitionen (die Förderung eingerechnet) erfordert als eine Hülle entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude. In Anbetracht dessen, dass der KfW Effizienzhaus 55 Standard bezogen auf den Betrieb des Gebäudes auch energetisch und damit ökologisch vorteilhaft ist, kann dieser Standard uneingeschränkt für alle Gebäude empfohlen werden, die nicht im Passivhaus-Standard errichtet werden.

Empfehlungen zum Gebäude-Energiestandard

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen.
Im Geschosswohnungsbau kann der Passivhaus-Standard bei ausreichender Besonnung in der Regel mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW Effizienzhaus 55 und dem zusätzlichen Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden. Gebäude im Passivhaus-Standard sollten vorrangig in jenen Baukörpern realisiert werden, die sich auf Grund der passiven solaren Gewinne am besten dazu eignen.
- Alle anderen Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Referenzvariante und zweier untersuchter Versorgungsvarianten gegenüber gestellt.

Die gebietszentrale Wärmeversorgung mit Abwasserwärmenutzung mittels Sole/Wasser-Wärmepumpen ergänzt mit solarthermischen Kollektoren und Photovoltaik-Anlagen weist für das Quartier Am Römerhof das größte Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energieträger auf. Potenziell können etwa 52 % der benötigten Energie auf dem Gebiet selbst gewonnen werden. Im Hinblick auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen liegt die Abwärmenutzung aus heutiger Sicht zwar etwa 14 % niedriger als die Fernwärme-Versorgung, in der langfristigen Prognose liegen aber beide Varianten gleich auf. Da die gesamte Fernwärme dem Gebiet von außen zugeführt werden muss, wird die Problematik der klimaschonenden Wärmeversorgung bei letzterer Variante größtenteils auf die Stadt bzw. die Region verlagert.

Die Versorgung mit Fernwärme weist die niedrigsten Zusatzinvestitionen und die niedrigsten annuitätischen Mehrkosten bei gleichzeitig nur geringfügig erhöhten monatlichen Betriebskosten gegenüber der Referenzvariante auf, was diese Variante aus ökonomischer Sicht für Investoren und für Nutzer sehr attraktiv macht. Die Wärmeversorgung mit Abwasserwärme liegt in Punkto Zusatzinvestitionen und Annuitäten zwar auch nur moderat über der Fernwärme-Variante, allerdings fallen die monatlichen Betriebskosten etwa 30 % höher aus.

Unter der Voraussetzung dass die bundes- bzw. landesweiten Klimaschutzziele für den Strommix erreicht werden, können die Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt für 2050 sowohl bei der Wärmeversorgung mit Abwasserwärme als auch mit Fernwärme erreicht oder sogar übertroffen werden. Bei letzterem muss zusätzlich die Transformation der städtischen Fernwärmeversorgung zur „grünen Fernwärme“ gelingen.

Versorgungsvariante	Referenz: Erdgas	Vorschlag 1: Abwasser- wärme	Vorschlag 2: Fernwärme
zentrale/dezentrale Erzeuger	gebäudezentrale Gas-BW-Kessel	gebietszentrale Wärmepumpen	gebietszentrale FW-Versorgung
Gebäude-Energiestandard	EnEV	KfW EH 55 (teilw. PH)	KfW EH 55 (teilw. PH)
ENERGIE/AUTARKIE			
Energieeinsatz in MWh/a	25.350	25.150	25.000
Autarkiegrad	8%	52%	13%
durch folgende lokale Energieträger	Solarthermie	Abwasser, Solarthermie, Solarstrom	Solarstrom
Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	23.280	11.870	21.740
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	90	46	84
Haupt-Endenergieträger für Wärmeanwendungen	Erdgas	Strommix, Erdgas	Fernwärme
TREIBHAUSGASE			
CO ₂ -Äquivalente <u>2020</u> in t/a	7.377	4.854	5.538
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	28,4	18,7	21,3
CO ₂ -Äquivalente <u>2050</u> in t/a	3.676	578	485
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	14,1	2,2	1,9
WIRTSCHAFTLICHKEIT KfW EH 55			
Energetisch relevante Investitionen (netto) abzgl. Förderung bez. auf EBF in EUR/(m ²)	193	142	121
Monatliche Betriebskosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² M)	0,50	0,73	0,55
Annuitätische Gesamtkosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² a)	20	19	15

Empfehlungen zur Energieversorgung

- Es wird empfohlen einen möglichst großen Teil der Dachflächen (mindestens 50 %) der Wohngebäude sowie die alle nutzbaren Dachflächen der öffentlichen Gebäude zur Solarenergiegewinnung zu nutzen. Als Vorarbeit zur weiteren Ausgestaltung sollte ein Dachflächen-Nutzungskonzept entwickelt werden. Darüber hinaus wird empfohlen geeignete Fassadenflächen aller Gebäude zu nutzen.
- Aus energetischen und ökologischen Gesichtspunkten wird eine Nahwärmeversorgung mit Wärmepumpen (gespeist aus Abwasserwärme) und solarthermischen Kollektoren empfohlen. Diese Variante bietet gegenüber der Fernwärmeversorgung ein etwas besseres Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Darüber hinaus ist das Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien deutlich höher. Mit der kombinierten Nutzung von Abwasserwärme und Solarenergie kann voraussichtlich ein Energieautarkiegrad des Gebiets von über 50 % erreicht werden.
- Bei der weiteren Umsetzung/Planung der empfohlenen Variante können unterschiedliche Szenarien in Betracht gezogen werden.
 - a) Eigenständige Wärmeversorgung des gesamten Gebiets mit Ab(wasser)-wärme:
 - 1) Möglichst hoher Deckungsanteil aus Abwasserwärmenutzung. In diesem Fall wird empfohlen auf der Dachfläche der Schule im Westen ein großes Feld solarthermischer Kollektoren zur Wärmeerzeugung vorzusehen.
 - 2) Kurz-/mittelfristig moderater, ökonomisch günstiger Deckungsanteil der Abwasserwärmenutzung, unterstützt beispielsweise durch Erdgas-Blockheizkraftwerke.
Langfristig Integration einer Abwärmenutzung des zukünftigen Rechenzentrums und Substitution möglichst aller fossilen Brennstoffe.
 - b) Integration des Gebiets in den Fernwärmeverbund:
die Heizzentrale des Gebiets mit Abwasserwärmenutzung wird an den Fernwärmeverbund der Mainova AG angeschlossen und kann Wärme entnehmen und einspeisen. Perspektivisch könnte auch hier das zukünftige Rechenzentrum als weiterer Wärmeerzeuger integriert werden.
 - c) Eigenständige Versorgung des Schulstandorts im Westen kombiniert mit a) oder b):
Für die Schule im Westen wird als öffentliches Gebäude mit Vorbildfunktion eine eigene Abwasserwärmenutzung mit dem Gefällekanal im Westen des Gebiets realisiert. Für den Rest des Gebiets wird a) oder b) umgesetzt.

5 An der Sandelmühle

5.1 Beschreibung des Gebiets

Mit dem geplanten Quartier „An der Sandelmühle“ soll auf einem zum Großteil brachliegenden, ehemals ausschließlich gewerblich genutzten Areal des Stadtteils Heddernheim ein neues Wohnquartier mit Kindertagesstätte entstehen. Grundlage für das vorliegende Klimaschutzteilkonzept bildeten der Bebauungsplan Nr. 889 vom 30.11.2017 (siehe Abb. 77), der zugehörige Planentwurf der Bauherren vom Büro Eismann & Partner, Frankfurt vom 19.03.2018 sowie mündliche Aussagen der verantwortlichen Personen der ABG Frankfurt Holding GmbH und der Ten Brinke Wohnungsbau GmbH & Co. KG. Der bestehende Gewerbebetrieb im östlichen Teil des Gebiets bleibt erhalten und wird bereits mit Fernwärme versorgt. Für das Klimaschutzteilkonzept wurde dieser Gewerbebetrieb ausschließlich als potenzielle Abwärmequelle betrachtet. Sein Energiebedarf wurde nicht berücksichtigt. Die grundlegenden Informationen zum Gebiet (ohne Gewerbeflächen im Osten) sind nachfolgend zusammengefasst:

Bebauungsplan:	Nr. 889,
Stadtteil:	Heddernheim,
Lage im Stadtgebiet:	am Stadtrand im Norden.
Geplante Bebauung:	Wohngebiet konzipiert für ca. 670 Einwohner in 267 Wohneinheiten verteilt auf
Wohngebäude:	67 Reihenhäuser (II+), 9 Mehrfamilienhäuser (max. V).
Öffentliche Gebäude:	eine Kita (II).
Bauliche Kennwerte:	entsprechend Bebauungsplan, Planentwurf der Bauherren sowie eigenen Berechnungen.
Brutto-Bauland:	4,15 ha (100 %),
Netto-Bauland ¹ :	3,03 ha (73 %),
Grundflächenzahl ² :	0,38,
Geschossflächenzahl:	1,14.

- ¹) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets ohne Gewerbefläche im Osten abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen).
- ²) Berechnung der Grundflächenzahl nur für Hauptgebäude, also ohne Garagen, Stellplätze, Nebenanlagen etc.

Die für die Bedarfsprognose angenommenen Flächen und Nutzungen der geplanten Bebauung sind in Tab. 86 dargestellt.



Abb. 77: Ausschnitt des Bebauungsplans Nr. 889 „An der Sandelmühle“ .
(Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt, Stand: 30.11.2017)

Tab. 86: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet An der Sandelmühle.

Nutzung	Geschossfläche		Energiebezugsfläche*		Dachflächen mit Solarpotenzial	
	m ²	Anteil	m ²	Anteil	m ²	Anteil
Wohnen	33.350	97%	26.810	97%	8.060	94%
Kita	1.000	3%	840	3%	480	6%
Gesamt	34.350	100%	27.650	100%	8.540	100%

* Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.

5.2 Energetische Bewertung des Städtebaus

Die energetische Bewertung des städtebaulichen Entwurfs beruht insbesondere auf der Beurteilung der Kompaktheit der Baukörper, der Orientierung der Fassaden und der Verschattungssituation der Gebäude und zielt darauf ab, günstige städtebauliche Bedingungen für eine Minimierung der Wärmeverluste, für die Optimierung der natürlichen Belichtung und der passiv-solaren Wärmegegewinne sowie für ein angenehmes, sommerliches Außenklima zu schaffen.

Neben 9 Mehrfamilienhäusern im Geschosswohnungsbau und einer Kita sind im Quartier vor allem Reihenhäuser geplant. Diese sind hinsichtlich der Gebäudekompaktheit weniger günstig als die Mehrfamilienhäuser. Sollen die Gebäude im Passivhausstandard realisiert werden, so muss dieser Nachteil gegenüber den Mehrfamilienhäusern durch verbesserte Wärmedämmung und eine besonders gute Orientierung der Hauptfassade ausgeglichen werden. Anhand von Berechnungen mit dem PHPP [PHPP2015] wurde überprüft, inwieweit die Reihenhäuser mit vertretbarem Aufwand als Passivhäuser ausgeführt werden können. Dabei wurden für die Gebäudehülle die in Tab. 87 dargestellten U-Werte angesetzt, mit denen i.d.R. die Anforderungen des KfW-Effizienzhaus-40-Standards an den umfassungsflächenbezogenen spezifischen Transmissionswärmeverlust H'_T erfüllt werden können.

Tab. 87: Für die Prüfung des Passivhaus-Standards angesetzten U-Werte für die Reihenhäuser

Angenommene U-Werte	W/(m ² K)
Außenwand	0,13
Dach	0,10
Hülle gegen Erdreich	0,20
Fenster	0,80

Aus den Berechnungen ergeben sich folgende Bewertungen hinsichtlich einer Eignung für den Passivhaus-Standard:

- **Geschosswohnungsbauten:** kompakt mit geringer Verschattung
⇒ gut geeignet
- **Reihenhäuser, süd-orientiert:** ausreichende Kompaktheit, geringe Verschattung und sehr gut orientiert
⇒ gut geeignet 14 kWh/(m²a)
- **Reihenhäuser, südost-orientiert, >3 WE:** ausreichende Kompaktheit, geringe Verschattung und ausreichend gut orientiert
⇒ geeignet 15 kWh/(m²a)

- **Reihenhäuser, südost-orientiert, ≤ 3 WE:** geringe Kompaktheit, geringe Verschattung und ausreichend gut orientiert
 ⇒ bedingt geeignet 17 kWh/(m²a)
- **Reihenhäuser, Ost/West-orientiert:** geringe Verschattung aber schlecht orientiert
 ⇒ bedingt geeignet 18 kWh/(m²a)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich Reihenhäuser mit Ost/West-Orientierung sowie südost-orientierte Reihenhäuser mit weniger als 4 Wohneinheiten nur bedingt für den Passivhaus-Standard eignen, auch wenn die Verschattung nur gering ist.

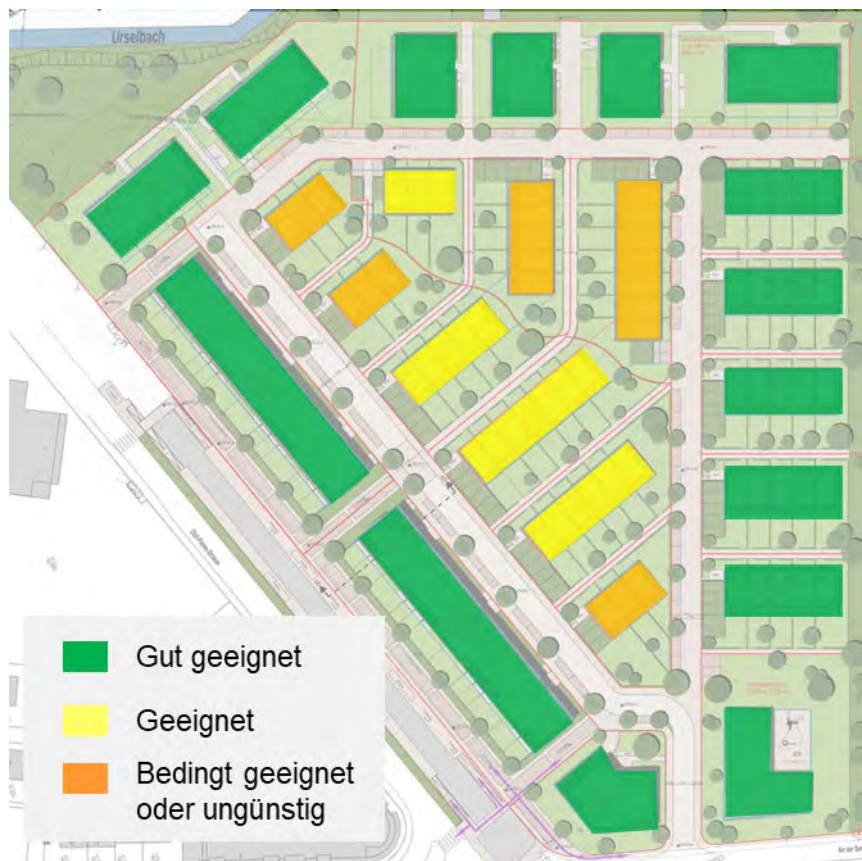


Abb. 78: Beurteilung der einzelnen Baukörper hinsichtlich einer wirtschaftlichen Realisierung des Passivhaus-Standards

5.3 Energiebedarfsprognose

Basierend auf den bereits dargestellten Energiekennwerten und der konzipierten Bebauung wurde der Energiebedarf mittels der abgeschätzten Energiebezugsfläche aller Gebäude hochgerechnet. Dabei wurden unterschiedliche Ausführungen der Gebäude im Hinblick auf die Qualität der Gebäudehülle und die Art der Lüftungsanlage betrachtet. Der Energiebedarf des bestehenden Gewerbebetriebs im östlichen Teil des B-Plan-Gebiets wurde wie bereits erwähnt nicht berücksichtigt. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tab. 88 zu finden, detaillierte Ergebnisse für Wärme-, Kälte- und Strombedarf in den nachfolgenden Unterabschnitten. Eine Aufteilung des Gesamtbedarfs auf alle berücksichtigten Nutzungsarten ist in Tab. 89 für die Ausführung der Gebäude im Quartier-Mix¹ zu finden. Diese Ausführung wurde auch für die Bewertung der Versorgungsvarianten zu Grunde gelegt.

Tab. 88: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH ²	Quartier-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf³ in MWh/a	1.970	1.640	1.220	1.400
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	71	59	44	51
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	651	542	403	463
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	2.951	2.457	1.828	2.097
Strombedarf⁶ in MWh/a	830	830	890	860
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	30	30	32	31
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	274	274	294	284
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	1.243	1.243	1.333	1.288
Ges. Energiebedarf in MWh/a	2.800	2.470	2.110	2.260
rel. Anteil Wärmebedarf	70%	66%	58%	62%
rel. Anteil Strombedarf	30%	34%	42%	38%

- 1) Quartier-Mix bezeichnet einen Mix aus unterschiedlichen Energiestandards: in diesem Fall sind alle Mehrfamilienhäuser als Passivhaus und alle Reihenhäuser als KfW-EH 55 ausgeführt.
- 2) Passivhaus-Gebäudehülle bei Mehrfamilienhäusern etwa wie KfW-EH 55, bei Reihenhäusern und Doppelhäusern etwa wie KfW-EH 40.
- 3) Der Wärmebedarf entspricht der erforderlichen Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwasserwärmung ab Wärmeerzeuger/Übergabe an die Gebäude.
- 4) Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 5) Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.
- 6) Der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf des Gebiets für Stromanwendungen inkl. Elektromobilität. Zusätzlich wurde der Strombedarf für Raumkühlung mit eingerechnet.

Tab. 89: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet An der Sandelmühle bei Ausführung der Neubauten im Quartier-Mix.

Energienutzung	Energieform	Energiebedarf in MWh/a	Anteil
Wärmebedarf Raumheizung	Wärme	720	32%
Wärmebedarf Warmwasser	Wärme	680	30%
Nutzerstrom Raumkühlung	Strom	5	0%
Nutzerstrom Haushalte	Strom	560	25%
Nutzerstrom öffentl. NWG	Strom	15	1%
Nutzerstrom GHD	Strom	0	0%
Nutzerstrom Industrie	Strom	0	0%
Hilfsstrom TGA	Strom	105	5%
Allgemeinstrom Wohngebäude	Strom	55	2%
Strom E-Mobilität	Strom	105	5%
Strom öffentl. Beleuchtung	Strom	15	1%
Summe für gesamtes Gebiet		2.260	100%

Abkürzungen: NWG...Nichtwohngebäude, GHD...Gewerbe, Handel und Dienstleistung, TGA...Technische Gebäudeausrüstung

5.3.1 Wärmebedarf

Die Aufteilung des prognostizierten Wärmebedarfs ist in Tab. 90 gezeigt. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesswärme identifiziert. Detaillierte Angaben zum prognostizierten Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung sind in Tab. 91 aufgeführt.

Tab. 90: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Quartier-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf Raumheizung u. Warmwasser in MWh/a	1.970	1.640	1.220	1.400
Relativ zu EnEV 2016	100%	83%	62%	71%
Anteil Warmwasser	35%	41%	56%	49%
Wärmebedarf Prozesswärme in MWh/a	0			
Anteil am ges. Bedarf	0%	0%	0%	0%
Gesamter Wärmebedarf in MWh/a	1.970	1.640	1.220	1.400

(Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich im vorherigen Unterabschnitt.)

Tab. 91: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet An der Sandelmühle.

		Raumheizung				Warmwasser	
		EnEV16	EH 55	PH	Quartier-Mix	ohne th. Solaranl.	mit th. Solaranl.
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude nach Nutzung							
Wohnen	MWh/a	1.230	920	530	700	675	410
Kita	MWh/a	60	40	20	20	5	0
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	MWh/a	1.290	960	550	720	680	410
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	46,7	34,7	19,9	26,0	24,6	14,8
Prozentual	-	100%	74%	43%	56%	100%	60%
Kumulierte Wärmeleistungen* für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	kW	1.120	930	620	770	1.050	
Prozentual	-	100%	83%	55%	69%		

* Für die Abschätzung der Wärmeleistungen wurde davon ausgegangen, dass die Wärmeübergabe zur Raumheizung im Durchflussprinzip erfolgen wird, während zur Trinkwassererwärmung gebäude-/blockzentrale Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Die kumulierten Leistungen berücksichtigen keine gebietsweiten Gleichzeitigkeitseffekte. Die Wärmeleistung für Raumheizung basiert auf der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599.

Weitere Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf Seite 216 f.

5.3.2 Kältebedarf

Für das Gebiet wurde ein geringer Kältebedarf zur Raumkühlung von ca. 30 MWh/a (Nutzenergieabgabe an die Gebäude) prognostiziert, welcher voraussichtlich durch gebäude- oder wohnungszentrale Kälteanlagen gedeckt werden wird. Der resultierende Strombedarf wurde im nachfolgenden Abschnitt mit eingerechnet. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesskälte identifiziert.

5.3.3 Strombedarf

Eine Übersicht des für das Gebiet prognostizierten Strombedarfs ist in Tab. 92 und Tab. 93 gezeigt.

Tab. 92: Aufteilung des prognostizierter Strombedarfs für Nutzung (Haushalte, Kita etc.) und E-Mobilität für das Gebiet An der Sandelmühle.

	Strom für Nutzung	Strom für E-Mobilität
Haushalte in MWh/a	625	105
Kita in MWh/a	15	5
Ges. Quartier in MWh/a	640	110
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	23,2	3,8

(Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf Seite 216 f.)

Tab. 93: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Quartier-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
(Hilfs-) Strombedarf TGA in MWh/a	80	80	140	110
Relativ zu EnEV 2016	100%	100%	175%	138%
Strombedarf für Nutzung* in MWh/a	640			
Strombedarf für E-Mobilität in MWh/a	110			
Gesamter Strombedarf in MWh/a	830	830	890	860
Anteil TGA	10%	10%	16%	13%
Anteil Nutzung	77%	77%	72%	74%
Anteil E-Mobilität	13%	13%	12%	13%

* Strombedarf für Nutzung der Gebäude inkl. Allgmeinestrom und Straßenbeleuchtung.
Weitere Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf Seite 216 f.

5.4 Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale

In diesem Abschnitt werden die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger sowie die lokalen Erzeugungspotenziale lokaler (erneuerbarer) Energieträger im geplanten Quartier und in dessen nächster Umgebung dargelegt.

5.4.1 Elektrizität und Erdgas

Es wird angenommen, dass das Gebiet mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt wird und dass ausreichend elektrische Leistung zur Verfügung steht um ggf. auch eine Strom-basierte Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Ob auf Grund der E-Mobilität eine erhöhte Anschlussleistung notwendig ist, konnte nicht abgeschätzt werden. In jedem Fall wird empfohlen ein gebietsübergreifendes Lastmanagement-System für Ladestationen vorzusehen.

Es wird angenommen, dass die Kapazität der bestehenden Erdgasleitungen in der Umgebung ausreicht um das Gebiet zu versorgen. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

5.4.2 Fernwärme

Es wird angenommen, dass der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die dafür benötigte Infrastruktur im Baugebiet müsste im Zuge der Erschließung installiert werden.

Laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt (siehe Abb. 79) ist das Gebiet bzw. Teile davon bereits mit Fernwärmeleitungen erschlossen. Zu den bereits angeschlossenen Abnehmern gehört der Gewerbebetrieb im Südosten des Gebiets.

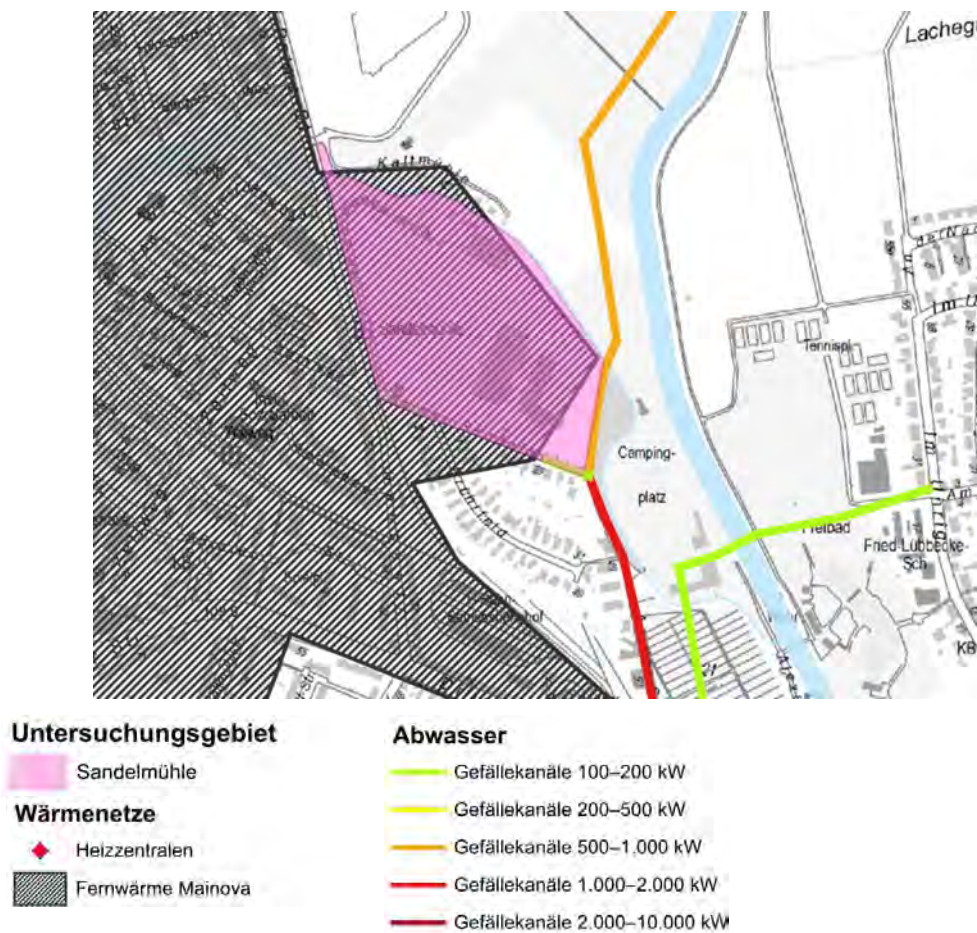


Abb. 79: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster für Frankfurt für das B-Plan-Gebiet „An der Sandelmühle“ (Quelle: Energiereferat der Stadt Frankfurt, 2018).

5.4.3 Abwärme

Siedlungs-Abwasser

Es wird davon ausgegangen, dass auf Grund der relativ großen Entfernung zum in Frage kommenden Abwasserkanal eine Versorgung des Gebiets mit Abwasserwärme deutlich aufwendiger und wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig mit der Versorgung mit Fernwärme wäre. Diese Lösung wurde daher auf Grund des fortgeschrittenen Planungsprozesses dieses Gebiets nicht weiter betrachtet.

Laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt (siehe Abb. 79) verläuft im Osten des Gebiets in einer Entfernung von ca. 200 m zum Rand des geplanten Wohngebiets ein Abwasserkanal mit einer potenziellen Entzugsleistung von 500 kW bis 1.000 kW, welcher am südöstlichen Ende des Gebiets in einen größeren Kanal mit einer potenziellen Entzugsleistung von 1.000 kW bis 2.000 kW übergeht.

Produktions- und Kühlprozesse

Laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt (siehe Abb. 79) bestehen im Gebiet keine Potenziale zur Abwärmenutzung aus Produktions- und Kühlprozessen.

Auch das Bürogebäude und die Montagehalle für Kleinserien des Gewerbebetriebs im östlichen Teil des B-Plan-Gebiets weisen laut Aussage des zuständigen Energiemanagementbeauftragten keine Potenziale zu externen Abwärmenutzung auf.

5.4.4 Erdwärme

Es wird angenommen, dass flächendeckende Erschließung des Gebiets mit Erdwärmesonden und/oder Erdwärmekollektoren möglich ist und damit der Wärmebedarf größtenteils oder vollständig gedeckt werden kann.

Laut dem Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie werden das Plangebiet und seine Umgebung auf Grund einer „weiträumigen Grundwasserstockwerksgliederung“ als „hydrogeologisch ungünstig“ eingestuft. Damit ist eine flächendeckende Erschließung mit Erdwärmesonden zwar nicht ausgeschlossen, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit der Umsetzbarkeit verringert. Ggf. ist mit Sonderauflagen für Niederbringung und Betrieb der Erdwärmesonden zu rechnen. Eine Alternative zu Erdwärmesonden stellen Erdwärmekollektoren und deren kompaktere Varianten wie Erdwärmekörbe und Spiral- oder Schneckensonden dar. Im Nordosten des Plangebiets befindet sich direkt daran angrenzend ein großflächiges Landschaftsschutzgebiet. Ob eine Errichtung von Anlagen zur Wärmegewinnung aus

dem Erdreich im Landschaftsschutzgebiet genehmigungsfähig sein könnte, muss geprüft werden.

5.4.5 Solarenergie

Es wird angenommen, dass alle freien Dachflächen zur aktiven Solarenergiegewinnung genutzt werden. Dies stellt für alle Versorgungsvarianten einen essenziellen Beitrag zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien und zur Erhöhung der Autarkie des Gebiets dar.

Basierend auf dem vorliegenden Entwurf des Lageplans wurden folgende potenzielle **Flächen zur aktiven Solarenergiegewinnung** identifiziert:

Brutto-Dachflächen der Gebäude:	8.540 m ² .
Darin enthalten sind:	
Flachdächer Wohngebäude*	8.060 m ² ,
Flachdach Kita-Gebäude	480 m ² .

* Bei Staffelgeschossen wurde nur die Geschosdecke des obersten Geschosses als potenziell nutzbare Dachfläche berücksichtigt.

Etwa 100 m nördlich des B-Plan-Gebiets und direkt östlich an die Olaf-Palme-Straße angrenzend befindet sich ein Deponiegelände mit einer erhöhten Parkfläche und seitlich abfallenden Hängen, welche sich im Hinblick auf ihre Orientierung gut für die Errichtung einer Freiflächenanlage zur Solarenergiegewinnung eignen würden. Laut Auskunft des Eigentümers, der Gea Real Estate GmbH, ist eine Nutzung dieser Flächen jedoch ausgeschlossen.

Photovoltaik-Anlagen

Es wird davon ausgegangen, dass 70 % der Brutto-Dachflächen zur Errichtung von Anlagen zur Solarenergiegewinnung genutzt werden können. Die resultierenden Strom-Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen sind in Abb. 80 dargestellt.

Gesamtenergiebedarf des Quartiers	100%	2.260 MWh/a
davon Strombedarf	38%	860 MWh/a
<u>70 % der Brutto-Dachflächen genutzt für Photovoltaik-Anlagen</u>		
Erzeugungspotenzial mit PV-Modulen einreihig	18%	420 kW peak 400 MWh/a
oder doppelreihig	25%	720 kW peak 570 MWh/a

Abb. 80: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet An der Sandelmühle.

Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Quartier-Mix.

Solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung sowie Photovoltaik-Anlagen

Wieder wird davon ausgegangen, dass 70 % der Brutto-Dachflächen zur Errichtung von Anlagen zur Solarenergiegewinnung genutzt werden können. Ein Teil davon für thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung genutzt, der restliche Teil für Photovoltaik-Anlagen. Die resultierenden Potenziale sind in Abb. 81 dargestellt.

Potenziale zur Wärmeerzeugung:

Gesamtenergiebedarf des Quartiers	100%	2.260 MWh/a
davon Wärmebedarf	62%	1.400 MWh/a
davon TW-Erwärmung	30%	680 MWh/a
<u>23 % der Brutto-Dachflächen genutzt für solarthermische Anlagen zur TW-Erwärmung</u>		
Erzeugungspotenzial mit Flachkollektoren einreihig	12%	670 m ² BKF 270 MWh/a

Zusätzliche Potenziale zur Stromerzeugung:

Strombedarf des Quartiers	38%	860 MWh/a
<u>47 % der Brutto-Dachflächen genutzt für Photovoltaik-Anlagen</u>		
Erzeugungspotenzial mit PV-Modulen einreihig	12%	280 kW peak 270 MWh/a
oder doppelreihig	17%	480 kW peak 380 MWh/a

Abb. 81: Potenziale mit solarthermischen Anlagen und Photovoltaik-Anlagen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet An der Sandelmühle.

Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Quartier-Mix.

Anmerkungen zur den dargestellten Potenzialen

- Nicht die gesamte potenziell erzeugte Strommenge der PV-Anlagen kann zur Eigenversorgung im Gebiet genutzt werden. Der restliche Teil wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und in benachbarten Siedlungsgebieten genutzt.
- Die Bestrahlung der Modul- und Kollektorflächen wurde entsprechend der im Baugebiet vorkommenden Orientierungen der Dachflächen bzw. Fassaden abgeschätzt.
- Die Potenziale sind für zwei Aufstellungs-Varianten der Photovoltaik-Module angegeben:
 - „Klassische“ einreihige Aufstellung der Module mit einheitlicher Orientierung möglichst nach Süden und einer Neigung von etwa 30°.

Auf Grund der Abstände zwischen den Reihen ist diese Aufstellung ist gut mit einer extensiven Dachbegrünung kombinierbar.

- Doppelreihige Aufstellung mit entgegengesetzter Orientierung benachbarter Reihen und flacher Neigung von etwa 15°. Auf Grund der flächendeckenden Verschattung der Dachfläche macht eine Dachbegrünung bei dieser Aufstellung keinen Sinn.

5.5 Betrachtete Versorgungsvarianten

Neben einer Referenzvariante wurden – abgestimmt auf die lokalen Potenziale erneuerbarer Energien und die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger – verschiedene Versorgungsvarianten für das Gebiet untersucht. In Tab. 94 ist eine Übersicht der betrachteten Varianten zu finden. In diesem Abschnitt werden die technischen Details der Varianten näher erläutert.

Tab. 94: Übersicht der betrachteten Versorgungsvarianten für das Gebiet An der Sandelmühle.

Akronym	Kurzbeschreibung	VL/RL in °C	Bemerkungen
GEBÄUDE- / BLOCKZENTRALE VARIANTEN			
Gas-BWK +ST	Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie (Referenz)	65/45	Referenzvariante mit solarthermischer Anlage zur Trinkwassererwärmung.
S/W-WP (biva) +PV	Sole/Wasser-Wärmepumpen zur Erdwärmenutzung ggf. bivalent (sonst monovalent) mit Photovoltaik-Anlagen	55/35	Erdwärmenutzung auf Grundstücksflächen, Gebäude mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.
GEBIETSZENTRALE VARIANTE			
FernW (+ST) (+PV)	Anschluss an den Fernwärmeverbund der Mainova AG ggf. mit solarthermischen Anlagen ggf. mit Photovoltaik-Anlagen	75/50	Gebäude optional mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.

5.5.1 Variante „Gas-BWK+ST“: Gas-Brennwertkessel und Solarthermie (Referenz)

Die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzlichen Mindestanforderungen erfolgt mittels gebäudezentralen Gas-Brennwertkesseln und solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung: (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	84 % Gas-Brennwertkessel. 16 % solarthermische Anlage zur WW-Bereitung
Wärmenetz:	nicht benötigt.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block.
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik müssen mindestens den Anforderungen an ein KfW Effizienzhaus 55 entsprechen, alle anderen effizienzsteigernden Maßnahmen sind optional.
Zukunftsperspektive:	Keine.

5.5.2 Variante „S/W-WP“: Sole/Wasser-Wärmepumpen zur Erdwärmenutzung

Die Wärmeversorgung erfolgt mittels gebäude- bzw. blockzentraler Sole/Wasser-Wärmepumpen. Als Wärmequelle dient das Erdreich der Baugrundstücke, welches mittels Erdwärmekollektoren (Reihenhäuser) oder mittels Erdwärmesonden (Mehrfamilienhäuser) erschlossen wird. Vorzugsweise erfolgt der Betrieb monovalent, falls nötig bivalent mit Gas-Spitzenlastkessel mit Erdgas oder Flüssiggas als Brennstoff. Auf allen nutzbaren Dachflächen werden Photovoltaik-Anlagen vorgesehen. Gegebenenfalls können thermische oder photovoltaisch-thermische Kollektoren zur Regeneration des Erdreichs eingesetzt werden. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung: (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	95 % - 100 % Sole/Wasser-Wärmepumpen. Als Quelle dient das Erdreich der Baugrundstücke. 5 % Gas-Brennwertkessel (für bivalente Option)
Zusätzlich:	Je nach Bedarf kann die Regeneration des Erdreichs durch passive Kühlung der Gebäude oder den Einsatz von Solarkollektoren erfolgen.
Wärmenetz:	nicht benötigt bzw. nur zur Unterverteilung im Block.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block.
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, optimierte Wärmeverteilung mit Flächenheizung und wohnungsweise Übergabestationen.

Zukunftsperspektive: Die vergleichsweise geringe Menge an Erdgas für einen bivalenten Betrieb könnte langfristig durch lokal oder regional erneuerbar erzeugten Elektrolyse-Wasserstoff bzw. daraus hergestelltes Methan ersetzt werden.

5.5.3 Variante „FernW“: Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem

Die Wärmeversorgung aller Gebäude erfolgt über ein Wärmenetz, welches an das Fernwärmeverbundsystem der Mainova AG angeschlossen ist. In Abb. 82 ist eine schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs im Gebiet gezeigt.

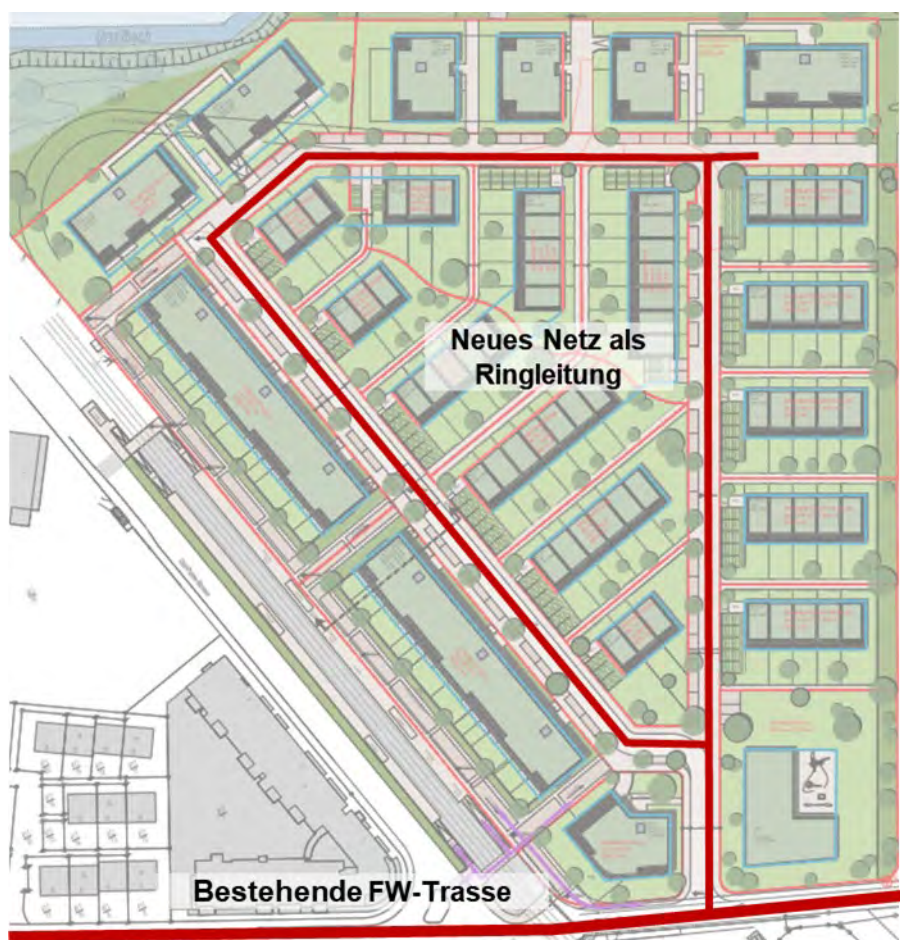


Abb. 82: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs eines Wärmenetzes für das Gebiet An der Sandelmühle.
(Plan © Büro K. Eismann & Partner, Frankfurt vom 19.03.2018).

Es sollte untersucht werden, ob eine Versorgung des Gebiets über den Rücklauf der Fernwärme-Hauptleitung möglich ist. Durch die Absenkung der Netztemperaturen könnten so nicht nur die Wärmeverluste reduziert werden, sondern die Wärmeerzeugung

in den zentralen Heizkraftwerken des Fernwärmeverbands könnte auch effizienter erfolgen.

Detaillierte Information zu dieser Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

- Wärmeerzeugung:** 100 % Fernwärme der Mainova AG,
- Wärmenetz:** 2-Leiter Wärmenetz (Kunststoffmantelrohr).
 Vor-/Rücklauftemperatur: 75 °C / 50 °C,
 Trassenlänge: ca. 0,9 km Verteilnetz,
- Heizraum:** integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
 Platzbedarf: übliche Abmessungen für ein Gebäude.
- Sonstige Anforderungen:** Keine, Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, möglichst mit Flächenheizung.
- Zukunftsperspektive:** Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im Fernwärmeverbund der Mainova AG reduzieren sich auch die Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung des Quartiers.

Eine kostengünstige und gleichzeitig energieeffiziente Option zum Anschluss der Reihenhäuser an das Wärmenetz stellen sogenannte Kopfstationen dar. Das bedeutet, dass eine Reihe von Häusern eine gemeinsame Übergabestation inkl. Anschlussleitung an das Wärmenetz hat und die Wärmeverteilung zu den einzelnen Gebäuden bzw. Abnehmern über Leitungen im Untergeschoss oder in Medienkanälen erfolgt. Eine schematische Darstellung ist in Abb. 83 zu finden.

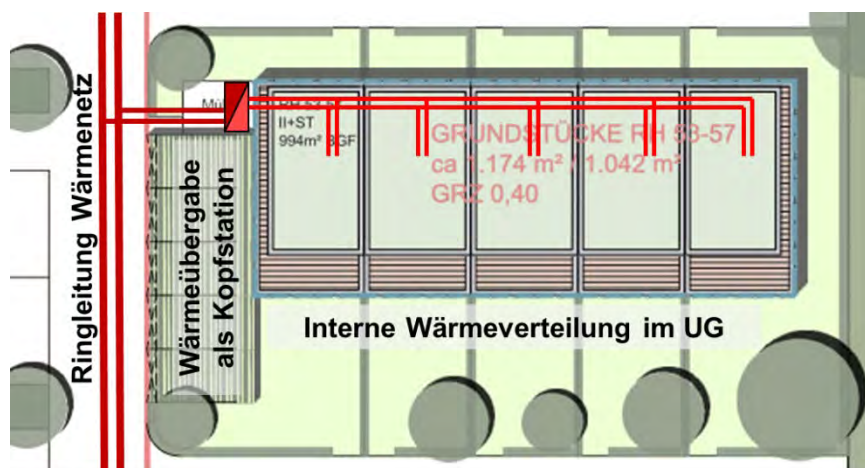


Abb. 83: Schematische Darstellung des Anschlusses einer Häuserreihe an das Wärmenetz mittels gemeinsamer Kopfstation.
 (Plan © Büro K. Eismann & Partner, Frankfurt vom 19.03.2018).



5.6 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Eine tabellarische Übersicht der prognostizierten Energie-Bilanz der drei Hauptvarianten ist in Tab. 95 gegeben. Eine entsprechende graphische Darstellung der Ergebnisse ergänzt um einige Untervarianten ist in Abb. 84 zu finden. Die daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen aller Varianten sind für unterschiedliche Bezugsjahre in Abb. 85 dargestellt. Die zugehörige tabellarische Übersicht der Ergebnisse für die drei Hauptvarianten ist in Tab. 96 zu finden.

Tab. 95: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets An der Sandelmühle.

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK+ST	EWS-WP + PV	FernW + PV
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Quartier-Mix ¹	Quartier-Mix ¹
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix ²	Mix ²
Energiebedarf³ in MWh/a	2.490	2.280	2.280
Energieeinsatz⁴ in MWh/a	= 2.540	2.330	2.410
davon Wärme/Kälte aus lokalen Energieträgern⁵ in MWh/a	+ 290	1.050	20
davon Strom aus lokalen Energieträgern in MWh/a	+ 0	370	280
Autarkiegrad durch lokale Energieträger ^{6,7}	11%	61%	12%
zusätzlicher Strom ins Netz eingespeist in MWh/a	0	200	290
davon Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	+ 2.250	910	2.110
bez. auf EBF ⁸ in kWh/(m ² a)	81	33	76
bez. auf NBL ⁹ in MWh/(ha a)	744	301	697
bez. auf Einw. in kWh/(EW a)	3.371	1.363	3.161
anteilig bez. auf Referenz	100%	40%	94%
bez. auf Energiebedarf	0,90	0,40	0,93

- 1) Quartier-Mix bedeutet alle Mehrfamilienhäuser als Passivhäuser, alle Reihenhäuser als KfW EH 55.
- 2) Entsprechend dem Quartier-Mix der Energiestandards haben die KfW-EH 55 Abluftanlagen und die Passivhäuser Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung.
- 3) Der Wärme-/Kältebedarf entspricht der Nutzenergieabgabe ab Erzeuger/Übergabe an die Gebäude, der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf der Gebäude.
- 4) Der Energieeinsatz entspricht der Summe aller zur Deckung des Energiebedarfs im Quartier erzeugten bzw. von extern zugeführten erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger.
- 5) Fernwärme wird nicht als lokaler Energieträger betrachtet.
- 6) Der Autarkiegrad entspricht dem relativen Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger (Solar-, Umwelt-, Wasser-, Windenergie) sowie Abwärme am gesamten Energieeinsatz.
- 7) Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 8) Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

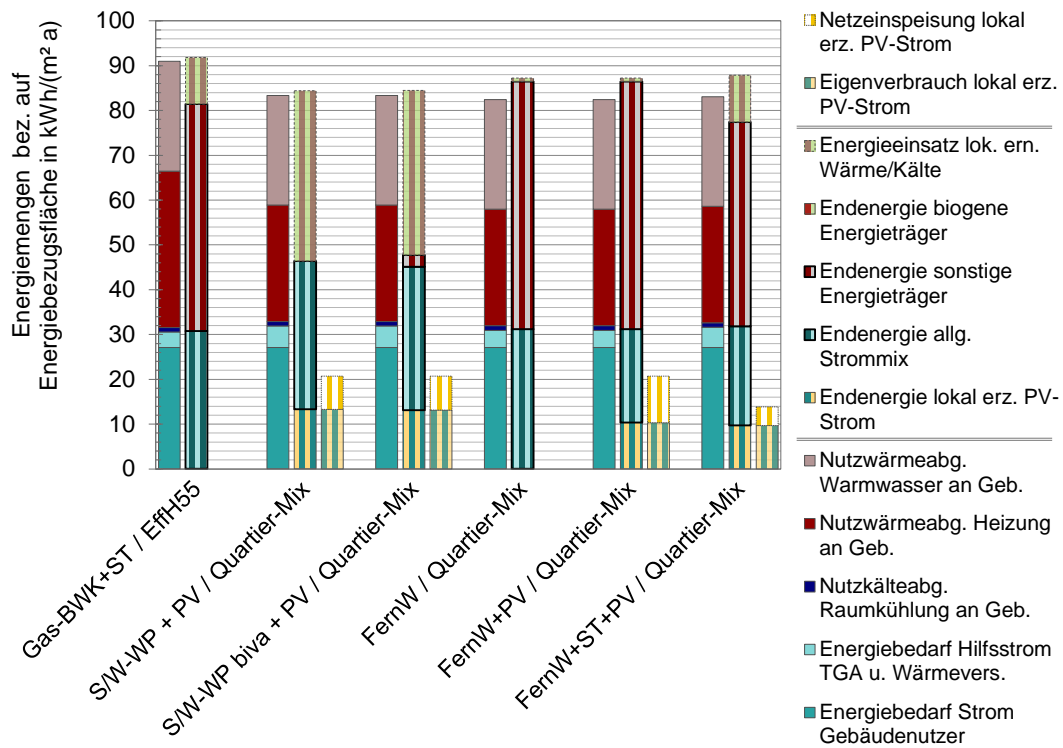


Abb. 84: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet An der Sandelmühle.

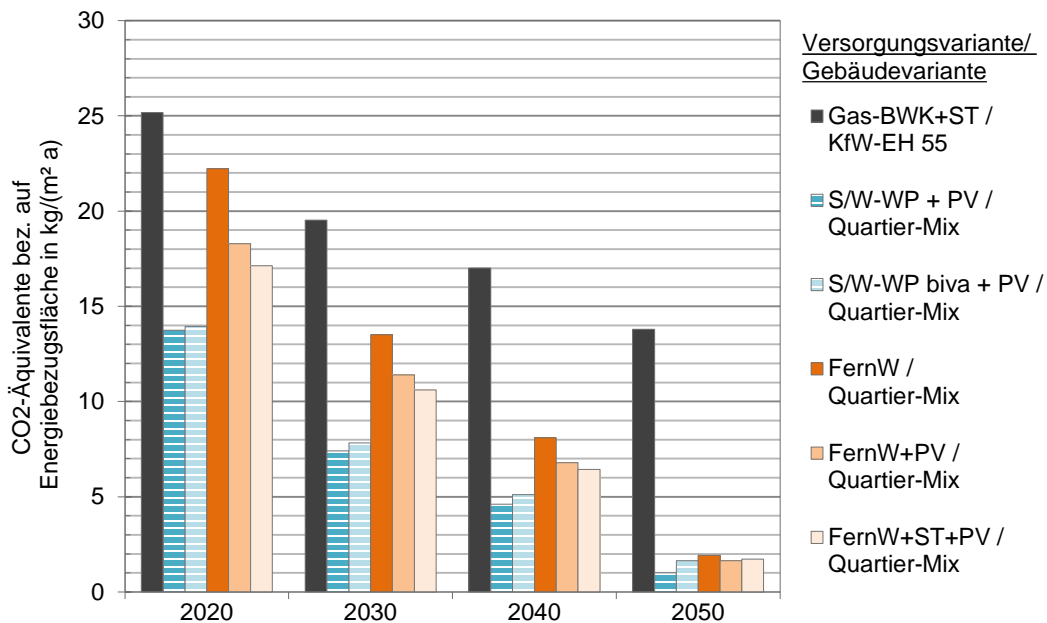


Abb. 85: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet An der Sandelmühle (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Tab. 96: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet An der Sandelmühle (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	EWS-WP + PV	FernW + PV
Qualität der Gebäudehülle	<i>EH 55</i>	Quartier-Mix *	Quartier-Mix *
Art der Lüftungsanlage	<i>Abluft</i>	Mix *	Mix*
CO₂-Äquivalente <u>2020</u> in t/a	696	380	506
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	25,2	13,7	18,3
anteilig bez. auf Ref. 2020	100%	55%	73%
CO₂-Äquivalente <u>2030</u> in t/a	540	205	315
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	19,5	7,4	11,4
anteilig bez. auf Ref. 2020	78%	29%	45%
CO₂-Äquivalente <u>2040</u> in t/a	470	127	187
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	17,0	4,6	6,8
anteilig bez. auf Ref. 2020	68%	18%	27%
CO₂-Äquivalente <u>2050</u> in t/a	381	28	45
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	13,8	1,0	1,6
anteilig bez. auf Ref. 2020	55%	4%	7%

* Erläuterungen zu Abkürzungen und Definitionen finden sich auf den vorherigen Seiten.

5.7 Ökonomische Bewertung

Je nachdem welche Variantenkombination von Wärmeversorgung und Gebäude (Hülle / Lüftung) betrachtet wird, kann ein bestimmter Gebäude-Energiestandard erreicht werden und es ergeben sich entsprechende Indikatoren im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit für die Eigentümer bzw. Nutzer der Gebäude.

5.7.1 Indikatoren und Energiestandards

Mittels folgender Indikatoren werden die Variantenkombinationen verglichen:

- Die **Investitionen** dienen als Maß für den wirtschaftlichen Ressourceneinsatz. Alle Investitionen sind Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018). Es werden nur relevante Investitionen einbezogen, die zum einen maßgeblich für die Wärmeversorgung der Gebäude sind und zum anderen zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Im Detail werden berücksichtigt:
 - Zusätzliche Investitionen für einen verbesserten Dämmstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 hinausgeht.
 - Investitionen für Komponenten zur Lüftung und Wärmeversorgung, sofern diese zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Beispielsweise werden Warmwasser-Verteileitungen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind, nicht berücksichtigt.
 - Aussagekräftig sind folglich die Differenzen der Investitionen der verglichenen Varianten, nicht aber die absoluten Ergebnisse einer einzelnen Variante.
- Die durchschnittlichen **Betriebskosten pro Monat** (im ersten Jahr) dienen als Maß für die laufenden Kosten nach heutigem Stand.
- Die **Annuitäten der Kosten und Erlöse** dienen als Maß für die Wirtschaftlichkeit. Die Annuitäten wurden in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

Berechnet werden die Indikatoren für folgende Mustergebäude:

Mustergebäude 1:

Reihenhaus mit 1 WE.

Geschosse: zwei Vollgeschosse plus Staffelgeschoss,
mit teilw. beheiztem Kellergeschoss.

Geschossfläche: 212 m² (einschließlich Staffelgeschoss).

Energiebezugsfläche: 170 m² (beheizte Wohnfläche).

Mustergebäude 2:

Mehrfamilienhaus mit 21 WE.

Geschosse: drei Vollgeschosse plus Staffelgeschoss,
über Tiefgarage.

Geschossfläche: 2.050 m² (einschließlich Staffelgeschoss).

Energiebezugsfläche: 1.640 m² (beheizte Wohnfläche).

Die Ausführungen der Mustergebäude werden nachfolgend für die mit einer Wärmeversorgungsvariante erreichbaren Gebäude-Energiestandards beschrieben:

EnEV Gas-BW+ST:
(Referenz)

Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage.

EnEV S/W-WP:

Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, dez. S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden.

EnEV FernW:

Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.

EH55 S/W-WP:

Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden.

EH55 FernW:

Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.

PH S/W-WP:

Gebäudehülle entspr. PH, Abluftanlage, dez. S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden.

PH FernW:

Gebäudehülle entspr. PH, Abluftanlage Anschluss an das Fernwärmeverbundsystem.

PH KA:

Gebäudehülle entspr. PH, Zu-/Abluftanlage mit WRG und Kompaktaggregat (nur für Reihenhäuser).

5.7.2 Vergleich der Investitionen

Reihenhaus

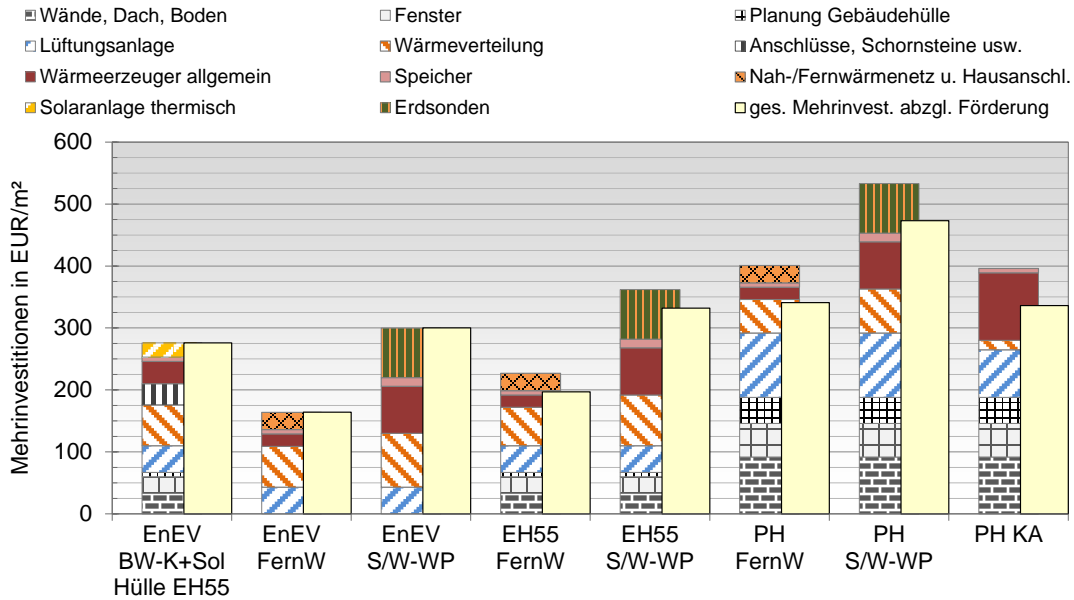


Abb. 86: Investitionen der Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet An der Sandelmühle.

Mehrfamilienhaus

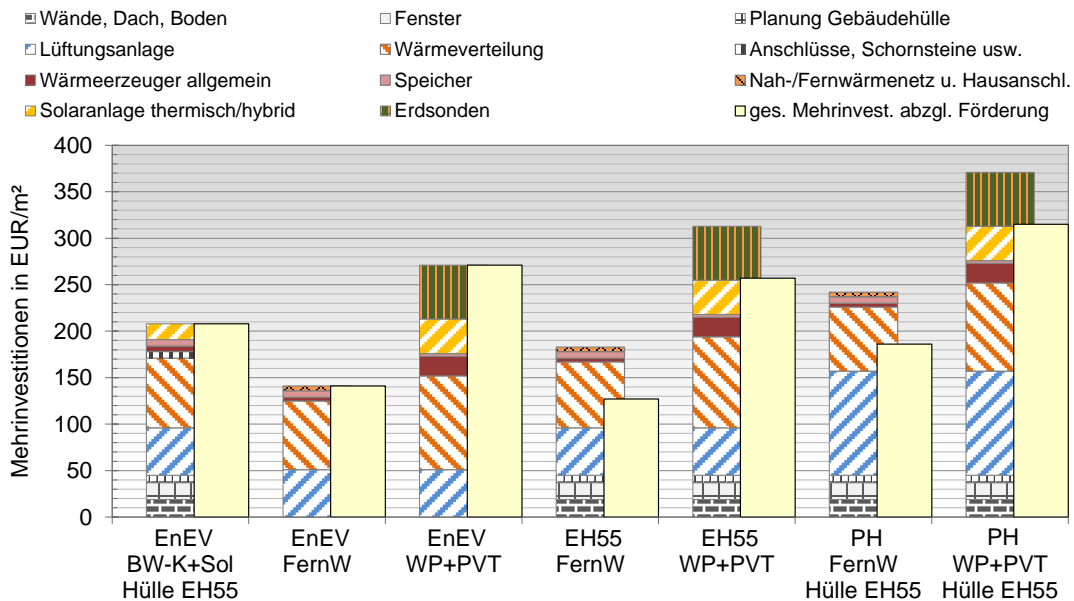


Abb. 87: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet An der Sandelmühle.

5.7.3 Vergleich der monatlichen Betriebskosten (1. Jahr)

Reihenhaus

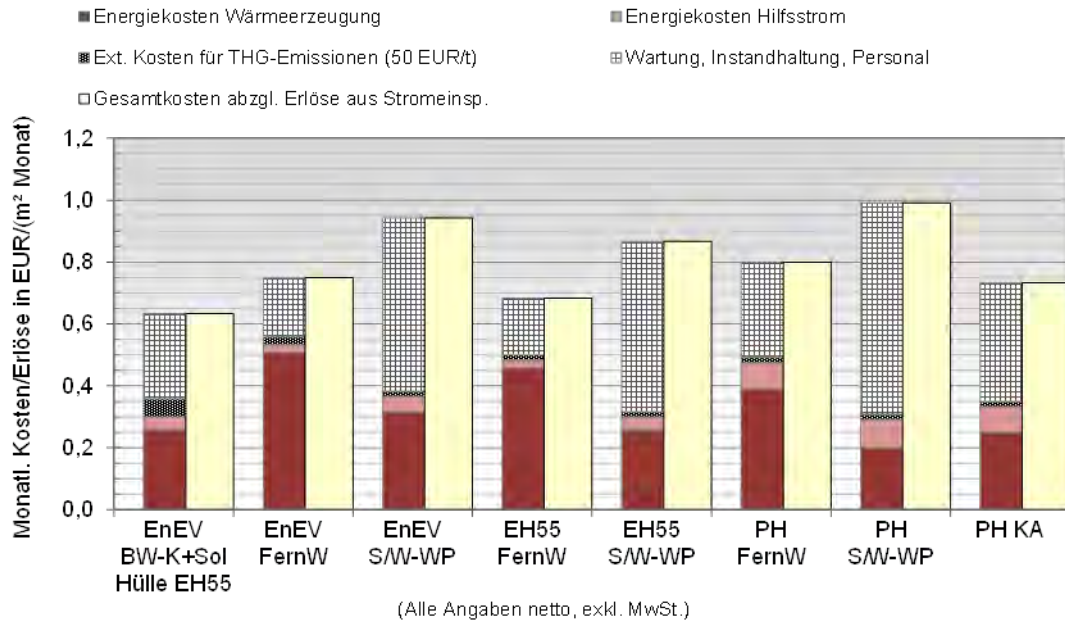


Abb. 88: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet An der Sandelmühle.

Mehrfamilienhaus

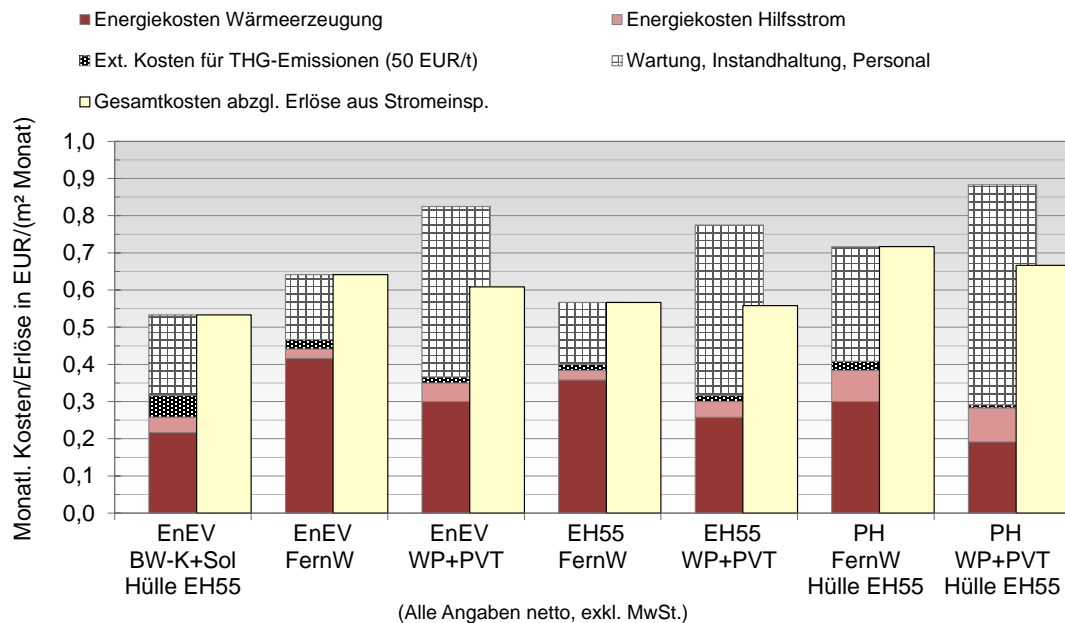


Abb. 89: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet An der Sandelmühle.

5.8 Fazit und Empfehlung

Das städtebauliche Konzept für das Quartier An der Sandelmühle sieht eine Kombination von Reihenhäusern und Mehrfamilienhäusern (mit bis zu fünf Geschossen) vor. Damit werden die für Wohngebiete zulässigen Maße der baulichen Nutzung erreicht. Positiv aus energetischer Sicht ist, dass weder Einfamilien- noch Doppelhäuser geplant wurden, welche im Punkte Gebäudekompaktheit sehr ungünstig sind. Die Erstellung des Passivhaus-Standards erfordert zwar auch bei Reihenhäusern einen Mehraufwand gegenüber den Mehrfamilienhäusern, jedoch sind Passivhaus-Reihenhäuser bei guter Ausrichtung der Hauptfassade (Süd-West bis Süd bis Süd-Ost) und ausreichender Länge der Reihe noch gut darstellbar.

Allgemein reicht heute für Reihenhäuser oder Mehrfamilienhäuser mit Gebäudehülle nach EnEV-Referenzgebäude und Abluftanlage die Ergänzung des gebäudezentralen Gas-Brennwertkessels mit einer thermischen Solaranlage zur Trinkwassererwärmung alleine nicht aus, um die Anforderungen der EnEV 2016 zu erfüllen. Erforderlich ist mindestens eine Gebäudehülle entsprechend dem KfW EH 55 Standard. Für Mehrfamilienhäuser muss zusätzlich entweder die thermische Solaranlage vergrößert oder die Qualität der Gebäudehülle gegenüber dem KfW EH 55 Standard noch etwas verbessert werden.

Empfehlungen zum Gebäude-Energiestandard

- Es wird empfohlen die Gebäudehülle aller Neubauten entsprechend dem KfW Effizienzhaus 55 oder besser auszuführen. Aus energetischer (und ökologischer) Sicht hat die verbesserte Gebäudehülle Vorteile gegenüber der Ausführung nach EnEV-Referenzgebäude, welche ökonomisch betrachtet insbesondere den Nutzern zu Gute kommen. Kombiniert mit den beiden vorgeschlagenen Versorgungsvarianten kann ohne weitere Maßnahmen der KfW Effizienzhaus 55 Standard erreicht werden. Die dafür mögliche Förderung wiegt die aus Investorensicht notwendigen Mehrinvestitionen ganz oder teilweise auf.
- Im Passivhaus-Standard sollten vorrangig die Mehrfamilienhäuser und jene Reihenhäuser mit guter Ausrichtung der Hauptfassade und mindestens vier Wohneinheiten in einer Reihe erstellt werden.
- Bei den Mehrfamilienhäusern kann der Passivhaus-Standard bereits durch den zusätzlichen Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden. Aus ökologischer Sicht hat dies umso größere Vorteile desto höher der Emissionsfaktor der Wärmeversorgung ist.
- Bei den Reihenhäusern wird zur Erreichung des Passivhaus-Standards neben der Lüftung mit WRG eine verbesserte Gebäudehülle benötigt, durch welche

zusammen mit den vorgeschlagenen Wärmeversorgungsvarianten der KfW Effizienzhaus 40 Standard erreicht wird. Ein nennenswerter Anteil der Mehrinvestitionen kann durch die mögliche erhöhte Förderung aufgewogen werden. Wird darüber hinaus eine PV-Anlage mit Batterie-System über ein Contracting-Modell umgesetzt, kann ohne weitere Investitionen der KfW Effizienzhaus 40 Plus Standard erreicht werden.

In der nachfolgenden tabellarischen Übersicht sind die Ergebnisse der beiden vorgeschlagenen Wärmeversorgungsvarianten denen Referenzvariante gegenüber gestellt:

Versorgungsvariante	Referenz: Erdgas	Vorschlag 1: Erdwärme	Vorschlag 2: Fernwärme
zentrale/dezentrale Erzeuger	gebäudezentrale Gas-BW-Kessel	gebäude-/blockzentrale Wärmepumpen	gebietszentrale FW-Versorgung
Gebäude-Energiestandard	EnEV	RH KfW EH 55, MFH PH	RH KfW EH 55, MFH PH
ENERGIE/AUTARKIE			
Energieeinsatz in MWh/a	2.540	2.330	2.410
Autarkiegrad	11%	61%	12%
<i>durch folgende lokale Energieträger</i>	Solarthermie	Erdwärme, Solarstrom, (Solarthermie)	Solarstrom
Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	2.250	910	2.110
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	81	33	76
<i>Haupt-Endenergieträger für Wärmeanwendungen</i>	Erdgas	Strommix	Fernwärme
TREIBHAUSGASE			
CO ₂ -Äquivalente <u>2020</u> in t/a	696	380	506
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	25,2	13,7	18,3
CO ₂ -Äquivalente <u>2050</u> in t/a	381	28	45
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	13,8	1,0	1,6
WIRTSCHAFTLICHKEIT MFH KfW EH 55			
Energetisch relevante Investitionen (netto) abzgl. Förderung bez. auf EBF in EUR/(m ²)	218	267	137
Monatliche Betriebskosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² M)	0,54	0,57	0,58
Annuitätische Gesamtkosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² a)	23	24	17

Die Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen und Erdwärmekollektoren kombiniert mit Solarstromerzeugung auf den Dachflächen weist das größte Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energieträger auf. Bis zu 61 % der benötigten

Energie könnte auf dem Gebiet selbst erzeugt werden. Da die Fernwärme dem Quartier vollständig von außen zugeführt werden muss, wird die Herausforderung der klimaschonenden Wärmeversorgung mit dieser Variante größtenteils auf die Stadt bzw. die Region verlagert.

Beide vorgeschlagenen Varianten emittieren heute und in Zukunft signifikant weniger Treibhausgase als die Referenzvariante. Dabei hat die Variante mit Erdwärmennutzung das größte Potenzial zur Reduktion der Emissionen. Die Treibhausgasemissionen bei einer Versorgung mit Fernwärme lägen bezogen auf 2020 etwa 33 % höher, in der langfristigen Prognose für 2050 aber nur noch geringfügig höher als bei der Erdwärme-Variante. Unter der Voraussetzung dass die bundes- bzw. landesweiten Klimaschutzziele für den Strommix erreicht werden, können die Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt für 2050 mit beiden vorgeschlagenen Varianten erreicht oder sogar übertroffen werden. Bei der Fernwärme-Variante muss zusätzlich die Transformation zur „grünen Fernwärme“ gelingen.

Die Versorgung mit Fernwärme weist aus heutiger Sicht die niedrigsten Zusatzinvestitionen und die niedrigsten annuitätischen Mehrkosten auf, was diese Variante aus ökonomischer Sicht für Investoren besonders attraktiv macht. Auch aus Nutzersicht ergeben sich keine nennenswerten Nachteile gegenüber der Referenzvariante, da die Betriebskosten der Fernwärme nur geringfügig höher ausfallen. Dies gilt auch für die Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen. Allerdings fallen die Zusatzinvestitionen bei letzterer Variante auf Grund der Erschließung des Erdreichs deutlich höher aus.

Empfehlungen zur Energieversorgung

- Es wird empfohlen alle Dachflächen der Gebäude zur Solarenergiegewinnung zu nutzen.
- Im Hinblick auf die Wärmeversorgung mit Fernwärme wird empfohlen, die Umsetzbarkeit zu prüfen sowie die damit verbundenen zusätzlichen Investitionen bzw. Baukostenzuschüsse des Anschlusses an den Fernwärmeverbund der Mainova AG sowie der Erschließung des Gebiets selbst zu ermitteln und diese in die ökonomische Bewertung aufzunehmen.

[...]

- Zusätzlich sollten bei einer Wärmeversorgung mit Fernwärme folgende Aspekte in Betracht gezogen werden:
 - Anschluss des Gebiets an den Rücklauf der Fernwärme,

- Verwendung von Wohnungsübergabestationen in den Mehrfamilienhäusern zu Erhöhung der Gesamteffizienz und zur Reduktion der Vor- und Rücklauftemperaturen,
- Kostengünstige und energieeffiziente Anbindung der Reihenhäuser über Kopfstationen.

6 Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung

6.1 Beschreibung des Gebiets

Mit dem geplanten Neubaugebiet „Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung“ soll der Stadtteil Eschersheim nach Nordosten erweitert werden. Die Grundlage für das Klimaschutzteilkonzept bilden der Siegerentwurf des städtebaulichen und landschaftsplanerischen Ideenwettbewerbs Frankfurt-Eschersheim der Bürogemeinschaft Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg, vom Oktober 2018 (siehe Abb. 90) mit der zugehörigen Flächenberechnung und einem 3D-Modell sowie mündliche Aussagen des zuständigen Sachbearbeiters. Die grundlegenden Informationen zum Baugebiet sind nachfolgend zusammengefasst.

Bebauungsplan:	Nr. 902,
Stadtteil:	Eschersheim,
Lage im Stadtgebiet:	im Norden des Stadtgebiets.
Konzipierte Bebauung:	Allg. Wohngebiet konzipiert für ca. 1.700 Einwohner in 850 Wohneinheiten verteilt auf
Wohngebäude:	6 Wohnblöcke (Geschosswohnungsbauten mit max. 6 Geschossen umrahmen sog. Wohnhöfe).
Öffentliche Gebäude:	Schulstandort mit Grundschule, Kita u. Sporthalle.
Sonstige Nichtwohngeb.:	Supermarkt, Quartiersgarage.
Bauliche Kennwerte:	entspr. Siegerentwurf vom Okt. 2018 sowie Weiterentwicklung vom April 2019 und eigenen Berechnungen.
Brutto-Bauland:	21,46 ha (100 %),
Netto-Bauland ¹ :	5,50 ha (26 %),
Grundflächenzahl ² :	0,43,
Geschossflächenzahl:	1,80.

³) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

⁴) Berechnung der Grundflächenzahl nur für Hauptgebäude ohne Garagen, Stellplätze, Nebenanlagen etc.

Von der Weiterentwicklung des Entwurfs vom April 2019 wurde nur die Vergrößerung des am kleinen Waldstück südlich des Gebiets angedachten Schul- & Kita-Gebäudes (geschätzte Bruttogeschossfläche von 8.000 m² statt ursprünglich 2.400 m²) berücksichtigt. Alle für die Bedarfsprognose angenommenen Flächen und Nutzungen der konzipierten Bebauung sind in Tab. 97 dargestellt.

Tab. 97: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

Nutzung	Brutto-grundfläche ¹		Energie-bezugsfläche ²		Dachflächen mit Solarpotenzial ¹	
	m ²	Anteil	m ²	Anteil	m ²	Anteil
Wohnen	84.280	84%	67.420	83%	8.700	46%
GHD	6.850	7%	5.990	7%	6.040	32%
Öffentlich¹	9.450	9%	8.260	10%	4.360	23%
Gesamt	100.580	100%	81.670	100%	19.100	100%

1) Geschätzte Brutto-Grundfläche, wobei die Quartiers-Garage nicht eingerechnet wurde. Diese wurde nur bei den Dachflächen mit Solarpotenzial berücksichtigt und hier der öffentlichen Nutzung zugeordnet.

2) Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.



Abb. 90: Städtebauliches und landschaftsplanerisches Konzept des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung vom Okt. 2018 (Quelle: Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg).

6.2 Energetische Bewertung des Städtebaus

Für die energetische Bewertung des städtebaulichen Konzepts wurden drei Hauptkriterien betrachtet:

- Kompaktheit der Baukörper zur Minimierung der Energieverluste über die Gebäudehülle
- bestmögliche Bestrahlung der Fassaden durch Orientierung nach Süden und Vermeidung von Verschattungen der Baukörper zur Maximierung der passiven solaren Energiegewinne (passive Solarenergienutzung)
- Besonnungsdauer am 17. Januar von mindestens einer Stunde in mindestens einem Aufenthaltsraum je Wohnung (vgl. DIN 5034-1:2011-07)

Anhand eines 3D-Modells des städtebaulichen Entwurfs wurde eine Solarstudie durchgeführt, mit der die Besonnungsdauer am 17. Januar und die solare Einstrahlung auf die Fassaden in den Monaten März und April untersucht wurde. Die graphische Darstellung der Ergebnisse sind in Abb. 91 (Besonnungsdauer) und in Abb. 92 (solare Einstrahlung) abgebildet.

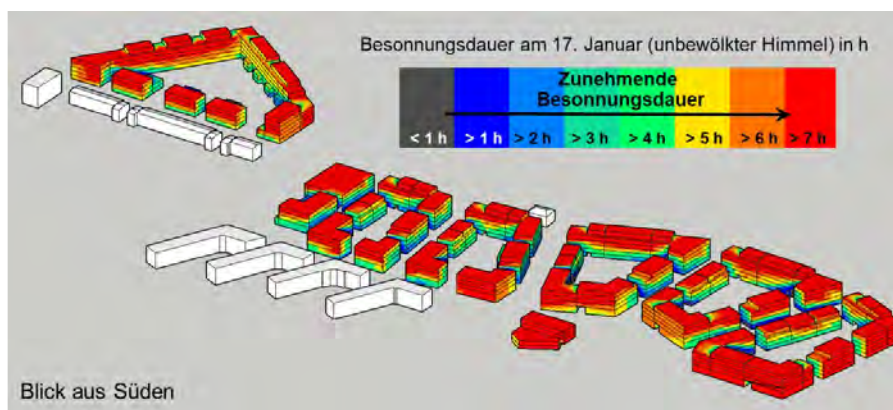


Abb. 91: Darstellung der Besonnungsdauer auf den Fassaden am 17. Januar mit Blick aus Süden

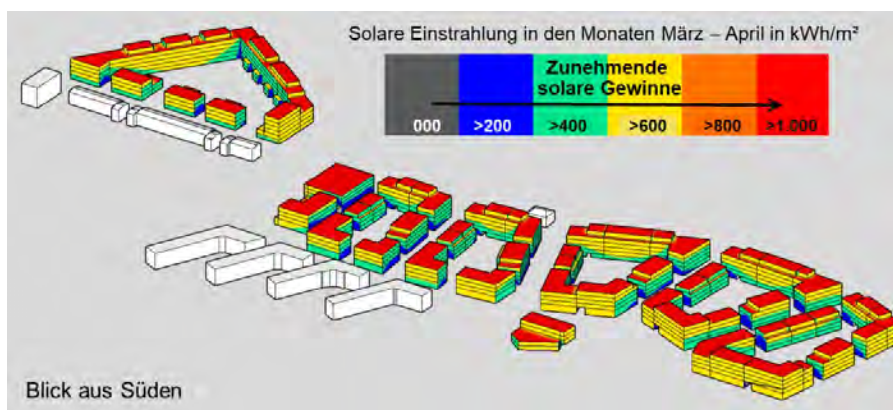


Abb. 92: Darstellung der solaren Einstrahlung auf die Fassaden im März und April

Insgesamt ist das vorliegende städtebauliche Konzept im Hinblick auf die Kompaktheit der Baukörper, die passive Solarenergienutzung sowie die Besonnungsdauer der Fassaden als gut zu bewerten. Nachfolgende Punkte sollten beachtet bzw. könnten verbessert werden.

6.2.1 Solare Optimierung des städtebaulichen Konzepts

Die in Abb. 93 mit **A** bis **C** gekennzeichneten zweigeschossigen Gebäudeteile werden durch die südlich/südwestlich angeordneten viergeschossigen Gebäudeteile stark verschattet. Bei den Gebäudeteilen **B** und **C** wird die Besonnungsdauer von einer Stunde am 17. Januar an keiner, bei Teil **A** gerade an einer Fassade erreicht. Es wird empfohlen entweder die Orientierung/Anordnung der Gebäudeteile anzupassen oder eine Nicht-Wohn-Nutzung der zweigeschossigen Teile vorzusehen. Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass für das in Abb. 93 mit **D** gekennzeichnete bestehende Mehrfamilien-Wohngebäude eine starke Reduktion der Bestrahlung und der Besonnungsdauer durch die geplanten Neubauten hervorgerufen wird. Die empfohlene Besonnungsdauer von mindestens einer Stunde am 17. Januar kann jedoch nahezu auf den gesamten südöstlich und südwestlich orientierten Fassaden erreicht werden.

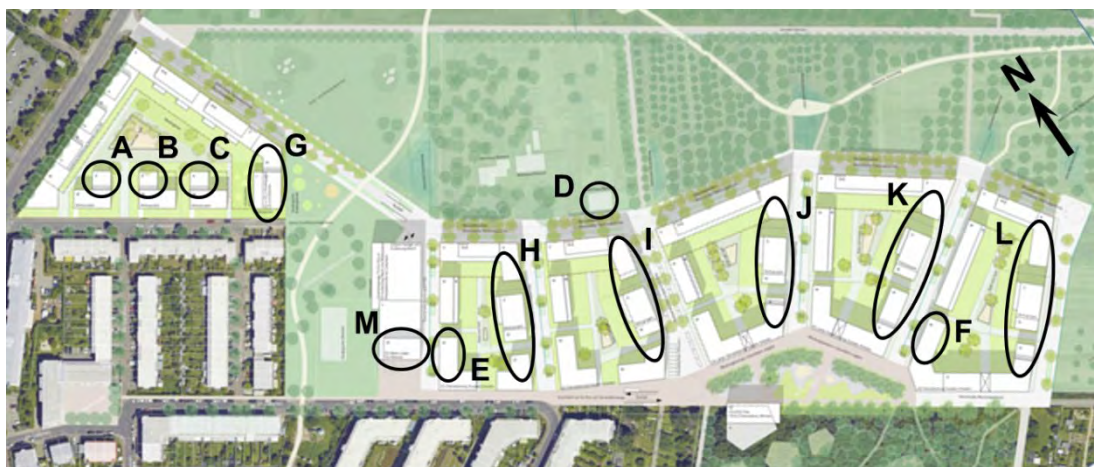


Abb. 93: Städtebauliches Konzept mit Bezeichnungen für genannte Baukörper (Quelle: Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg / eigene Bearbeitung).

6.2.2 Weitergehende Optimierung bei der Planung auf Gebäudeebene

Für alle anderen geplanten Gebäude lässt sich die Besonnungsdauer eines Aufenthaltsraumes einer Wohnung von mindestens einer Stunde am 17. Januar meist durch eine geeignete Gestaltung/Anordnung der Wohnungsgrundrisse bzw. der zugehörigen Fensterflächen erreichen. Generell sollte eine Wohnung niemals ausschließlich Fensterflächen an Fassaden mit nordwestlicher bis nordöstlicher

Orientierungen haben. Genau betrachtet werden sollten bei einigen Gebäudeteilen das Erdgeschoss sowie das 1. und 2. Obergeschoss. Beim in Abb. 93 mit **E** gekennzeichneten Gebäudeteil wird am 17. Januar im gesamten Erdgeschoss und großen Teilen des 1. Obergeschosses an keiner Fassade die Besonnungsdauer von einer Stunde erreicht. Beim mit **F** gekennzeichneten Gebäudeteil gilt dasselbe für die beiden Fassaden in Längsrichtung. Hier könnte in den unteren Stockwerken eine Nicht-Wohn-Nutzung vorgesehen werden. Weiterhin wird für die in Abb. 93 mit **G** bis **L** gekennzeichneten Gebäudeteile empfohlen den größeren Anteil der Fensterflächen auf den besser besonnten Süd-Ost-Fassaden hin zu den Wohnstraßen anstatt den Wohnhöfen anzuordnen, um die passive Solarenergienutzung zu verbessern.

6.3 Energiebedarfsprognose

Basierend auf den bereits dargestellten Energiekennwerten und der konzipierten Bebauung wurden mittels der abgeschätzten Energiebezugsfläche der Gebäude der Wärme-, Kälte- und Strombedarf für das gesamte Gebiet hochgerechnet. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tab. 98 zu finden.

Tab. 98: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH ¹	Ffm.-Mix ²
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf³ in MWh/a	5.190	4.430	3.330	3.960
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	64	54	41	48
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	944	806	606	721
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	3.053	2.606	1.959	2.329
Strombedarf⁶ in MWh/a	2.540	2.530	2.720	2.610
bez. auf EBF ⁴ in kWh/(m ² a)	31	31	33	32
bez. auf NBL ⁵ in MWh/(ha a)	462	460	495	475
bez. auf Einwohner in kWh/(EW a)	1.494	1.488	1.600	1.535
Ges. Energiebedarf in MWh/a	7.730	6.960	6.050	6.570
rel. Anteil Wärmebedarf	67%	64%	55%	60%
rel. Anteil Strombedarf	33%	36%	45%	40%
zusätzl. potenzieller Kältebedarf für Raumkühlung in MWh/a	100			

⁷⁾ Passivhaus-Gebäudehülle bei Mehrfamilienhäusern etwa wie KfW-EH 55, bei Reihenhäusern und Doppelhäusern etwa wie KfW-EH 40.

⁸⁾ Frankfurter Mix bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, restl. Gebäude als KfW-EH 55.

- 9) Der Wärmebedarf entspricht der erforderlichen Nutzwärmeabgabe für Heizung und Trinkwassererwärmung ab Wärmeerzeuger/Übergabe an die Gebäude.
- 10) Die Energiebezugsfläche entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 11) Das Netto-Bauland entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.
- 12) Der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf des Gebiets für Stromanwendungen inkl. Elektromobilität.

6.3.1 Wärmebedarf

Die Aufteilung des prognostizierten Wärmebedarfs ist in Tab. 99 gezeigt. Im geplanten Neubaugebiet wurde kein Bedarf an Prozesswärme identifiziert. Detaillierte Angaben zum prognostizierten Wärmebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung sind in Tab. 100 aufgeführt.

Tab. 99: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf der vorherigen Seite.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Wärmebedarf Raumheizung u. Warmwasser in MWh/a	5.190	4.430	3.330	3.960
Relativ zu EnEV 2016	100%	85%	64%	76%
Anteil Warmwasser	34%	40%	53%	44%
Wärmebedarf Prozesswärme in MWh/a	0			
Anteil am ges. Bedarf	0%	0%	0%	0%
Gesamter Wärmebedarf in MWh/a	5.190	4.430	3.330	3.960

Tab. 100: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf der vorherigen Seite.)

		Raumheizung				Warmwasser	
		EnEV16	EH 55	PH	Ffm.-Mix	ohne th. Solaranl.	mit th. Solaranl.
Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude nach Nutzung							
Wohnen	MWh/a	2.570	2.030	1.290	1.810	1.690	1.020
GHD	MWh/a	360	270	120	230	10	10
Öffentlich	MWh/a	500	370	170	170	50	30

Kumulierte Wärmeabgaben an Gebäude für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	MWh/a	3.430	2.670	1.580	2.210	1.750	1.060
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	42,0	32,7	19,3	27,1	21,4	13,0
Prozentual	-	100%	78%	46%	64%	100%	61%
Kumulierte Wärmeleistungen* für das geplante Quartier							
Ges. Quartier	kW	2.890	2.370	1.610	2.060	2.210	
Prozentual	-	100%	82%	56%	71%		

* Für die Abschätzung der Wärmeleistungen wurde davon ausgegangen, dass die Wärmeübergabe zur Raumheizung im Durchflussprinzip erfolgen wird, während zur Trinkwassererwärmung gebäude-/blockzentrale Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Die kumulierten Leistungen berücksichtigen keine gebietsweiten Gleichzeitigkeitseffekte. Die Wärmeleistung für Raumheizung basiert auf der erforderlichen Heizleistung nach DIN V 18599.

6.3.2 Kältebedarf

Für das Gebiet wurde ein potenzieller Kältebedarf zur Raumkühlung von etwa 100 MWh/a (Kälteabgabe an die Gebäude) prognostiziert. Neben gebäude- oder wohnungszentralen Kälteanlagen kommt bei einem Erdwärmegestützten Wärmeversorgungskonzept auch die passive Kühlung über das Erdreich zur Deckung dieses Bedarfs in Frage. Sofern wie im Konzept vorgesehen ein Supermarkt im Gebiet eröffnet wird, entsteht zusätzlich ein Bedarf an Prozesskälte zur Kühlung von Lebensmitteln und Getränken.

6.3.3 Strombedarf

Eine Übersicht des für das Gebiet prognostizierten Strombedarfs ist in Tab. 101 und Tab. 102 gezeigt.

Tab. 101: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf den vorherigen Seiten.)

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
(Hilfs-) Strombedarf für Heizung u. Lüftung in MWh/a	160	150	340	230
Relativ zu EnEV 2016	100%	94%	213%	144%
Strombedarf für Nutzung* in MWh/a	2.020			
Strombedarf für E-Mobilität in MWh/a	360			
Gesamter Strombedarf in MWh/a	2.540	2.530	2.720	2.610
Anteil Heizung/Lüftung	6%	6%	13%	9%
Anteil Nutzung	80%	80%	74%	77%
Anteil E-Mobilität	14%	14%	13%	14%

* Strombedarf für Nutzung der Gebäude inkl. Allgemeinstrom und Straßenbeleuchtung

Tab. 102: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

(Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf den vorherigen Seiten.)

		Strom für Nutzung	Strom für E-Mobilität
Haushalte	MWh/a	1.570	260
GHD	MWh/a	280	80
Öffentlich	MWh/a	170	20
Industrie	MWh/a	0	0
Ges. Quartier	MWh/a	2.020	360
bez. auf EBF	kWh/(m ² a)	24,7	4,4

6.4 Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale

In diesem Abschnitt werden die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger sowie die lokalen Erzeugungspotenziale lokaler (erneuerbarer) Energieträger im geplanten Quartier und in dessen nächster Umgebung dargelegt.

6.4.1 Leitungsgebundene Energieträger

Erdgas

Die Anne-Frank-Siedlung, die südwestlich an das Baugebiet angrenzt, ist bereits an das Erdgas-Netz angeschlossen. Im Berkersheimer Weg am nordwestlichen Ende des Plangebiets und in der Straße Am Gabelacker am südwestlichen Ende des

Plangebiets verläuft jeweils eine Erdgasleitung (PE-Leitung mit 160 mm Nennweite). Es wird davon ausgegangen, dass genug Kapazitäten vorhanden sind, um das Baugebiet mit Erdgas zu versorgen. Die dafür benötigte Infrastruktur müsste im Zuge der Erschließung errichtet werden.

Nah-/Fernwärme

Durch die Lage am äußeren Rand des Stadtgebiets sind die Voraussetzungen für den Anschluss des Baugebiets an die Fernwärme Versorgung der Mainova AG eher ungünstig. Die Entfernung zum derzeitigen Ausbaubereich der Fernwärme im Westen (Stadtteil Heddernheim) beträgt etwa 1,4 km. Ein Nahwärmenetz der Mainova AG (Stadtteil Frankfurter Berg) befindet sich in einer Entfernung von etwa 1,0 km östlich des Baugebiets auf der anderen Seite der Autobahn. Es wird davon ausgegangen, dass weder der Anschluss an die Fernwärme noch an das Nahwärmenetz wirtschaftlich umsetzbar ist.

Strom

Das Baugebiet wird mit Strom aus dem öffentlichen Netz versorgt werden. Es wird davon ausgegangen, dass genug Kapazitäten zum Anschluss des Gebiets vorhanden sind.

6.4.2 Abwärme

Potenzielle zur Abwärmenutzung aus dem Bestand im Umfeld des Baugebiets gibt es laut dem Abwärmekataster der Stadt Frankfurt nicht. Sofern wie im Konzept vorgesehen ein Supermarkt im Gebiet eröffnet wird, entsteht ein geringes Potenzial zur Abwärmenutzung aus der Prozesskühlung von Lebensmitteln und Getränken. Dieses Potenzial kann bei der Planung der Wärmeversorgung des Supermarkts berücksichtigt werden. Für die hier betrachtete Energieversorgung des gesamten Gebiets wird es nicht berücksichtigt.

6.4.3 Erdwärme

Laut dem Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen (GruSchu) des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) ist der gesamte Geltungsbereich des Bebauungsplans Nr. 902 sowie dessen Umgebung als „hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich günstig“ eingestuft. Dies kann als positive Voraussetzung für die Genehmigung von Anlagen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie betrachtet werden. Im Hinblick auf die Eigenschaften des Erdreichs im Baugebiet lagen keine detaillierten Informationen (Schichtenverzeichnisse von Probebohrungen etc.) vor. Laut dem Fachinformationssystem „Geologie Viewet Hessen“ des HLNUG handelt es sich um „ungegliederte Fließerde“ mit „Ton, Schluff,

oft mit Steinen, Grus und Sand“. Daher wurde die niedrigere Wärmeleitfähigkeit für wassergesättigtes Sediment nach VDI 4640-2 von 1,5 W/(m K) angesetzt.

Verfügbare Flächen

Die potenziellen Flächen zur Errichtung von Erdwärmesonden sind nachfolgend aufgeführt. Flächen mit bestehender Bebauung oder Baumbeständen wurden ausgenommen.

Überbaute Flächen der Grundstücke:	25.260 m ² ,
Nicht überbaute Flächen der Grundstücke:	29.700 m ² ,
Freiflächen ohne Baumbestand im nordwestlichen Teil:	18.700 m ² ,
Freiflächen ohne Baumbestand im südöstlichen Teil:	24.000 m ² .

Die nordöstliche Hälfte des Baugebiets gehört zu einem großflächigen Landschaftsschutzgebiet. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Errichtung von Erdwärmesonden im Landschaftsschutzgebiet genehmigungsfähig ist. Dies sollte zu Beginn der Planungsphase geprüft werden.

Benötigte Flächen

Die daraus abgeschätzten benötigten Flächen zur Errichtung von Erdwärmesonden für eine monovalente Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) mittels Wärmepumpen (mittlere Jahresarbeitszahl von 3,7) und einer 50 %igen Regeneration des Erdreichs in den Sommermonaten sind in Tab. 103 aufgeführt.

Tab. 103: Abgeschätzte Flächen für die Errichtung von Erdwärmesonden zur monovalenten Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

Qualität der Gebäudehülle	EnEV 2016	KfW-EH 55	PH	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Abluft	Zu-/Abluft mit WRG	Mix
Abgeschätzte Flächen für die Errichtung von Erdwärmesonden in m²				
Sonden-Tiefe 100 m, -Abstand 8 m	55.000	43.000	27.000	36.000
Sonden-Tiefe 200 m, -Abstand 10 m	47.000	37.000	23.000	30.000

Wie im Vergleich zu obigen potenziell verfügbaren Flächen zu sehen ist, könnte das Baugebiet für jede Variante der Gebäude potenziell mit Erdwärme versorgt werden, ohne dass die Frei- bzw. Grünflächen jenseits der Baugrundstücke des B-Plan-Gebiets angetastet werden müssten. Die dazu benötigten Sonden(meter) variieren jedoch erheblich, was bei der ökonomischen Bewertung der Versorgungsvarianten zum Tragen kommt.

6.4.4 Solarenergie

Verfügbare Flächen

Basierend auf dem vorliegenden städtebaulichen Konzept wurden folgende potenziell zur Solarenergiegewinnung verfügbare Flächen geschätzt.

Brutto-Dachflächen der Gebäude:		17.700 m ² .
Darin enthalten sind:	Wohngebäude ¹	14.200 m ² ,
	Quartiersgarage	1.200 m ² ,
	Supermarkt ²	0 m ² ,
	Schul- & Kita-Gebäude ¹	2.300 m ² .
Geeignete Fassadenflächen der Gebäude ³ :		7.400 m ² .
Darin enthalten sind:	Wohngebäude	6.500 m ² ,
	Quartiersgarage	200 m ² ,
	Schul- & Kita-Gebäude	700 m ² ,

- 1) Bei Staffelgeschossen wurde nur die Geschosdecke des obersten Geschosses als Dachfläche berücksichtigt.
- 2) Dachfläche von ca. 1000 m² des Supermarkts ist wegen Verschattung durch anderes Gebäude nach vorliegendem Konzept nicht solarenergetisch nutzbar.
- 3) Gesamte Bruttofläche geeigneter Fassaden, jeweils ohne Erdgeschoss.

Neben der Nutzung der Dach- und Fassadenflächen der Gebäude wird empfohlen, auch ausgewählte Freiflächen für die Solarenergiegewinnung vorzusehen. Dadurch könnte das Solarpotenzial signifikant erhöht werden. Freiflächen-Solaranlagen sind kostengünstiger als Dach- oder Fassadenanlagen. Außerdem werden solarenergetisch genutzte Grünflächen in der Regel nicht versiegelt, wodurch sie unter geeigneten Rahmenbedingungen einen ökologischen Mehrwert entfalten können. Generell wird empfohlen bevorzugt Flächen zur Energiegewinnung zu nutzen, deren Eignung für andere Nutzungen bereits eingeschränkt ist. Im Fall des Gebiets Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung sind das in erster Linie die Grünflächen, welche unmittelbar an die Autobahn grenzen. Ein weiteres Potenzial zur Solarenergiegewinnung bietet aus technischer Sicht eine Überbauung der Autobahn. Mit einer Einhausung des Abschnitts der Autobahn nördlich des Gebiets könnten beispielsweise der Schallschutz verbessert und gleichzeitig neue Flächen zur Energiegewinnung geschaffen werden ohne bestehende Grünflächen zu beeinträchtigen.

Potenziale

Die resultierenden Erzeugungspotenziale sind in Abb. 94 dargestellt. Wie darin zu sehen ist könnten etwa 60 % des prognostizierten Gesamtstrombedarfs lokal und erneuerbar im Gebiet erzeugt werden, wenn beispielsweise Photovoltaik-Module auf den Flachdächer und der Grünfläche nahe der Autobahn (jeweils einreihige Aufstellung) sowie auf gut geeigneten Fassaden der Gebäude installiert würden.

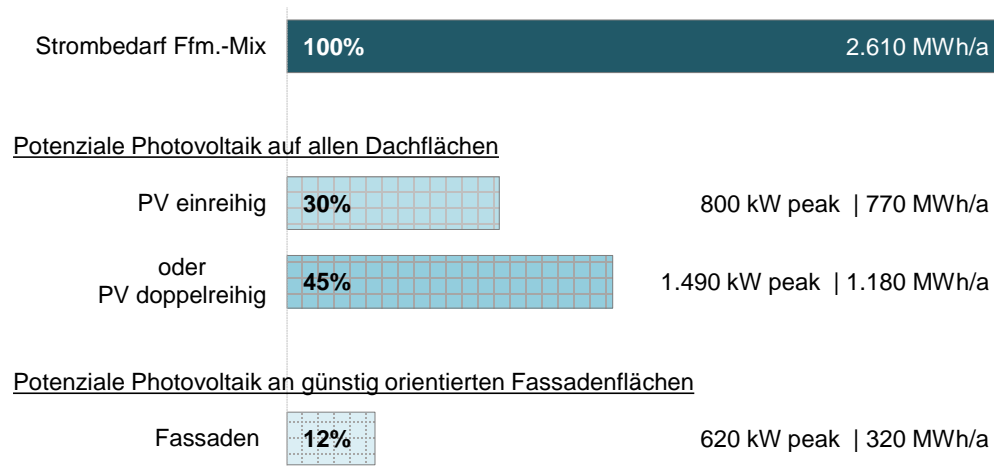


Abb. 94: Gegenüberstellung von Bedarf der geplanten Gebäude und (Erzeugungs-) Potenzialen von Anlagen zur Solarenergiegewinnung auf unterschiedlichen Flächen für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

Anmerkung: Während die potenziell durch solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung erzeugte Wärmemenge annähernd vollständig in den Gebäuden genutzt werden kann, kann nur ein Teil der potenziell erzeugten Strommenge der PV-Anlagen zur Eigenversorgung im Gebiet genutzt werden. Der andere Teil wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und kann in benachbarten Siedlungsgebieten genutzt werden.

Folgende Hinweise zur den abgeschätzten Potenzialen sind zu beachten:

- Zur Abschätzung der für die Solarenergiegewinnung nutzbaren Nettoflächen nach Abzug von nicht nutzbaren Anteilen für Schächte, Fenster/Oberlichter, Randabständen etc. sowie der potenziell installierbaren Modul- bzw. Kollektorflächen wurden die Annahmen in Kapitel I verwendet. Im Hinblick auf die Bestrahlung der Modul- und Kollektorflächen wurden Mittelwerte entsprechend der im Baugebiet vorkommenden Orientierungen der Dachflächen bzw. Fassaden angesetzt.
- Für die Flachdächer sind Potenziale für zwei Varianten angegeben:
 - Aufteilung der Dachflächen zwischen Sonnenkollektoren von solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung und Photovoltaik-Modulen sowie
 - Belegung der Dachflächen ausschließlich mit Photovoltaik-Modulen. Bei dieser Variante ist ergänzend zum Potenzial der „klassischen“ einreihigen Aufstellung der Module (mit einheitlicher Orientierung, einer Neigung von 30° und größeren Reihenabständen) auch das Potenzial einer doppelreihigen Aufstellung (mit paarweise entgegengesetzter Orientierung und flacherer Neigung von 15°) angegeben. Dazu sei angemerkt, dass falls eine extensive Dachbegrünung realisiert werden soll, nur die einreihige Aufstellung in Frage kommt.

6.5 Betrachtete Versorgungsvarianten

Neben einer Referenzvariante wurden – abgestimmt auf die lokalen Potenziale erneuerbarer Energien und die verfügbaren leitungsgebundenen Energieträger – verschiedene Versorgungsvarianten für das Gebiet untersucht. In Tab. 104 ist eine Übersicht der betrachteten Varianten zu finden. In diesem Abschnitt werden die technischen Details der Varianten näher erläutert. Mit Ausnahme der Referenzvariante gilt für alle Varianten, dass die nicht zur Wärmeversorgung belegten Dachflächen mit Photovoltaik-Modulen belegt werden.

Tab. 104: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung.

Akronym	Kurzbeschreibung	VL/RL in °C	Bemerkungen
GEBÄUDE- / BLOCKZENTRALE VARIANTEN			
Gas-BWK +ST	Gas-Brennwertkessel u. Solarthermie (Referenz)	65/45	Referenzvariante mit solarthermischer Anlage zur Trinkwassererwärmung.
EWS-WP	Wärmepumpe mit Erdwärmesonden und PVT-Kollektoren	55/35	Erdwärmenutzung auf Grundstücksflächen, Gebäude mit Flächenheizung und optimierter Wärmeverteilung.
GEBIETSZENTRALE VARIANTE			
NahW +PV (+ST) (+Bio)	Blockheizkraftwerk mit Wärmepumpe mit Photovoltaik-Anlagen (optional dez. ST) (optional Biogas)	75/50	Nahwärmenetz mit gleitendem Betrieb, optional gebäudezentrale Solarthermie zur Trinkwassererwärmung, Gebäude mit Flächenheizung, optional mit optimierter Wärmeverteilung.

6.5.1 Variante „Gas-BWK+ST“: Gas-Brennwertkessel und Solarthermie (Referenz)

Die Wärmeversorgung entsprechend der gesetzlichen Mindestanforderungen erfolgt mittels gebäudezentralen Gas-Brennwertkesseln und solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung. Detailliertere technische Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung:	88 % Gas-Brennwertkessel.
(jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	12 % solarthermische Anlage zur WW-Bereitung
Wärmenetz:	nicht benötigt.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block.

Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik müssen mindestens den Anforderungen an ein KfW Effizienzhaus 55 entsprechen, alle anderen effizienzsteigernden Maßnahmen sind optional.
Zukunftsperspektive:	Keine.

6.5.2 Variante „EWS-WP“: Wärmepumpen mit Erdwärmesonden

Die Wärmeversorgung erfolgt mittels gebäudezentraler bzw. blockzentraler Erdreich-Sole/Wasser-Wärmepumpen und Erdgas-Spitzenlastkessel. Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäude/Blöcke an das bestehende Erdgasnetz des benachbarten Wohngebiets angeschlossen werden können und die Gas-Verteilung innerhalb der Blöcke erfolgt. Somit wäre weder ein eigenes Wärme- noch Gasnetz für das Gebiet erforderlich. Detailliertere Informationen zu der Versorgungsvariante sind nachfolgend aufgeführt.

Wärmeerzeugung: (jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	95 % Sole/Wasser-Wärmepumpen. Als Quelle dienen Erdwärmesonden-Felder unter den Baugrundstücken. 5 % Erdgas-Brennwertkessel für Spitzenlast.
Zusätzlich:	Je nach Bedarf kann die Regeneration des Erdreichs mittels passiver Kühlung der Gebäude oder den Einsatz photovoltaisch-thermischer (PVT) Hybrid-Kollektoren erfolgen.
Wärmenetz:	nicht benötigt bzw. nur zur Unterverteilung im Block.
Heizraum:	integriert in Kellergeschoss/Tiefgarage.
Platzbedarf:	übliche Abmessungen für Gebäude / Block.
Sonstige Anforderungen:	Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, optimierte Wärmeverteilung mit Flächenheizung und wohnungsweise Übergabestationen.
Zukunftsperspektive:	Die vergleichsweise geringe Menge an Erdgas könnte langfristig durch lokal oder regional erneuerbar erzeugten Elektrolyse-Wasserstoff bzw. daraus hergestelltes Methan ersetzt werden.

6.5.3 Variante „NahW“: Blockheizkraftwerk mit gekoppelter Wärmepumpe

Die Wärmeversorgung aller Abnehmer erfolgt über ein Wärmenetz gebietszentral aus einer Nahwärmezentrale mittels Erdgas-Blockheizkraft und gekoppelter Luft/ Wasser-

Wärmepumpe sowie Erdgas-Spitzenlastkessel. Optionale gebäudezentrale solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung reduzieren den Brennstoffbedarf und ermöglichen einen reduzierten Betrieb des Wärmenetzes in den Sommermonaten. In Abb. 95 ist eine schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs des Wärmenetzes sowie der Lage der Heizzentrale gezeigt.



Abb. 95: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs sowie der Lage der Heizzentrale und Flächen zur Solarenergiegewinnung der Variante „NW BHKW+WP“ für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung (Plan © Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg).

Detailliertere Information zu der Versorgungsvariante sind hier aufgeführt:

Wärmeerzeugung:	50 % Erdgas-Blockheizkraftwerk,
(jeweils mit Anteil an der ges. Wärmeabgabe)	45 % Luft/Wasser-Wärmepumpe. Als Quelle dienen Abwärme der Heizzentrale oder Außenluft.
	5 % Erdgas-Brennwertkessel für Spitzenlast.
	Optional: gebäudezentrale solarthermische Anlagen zur Trinkwassererwärmung.
Wärmenetz:	2-Leiter Wärmenetz (Kunststoffmantelrohr).
Vor-/Rücklauftemperatur:	75 °C / 50 °C (gleitend),

- Nahwärmezentrale:** idealerweise integriert in Quartiersgarage.
- Sonstige Anforderungen:** Keine, Gebäudehülle und -technik gemäß den Mindestanforderungen des gewünschten Energiestandards, möglichst mit Flächenheizung.
- Zukunftsperspektive:** Als Brennstoff kann Biomethan aus dem Landkreis eingesetzt werden, sofern dies in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht.
Mittel-/langfristig eignet sich dieses Konzept für eine Stromnetz-geführte Betriebsweise.

6.6 Energie- und Treibhausgas-Bilanzen

Eine Gegenüberstellung von Energiebedarf, Energieeinsatz und lokaler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist in Abb. 96 zu finden. In Tab. 105 ist eine Übersicht der Prognose-Ergebnisse für den Energieeinsatz, die Deckungsanteile lokaler erneuerbarer Energien sowie den Endenergiebedarf der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung gegeben. Die prognostizierten resultierenden Treibhausgas-Emissionen sind für unterschiedliche Bezugsjahre in Abb. 97 bzw. in Tab. 106 dargestellt.

Tab. 105: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	EWS-WP	NahW+ST +PV	NahW+PV (Bio ¹)
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Ffm.-Mix ²	Ffm.-Mix	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix ³	Mix	Mix
Energiebedarf ⁴ in MWh/a	7.060	6.660	6.660	6.660
Energieeinsatz ⁵ in MWh/a	= 7.190	6.810	7.250	7.310
davon Wärme aus lok. ern. Energien ⁶ in MWh/a	+ 760	3.010	2.110	1.590
davon Strom aus lok. ern. Energien ⁶ in MWh/a	+ 0	950	720	800
Deckungsanteil lok. (ern.) Energieträger ^{6,7}	11%	58%	39%	33%
zusätzl. in Stromnetz eingespeist in MWh/a	0	150	60	300
davon Endenergiebedarf von ext. Quellen in MWh/a	+ 6.430	2.850	4.420	4.920
bez. auf EBF ⁸ in kWh/(m ² a)	79	35	54	60
bez. auf NBL ⁹ in MWh/(ha a)	1.211	519	804	895
bez. auf Einw. in kWh/(EW a)	3.782	1.676	2.600	2.894
anteilig bez. auf Referenz	100%	44%	69%	77%
bez. auf Energiebedarf	0,91	0,43	0,66	0,74

- 1) Variante mit Biogas statt Erdgas als Brennstoff.
- 2) Frankfurter Mix (Ffm.-Mix) bedeutet: 30 % der Geschossfläche als Passivhaus-Mehrfamilienhäuser, restliche Gebäude haben KfW-EH 55-Hülle und Abluftanlage.
- 3) Entsprechend dem Frankfurter Mix der Energiestandards haben die KfW-EH 55 Abluftanlagen und die Passivhäuser Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung.
- 4) Der Wärme-/Kältebedarf entspricht der Nutzenergieabgabe ab Erzeuger/Übergabe an die Gebäude, der Strombedarf entspricht dem Endenergiebedarf der Gebäude.
- 5) Der Energieeinsatz entspricht der Summe aller zur Deckung des Energiebedarfs im Quartier erzeugten bzw. von extern zugeführten erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger.
- 6) Biomethan wird nicht als lokaler erneuerbarer Energieträger betrachtet.
- 7) Der Deckungsanteil entspricht dem relativen Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger (Solar-, Umwelt-, Wasser-, Windenergie) sowie Abwärme am gesamten Energieeinsatz.
- 8) Die Energiebezugsfläche (EBF) entspricht für Wohngebäude der geschätzten beheizten Wohnfläche und für Nichtwohngebäude der geschätzten beheizten Netto-Grundfläche.
- 9) Das Netto-Bauland (NBL) entspricht dem Brutto-Bauland (ges. Fläche des B-Plan-Gebiets) abzgl. öffentlicher Verkehrs- und Grünflächen.

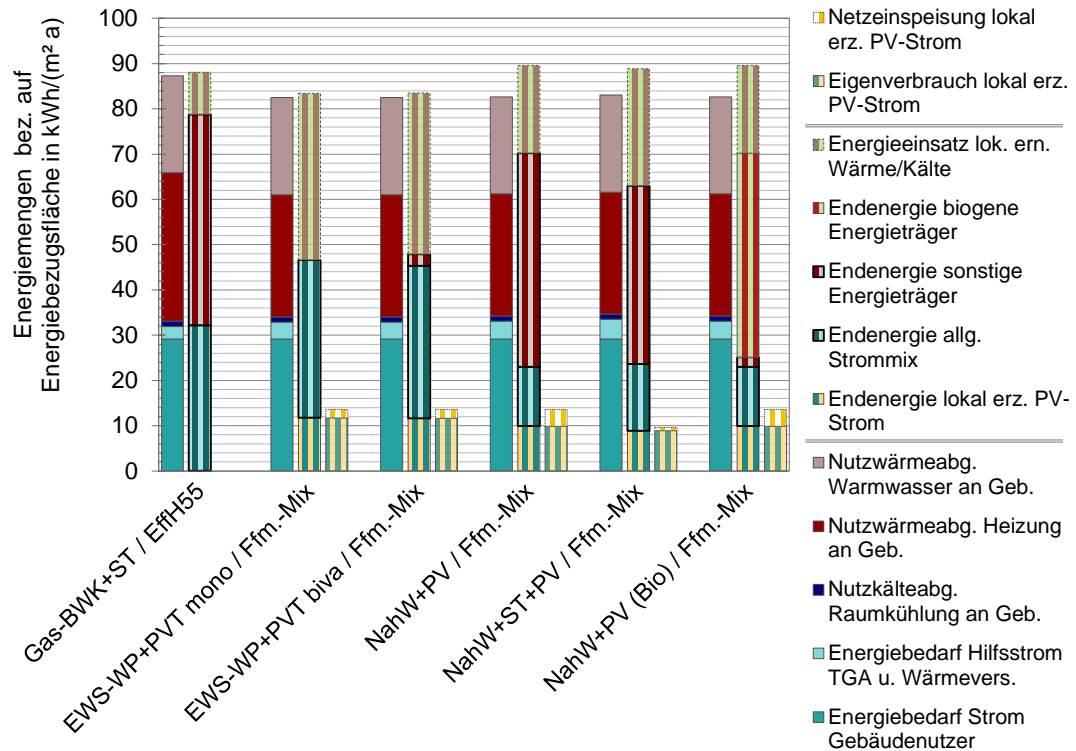


Abb. 96: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

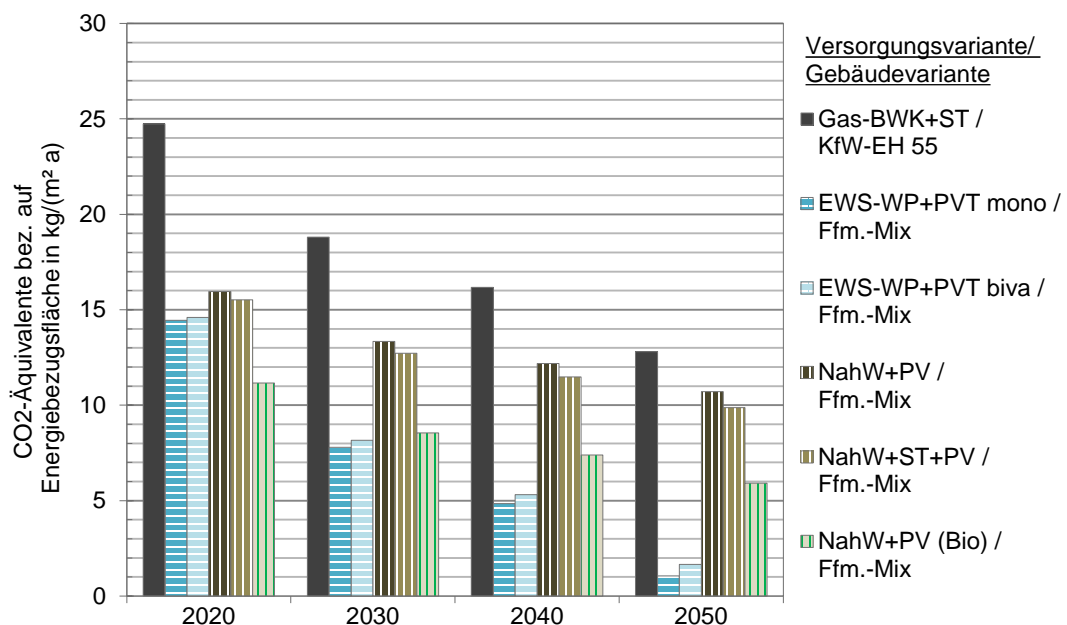


Abb. 97: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).

Tab. 106: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung (basierend auf endenergie-basierter Territorialbilanz).

Versorgungsvariante	Ref. Gas-BWK +ST	EWS-WP	NahW+ST +PV	NahW+PV (Bio')
Qualität der Gebäudehülle	EH 55	Ffm.-Mix*	Ffm.-Mix	Ffm.-Mix
Art der Lüftungsanlage	Abluft	Mix*	Mix	Mix
CO₂-Äquivalente 2020 in t/a	2.021	1.180	1.267	911
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	24,7	14,4	15,5	11,2
anteilig bez. auf Ref. 2020	100%	58%	63%	45%
CO₂-Äquivalente 2030 in t/a	1.535	636	1.038	698
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	18,8	7,8	12,7	8,6
anteilig bez. auf Ref. 2020	76%	31%	51%	35%
CO₂-Äquivalente 2040 in t/a	1.321	396	937	604
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	16,2	4,8	11,5	7,4
anteilig bez. auf Ref. 2020	65%	20%	46%	30%
CO₂-Äquivalente 2050 in t/a	1.045	86	806	482
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	12,8	1,1	9,9	5,9
anteilig bez. auf Ref. 2020	52%	4%	40%	24%

* Erläuterungen zu Abkürzungen und Definitionen finden sich auf den vorherigen Seiten.

6.7 Ökonomische Bewertung

Je nachdem welche Varianten von Wärmeversorgung und Gebäude (Hülle/ Lüftung) miteinander kombiniert werden, ergeben sich:

- im Hinblick auf die **Betreiber** von gebiets- oder blockzentralen Wärmeversorgungsvarianten unterschiedliche Investitionen und Wärmepreise, und
- im Hinblick auf die **Eigentümer bzw. Nutzer** der Gebäude unterschiedliche Investitionen, Betriebskosten und annuitätische Gesamtkosten.

Der Vergleich der genannten Indikatoren dient als Grundlage für die ökonomische Bewertung. Die einzelnen Indikatoren werden nachfolgend erläutert:

- Die **Investitionen für die Betreiber** von gebiets- oder blockzentralen Wärmeversorgungsvarianten dienen als Maß für deren wirtschaftlichen Ressourceneinsatz. Alle Investitionen sind Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018/19). Es werden nur für die Wärmeversorgung relevante Investitionen berücksichtigt.

- Anhand vom **Wärme(gestehungs)preis** wird die für die Eigentümer bzw. Nutzer der Gebäude günstigste und damit sozial verträglichste gebiets-/blockzentrale Wärmeversorgungsvariante identifiziert. Er fließt auch direkt in die Berechnung der Betriebskosten der Nutzer ein.
- Die **Investitionen für die Eigentümer bzw. Nutzer** sind ebenfalls Schätzungen auf Basis von Erfahrungswerten (Stand 2018/19). Es werden nur solche Investitionen einbezogen, die zum einen maßgeblich für die Wärmeversorgung der Gebäude sind und zum anderen zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Im Detail werden berücksichtigt:
 - Zusätzliche Investitionen für einen verbesserten Dämmstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 hinausgeht.
 - Investitionen für Komponenten zur Lüftung und Wärmeversorgung, sofern diese zu Unterschieden zwischen den Varianten führen. Beispielsweise werden Warmwasser-Verteilleitungen, welche in jedem Gebäude vorhanden sind, nicht berücksichtigt.
 - Aussagekräftig sind folglich die Differenzen der Investitionen der verglichenen Varianten, nicht aber die absoluten Ergebnisse einer einzelnen Variante.
- Die durchschnittlichen **Betriebskosten pro Monat** (im ersten Jahr) dienen als Maß für die laufenden Kosten nach heutigem Stand.
- Die **Annuitäten der Kosten und Erlöse** dienen als Maß für die Wirtschaftlichkeit. Die Annuitäten wurden in Anlehnung an die VDI 2067 berechnet.

6.7.1 Mustergebäude und Varianten

Diese Kriterien wurden für folgende Mustergebäude ausgewertet:

Mustergebäude:	Mehrfamilienhaus mit 19 Wohneinheiten.
Geschosse:	drei Vollgeschosse plus Staffelgeschoss.
Geschossfläche:	2.345 m ² (inkl. Staffel).
Energiebezugsfläche:	1.875 m ² (beh. Wohnfläche).
Hinweis:	Gebäudehülle für Passivhaus entspricht etwa der des KfW Effizienzhaus 55.

Dabei wurden folgende Varianten aus erreichtem Gebäude-Energiestandard und Wärmeversorgung untersucht:

EnEV Gas-BW+ST:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, dez. Gas-Brennwertkessel, thermische Solaranlage.
EnEV NahW:	Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an hybride Nahwärme mit Blockheizkraftwerk u. Wärmepumpe.
EnEV NahW+ST:	Gebäudehülle entspr. EnEV, Abluftanlage, Anschluss an hybride Nahwärme, thermische Solaranlage.
EH55 S/W-WP:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, PVT-Kollektoren
EH55 NahW:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an hybr. Nahwärme mit Blockheizkraftwerk u. Wärmepumpe.
EH55 NahW+ST:	Gebäudehülle entspr. KfW-EH 55, Abluftanlage, Anschluss an hybride Nahwärme, thermische Solaranlage.
PH S/W-WP:	Gebäudehülle entspr. PH, Zu-/Abluftanlage mit WRG, S/W-Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, PVT-Kollektoren.
PH NahW+ST:	Gebäudehülle entspr. PH, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an hybride Nahwärme mit BHKW und WP.
PH NahW+ST:	Gebäudehülle entspr. PH, Zu-/Abluftanlage mit WRG, Anschluss an hybride Nahwärme, therm. Solaranlage.

6.7.2 Investitionen für zentrale Versorgung

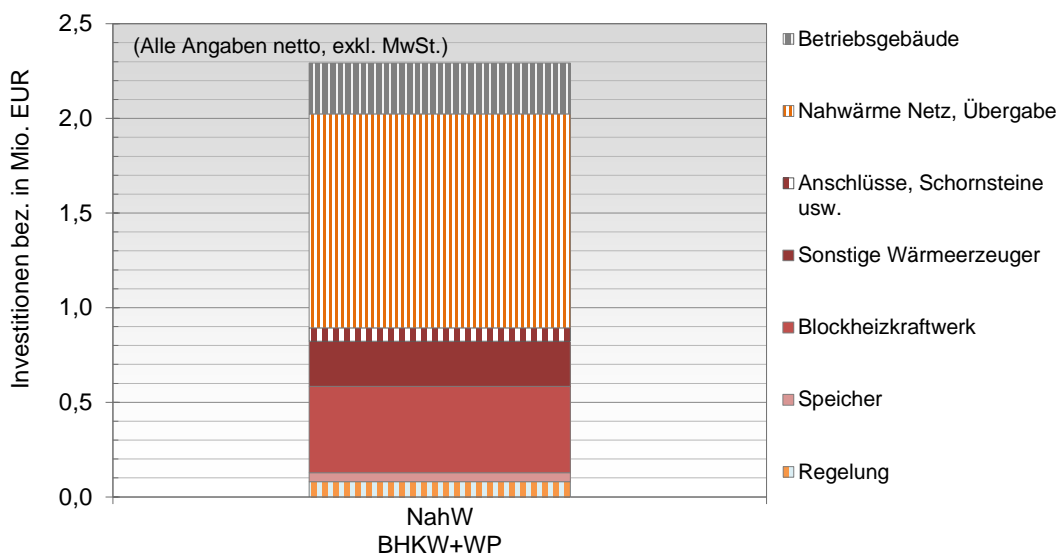


Abb. 98: Investitionen der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

6.7.3 Wärmepreise für zentrale Versorgung

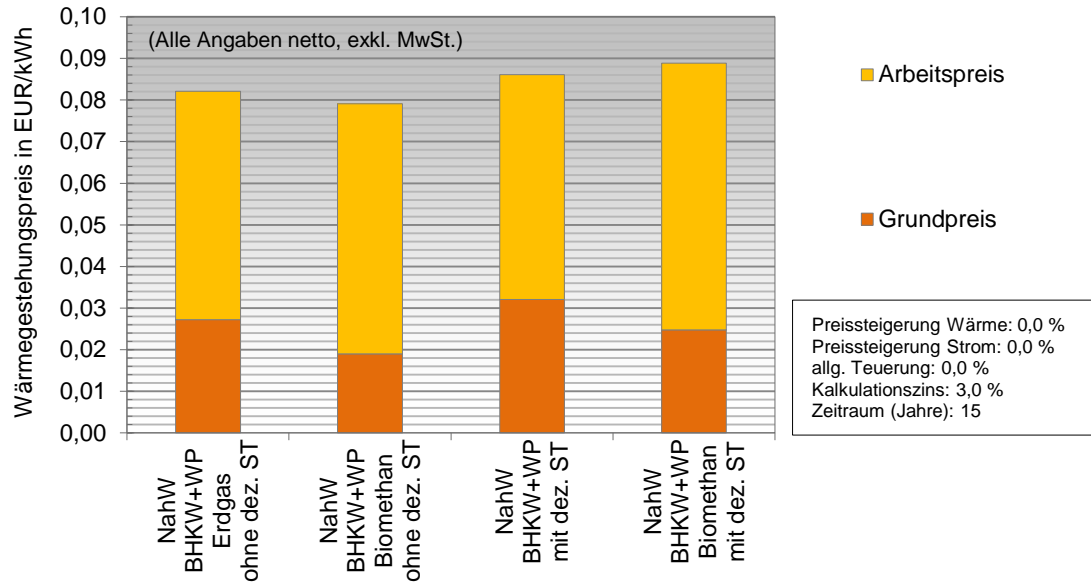


Abb. 99: Wärmegestehungspreise bezogen auf Endenergielieferung der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

6.7.4 Investitionen aus Nutzersicht

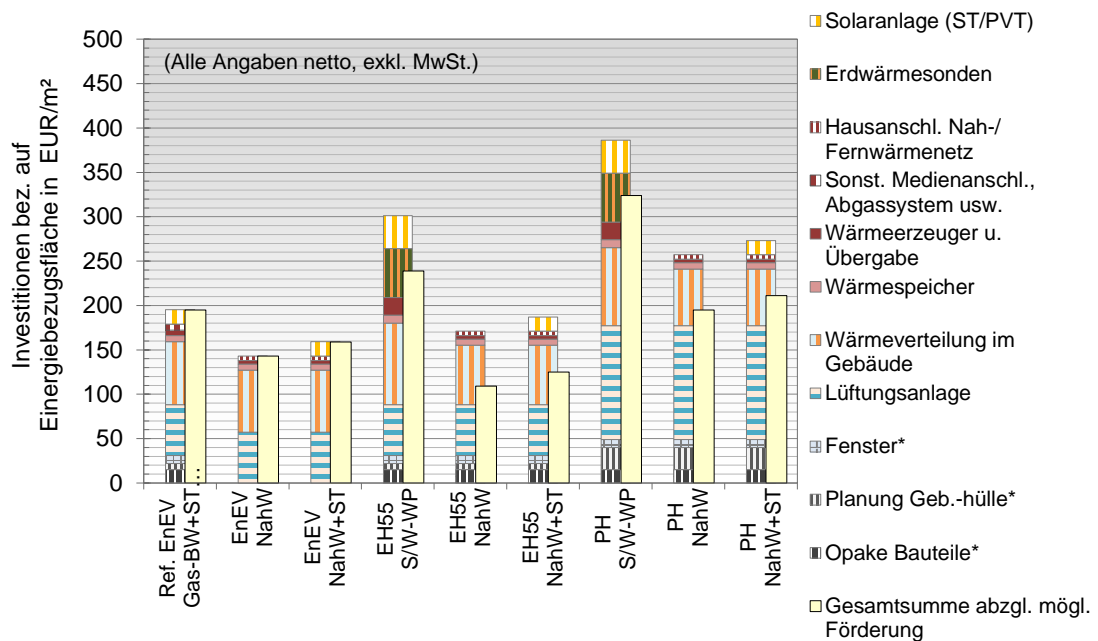


Abb. 100: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

6.7.5 Monatliche Betriebskosten aus Nutzersicht

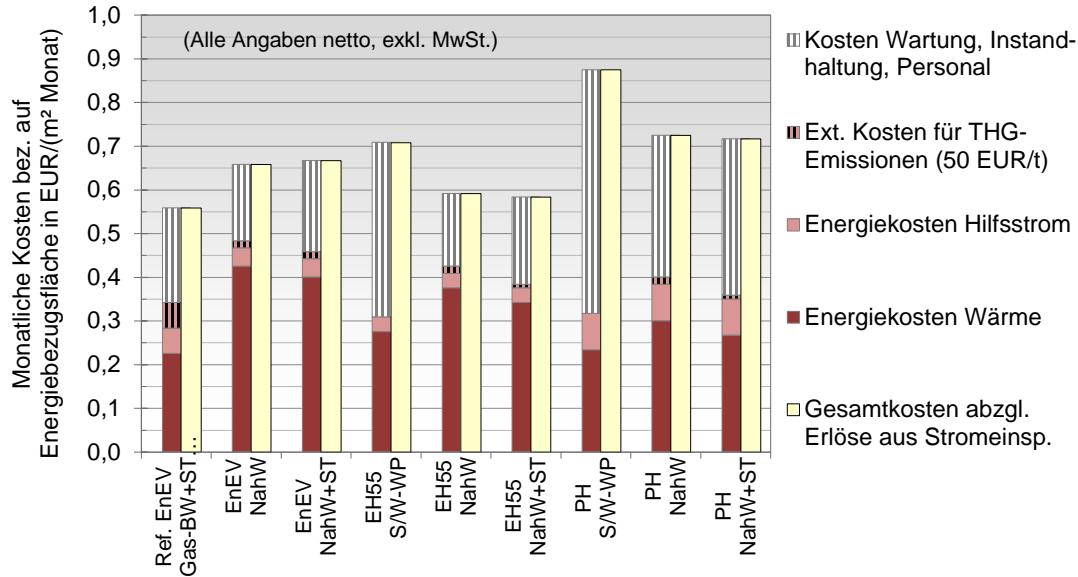


Abb. 101: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

6.7.6 Annuitäten aus Nutzersicht

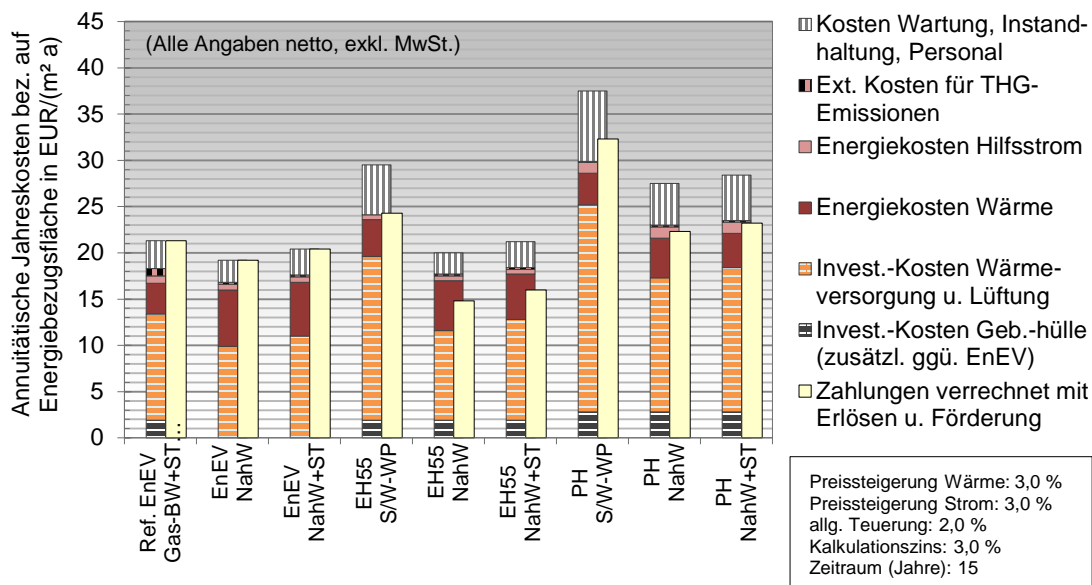


Abb. 102: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.

6.8 Fazit und Empfehlungen

Das städtebauliche Konzept für das Quartier Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung sieht größtenteils Blockrand-Bebauung mit bis zu sechs Geschossen vor. Positiv aus energetischer Sicht ist, dass die Baukörper durchweg ein niedriges A/V-Verhältnis aufweisen, sofern dieses bei der weiteren Ausgestaltung nicht deutlich verschlechtert wird. Insgesamt ist das vorliegende städtebauliche Konzept im Hinblick die passive Solarenergienutzung sowie die Besonnungsdauer der Fassaden – mit wenigen Ausnahmen – als gut bis sehr gut zu bewerten. Es ist zu erwarten, dass sich fast alle Bereiche für eine wirtschaftliche Erstellung des Passivhaus-Standards eignen.

Empfehlungen zur energetischen Optimierung des Städtebaus

- Bei der Gebäudeplanung sollten die Grundriss- und Fensterflächengestaltung auf die Besonnung und natürliche Belichtung abgestimmt werden. In fast allen Fällen kann eine unzureichende Besonnung durch zweiseitig belichtete Wohnungen vermieden werden. Bei ost-, süd- oder westorientierten Fassaden spricht aus energetischer Sicht auch nichts gegen eine Vergrößerung der Fensterflächen, sofern ein hochwertiger Sonnenschutz vorgesehen wird.
- Die wenigen Stellen auftretenden starken Verschattungen könnten durch eine Anpassung der Anordnung der Baukörper beseitigt werden. Alternativ kann eine gewerbliche Nutzung der stark verschatteten Gebäudeteile vorgesehen werden.

Der Vergleich der energetisch relevanten Investitionen hat gezeigt, dass auf Grund der möglichen Förderung eine Gebäudehülle entsprechend dem KfW Effizienzhaus 55 im Geschosswohnungsbau niedrigere Investitionen (die Förderung eingerechnet) erfordert als eine Hülle entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude. In Anbetracht dessen, dass der KfW Effizienzhaus 55 Standard bezogen auf den Betrieb des Gebäudes auch energetisch und damit ökologisch vorteilhaft ist, kann dieser Standard uneingeschränkt für alle Gebäude empfohlen werden, die nicht im Passivhaus-Standard errichtet werden.

Empfehlungen zum Gebäude-Energiestandard

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude weiterhin im Passivhaus-Standard auszuführen.
Im Geschosswohnungsbau kann der Passivhaus-Standard bei ausreichender Besonnung in der Regel mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW Effizienzhaus 55 und dem zusätzlichen Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung erreicht werden. Gebäude im Passivhaus-Standard sollten vorrangig in jenen Baukörpern realisiert werden, die sich auf Grund der passiven solaren Gewinne am besten dazu eignen.
- Alle anderen Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse der Referenzvariante und zweier untersuchter Versorgungsvarianten gegenüber gestellt.

Die Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen und Erdwärmesonden kombiniert mit photovoltaisch-thermischen Kollektoren weist das größte Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energieträger auf. Bis zu 58 % der benötigten Energie könnten auf dem Gebiet selbst gewonnen werden. Da das Biogas für die Nahwärme-Variante dem Quartier vollständig von außen zugeführt werden müsste, wird die Problematik der klimaschonenden Energieversorgung mit der Nahwärme-Variante größtenteils auf die Stadt bzw. die Region verlagert.

Beide vorgeschlagenen Varianten emittieren heute und in Zukunft signifikant weniger Treibhausgase als die Referenzvariante. Während die Versorgung mit Erdwärme bezogen auf 2020 zwar etwas mehr Treibhausgasemissionen verursachen würde als die Nahwärme-Variante mit Biogas, weist die Erdwärmennutzung in der langfristigen Prognose für 2050 das größte Potenzial zur Reduktion der Emissionen auf. Unter der Voraussetzung dass die bundes- bzw. landesweiten Klimaschutzziele für den Strommix erreicht werden, können die Klimaschutzziele der Stadt Frankfurt für 2050 sowohl bei der Wärmeversorgung mit Sole/Wasser-Wärmepumpen als auch mit Nahwärme erreicht oder sogar übertroffen werden.

Die Nahwärme mit Biogas-BHKW und Wärmepumpe weist die niedrigsten Zusatzinvestitionen auf, was diese Variante aus ökonomischer Sicht für Investoren besonders attraktiv macht. Auch aus Nutzersicht ergeben sich keine nennenswerten Nachteile gegenüber der Referenzvariante, da die Betriebskosten nur geringfügig höher ausfallen. Die niedrigsten Betriebskosten wurden für die Erdwärme-Variante ermittelt. Allerdings fallen die Zusatzinvestitionen bei dieser Variante auf Grund der Erdwärmesonden deutlich höher aus.

Versorgungsvariante	Referenz: Erdgas	Vorschlag 1: Erdwärme	Vorschlag 2: Nahwärme
zentrale/dezentrale Erzeuger	gebäudezentrale Gas-BW-Kessel	gebäude/ blockzentrale Wärmepumpen	gebietszentrale BHKW und Wärmepumpe
Gebäude-Energiestandard	EnEV	KfW EH 55 (teilw. PH)	KfW EH 55 (teilw. PH)
ENERGIE/AUTARKIE			
Energieeinsatz in MWh/a	7.190	6.660	7.310
Autarkiegrad	11%	58%	33%
<i>durch folgende lokale Energieträger</i>	<i>Solarthermie</i>	<i>Erdwärme, Solarstrom, Solarthermie</i>	<i>Abwärme, Solarstrom</i>
Endenergiebedarf von außerhalb in MWh/a	6.430	2.850	4.920
bez. auf EBF in kWh/(m ² a)	79	35	60
<i>Haupt-Endenergieträger für Wärmeanwendungen</i>	<i>Erdgas</i>	<i>Strommix</i>	<i>Biogas</i>
TREIBHAUSGASE			
CO ₂ -Äquivalente <u>2020</u> in t/a	2.021	1.180	911
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	24,7	14,4	11,2
CO ₂ -Äquivalente <u>2050</u> in t/a	1.045	86	482
bez. auf EBF* in kg/(m ² a)	12,8	1,1	5,9
WIRTSCHAFTLICHKEIT KfW EH 55			
Energetisch relevante Investitionen (netto) abzgl. Förderung bez. auf EBF in EUR/(m ²)	195	239	109
Monatliche Betriebskosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² M)	0,56	0,53	0,59
Annuitätische Gesamtkosten (netto) bez. auf EBF in EUR/(m ² a)	21	24	15

Empfehlungen zur Energieversorgung

- Es wird empfohlen einen möglichst großen Teil der Dachflächen (mindestens 50 %) der Wohngebäude sowie die alle nutzbaren Dachflächen der öffentlichen Gebäude zur Solarenergiegewinnung zu nutzen. Als Vorarbeit zur weiteren Ausgestaltung sollte ein Dachflächen-Nutzungskonzept entwickelt werden. Darüber hinaus wird empfohlen geeignete Fassadenflächen aller Gebäude zu nutzen.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht sollte eine Wärmeversorgung mit Wärmepumpen (gespeist aus Erdwärmesonden) und Solarenergie angestrebt werden. Diese Variante bietet langfristig das größte Potenzial zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Darüber hinaus ist das Potenzial zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien mit Abstand am größten. Mit der Kombination von Erdwärme und Solarenergie kann voraussichtlich ein Energieautarkiegrad des Gebiets von über 55 % erreicht werden.
- Zur weiteren Umsetzung wird insbesondere im Hinblick auf das bergrechtliche Genehmigungsverfahren und die notwendige messtechnische Überprüfung der Machbarkeit einer umfassenden Erdwärmennutzung empfohlen, das Thema Wärmeversorgung möglichst frühzeitig in die fachplanerischen Prozesse zu integrieren.
- Im Hinblick auf die mögliche Alternative - die Nahwärmeversorgung mit Biogas-BHKW und Wärmepumpe - wird empfohlen, die regionale Verfügbarkeit von Biogas aus Abfall- oder Reststoffen zu prüfen. Sollte diese nicht gegeben sein, ist die Sinnhaftigkeit der Versorgung mit Biogas zu hinterfragen.