

## 2.5 Gebäudebestand im Quartier Kernstadt Lollar

Zur Vorbereitung auf Berechnungen und Bilanzierungen muss der Gebäudebestand erfasst werden. Das untersuchte Quartier umfasst 1.351 Gebäude. Für eine möglichst detaillierte Aufnahme des Gebäudebestandes wurden die Aufnahmen der Vor-Ort-Begehungen mit Satellitenfotos, Katasterdaten, Angaben durch die Verwaltung sowie mit den Ergebnissen einer Fragebogenaktion von Gebäudeeigentümer\*innen (Rücklauf 239 Fragebögen, Quote 18 %, siehe Anhang A: Fragebogen Lollar) kombiniert. Wichtige Parameter der Gebäude sind die Gebäudegeometrie, die beheizte Wohnfläche oder beheizte Fläche von Nichtwohngebäuden, der Gebäudetyp, die Baualtersklasse, angrenzende Objekte, beheizte Flächen in Dach und Keller, Fensterflächenanteile, U-Werte, weitere Dachcharakteristika sowie bei Nichtwohngebäuden der besondere Nutzungstyp. Durch die Fragebogenaktion konnte eine genauere Einsicht in typische Bauweisen und das Nutzerverhalten (Verbrauchsangaben) genommen werden. Des Weiteren konnten durch vor-Ort Begehungen in insgesamt elf öffentlichen bzw. städtischen Gebäuden zusätzliche Informationen gesammelt und für die Bewertung des Quartiers aufgenommen werden. Abbildung 10 zeigt eine 3D-Ansicht des Quartiers und Einbeziehung eines digitalen Geländemodells und Befliegungsfotos.

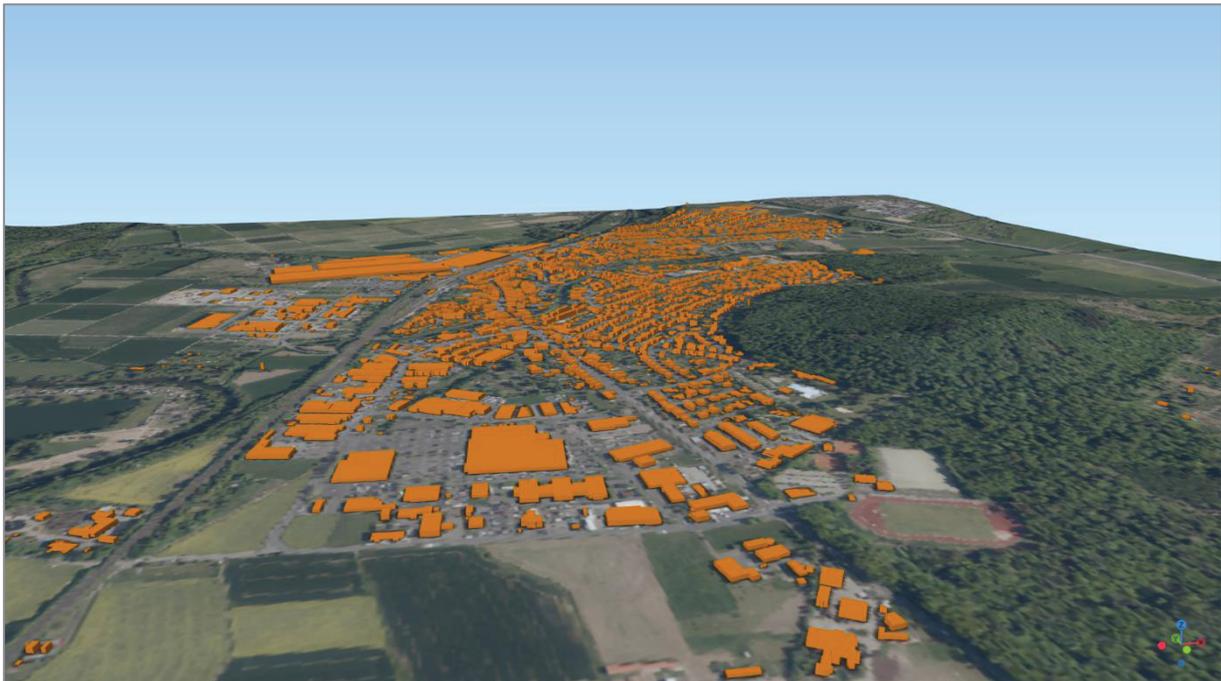


Abbildung 10: Quartier Lollar mit 3D-Gebäudemodellen.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Darstellung E-Eff, Datenbasis 3D-Objekte, DGM und DOP © Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation

### 2.5.1 Gebäudetypologie

Das Quartier besteht vorwiegend aus Wohnbebauung, unter die sich Gebäude mit öffentlichen, kulturellen und sonstigen Zwecken mischen. Im westlichen und südlichen Teil des Quartiers befinden sich größere Gewerbe bzw. Industrieflächen. Bis auf Teile der Marburger Straße, der Gießener Straße, Daubringer Straße und Lumbdastraße (bilden den alten Ortskern) findet sich überwiegend lockere Einzelbebauung. Von den 1.351 Gebäuden im Untersuchungsgebiet werden 1.187 Gebäude als Wohngebäude genutzt. 36 Gebäude dienen öffentlichen, kulturellen oder sonstigen Zwecken, 90 Gebäude sind gewerbliche und industrielle Objekte und 38 Gebäude unterliegen einer gemischten Nutzung. Einfamilienhäuser (EFH) stellen mit einem Anteil von 35 % aller Gebäude die häufigste Nutzungsart dar, gefolgt von Zweifamilienhäusern (ZFH) (23 %) und Mehrfamilienhäusern (MFH) (rund 29 %), wobei MFH mit 3 bis 6 Wohneinheiten den Großteil ausmachen (20 %). Die Gebäude für öffentliche, kulturelle und sonstige Zwecke und mischgenutzte Gebäude sind mit je rund 3 % vertreten, gewerbliche und industrielle Gebäude mit immerhin 7 %. Mischnutzungen spielen keine Rolle. Insgesamt gibt es im Quartier 3.782 Wohneinheiten. Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Nutzungstypen auf einen Blick. Abbildung 12 zeigt eine Quartierskarte unter Darstellung der übergeordneten Nutzungstypen, Abbildung 13 zeigt eine Detailübersicht (beheizte Objekte vordergründig, Nebengebäude hintergründig angezeigt).

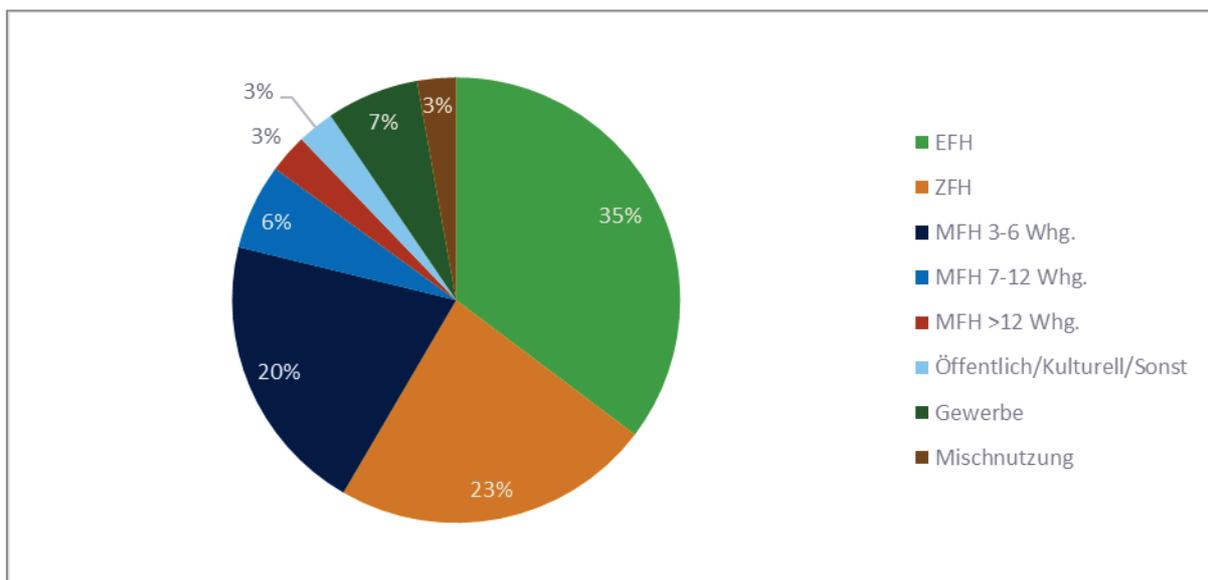


Abbildung 11: Verteilung der Nutzungstypen der Gebäude in Prozent

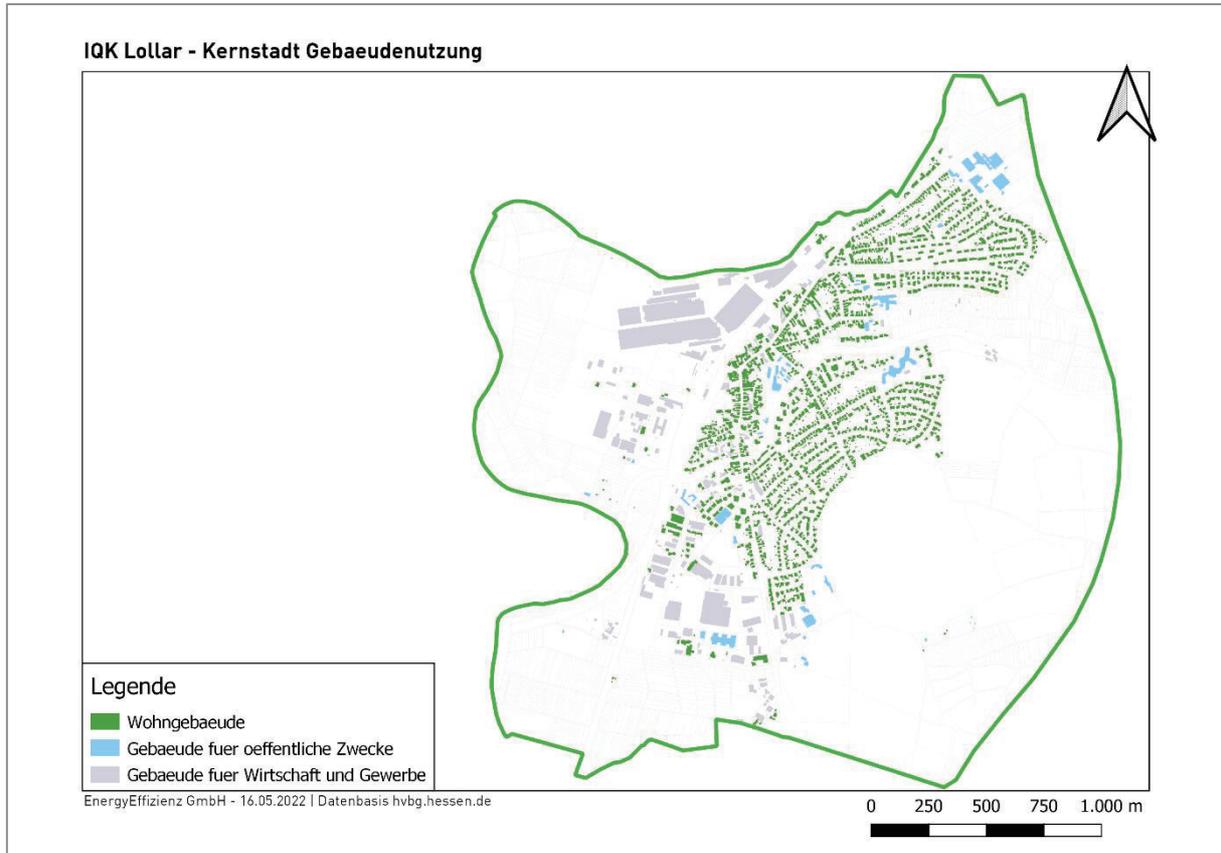


Abbildung 12: Quartierskarte Nutzungstypen

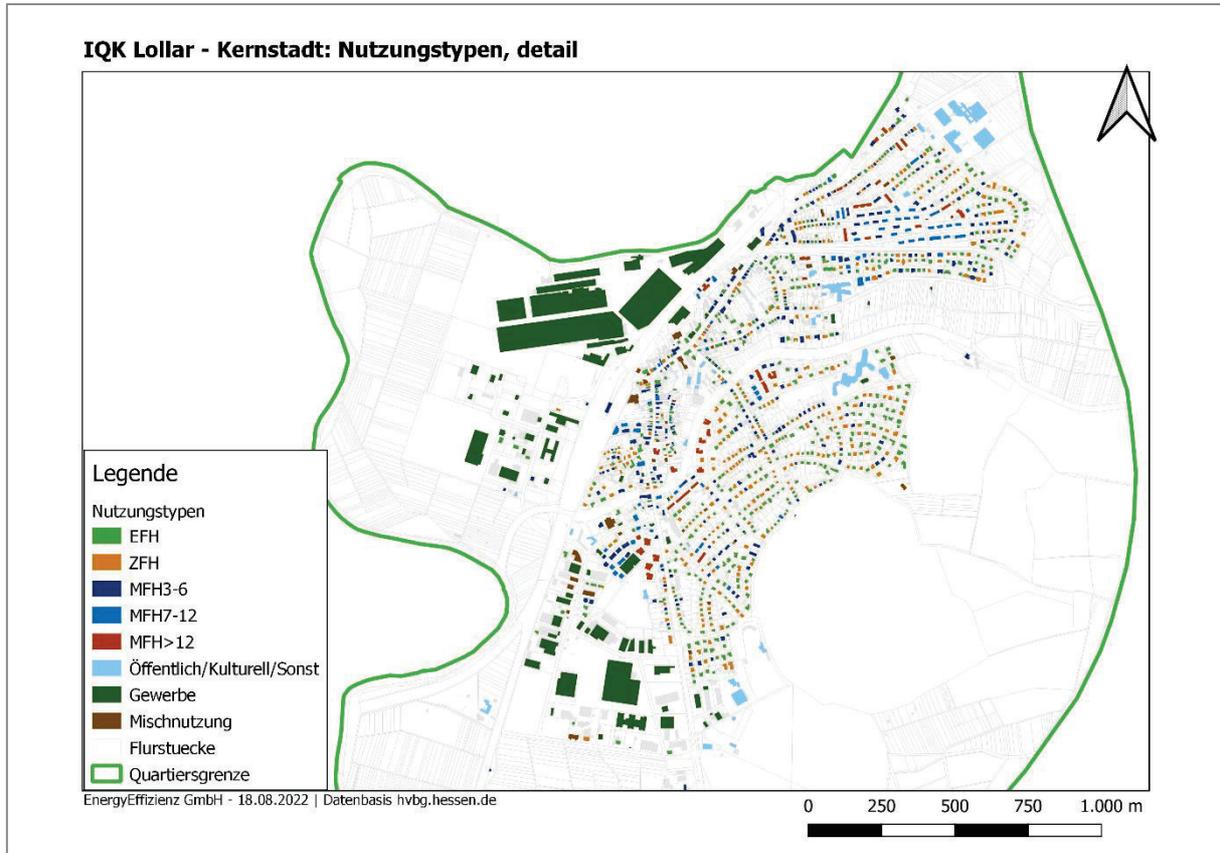


Abbildung 13: Quartierskarte Nutzungstypen, Detail

Die gesamte beheizte Fläche kann auf 593.003 m<sup>2</sup> abgeschätzt werden. Darunter entfallen gerundet 96.100 m<sup>2</sup> auf EFH, 66.600 m<sup>2</sup> auf ZFH und 167.100 m<sup>2</sup> auf MFH. Die öffentlichen, kulturellen und sonstigen Gebäude verfügen über eine Fläche von 55.000 m<sup>2</sup>, Gewerbe- und Industriegebäude verfügen über 191.000 m<sup>2</sup>, Mischnutzungen 17.200 m<sup>2</sup>. Abbildung 14 zeigt die Verteilung in Prozent.

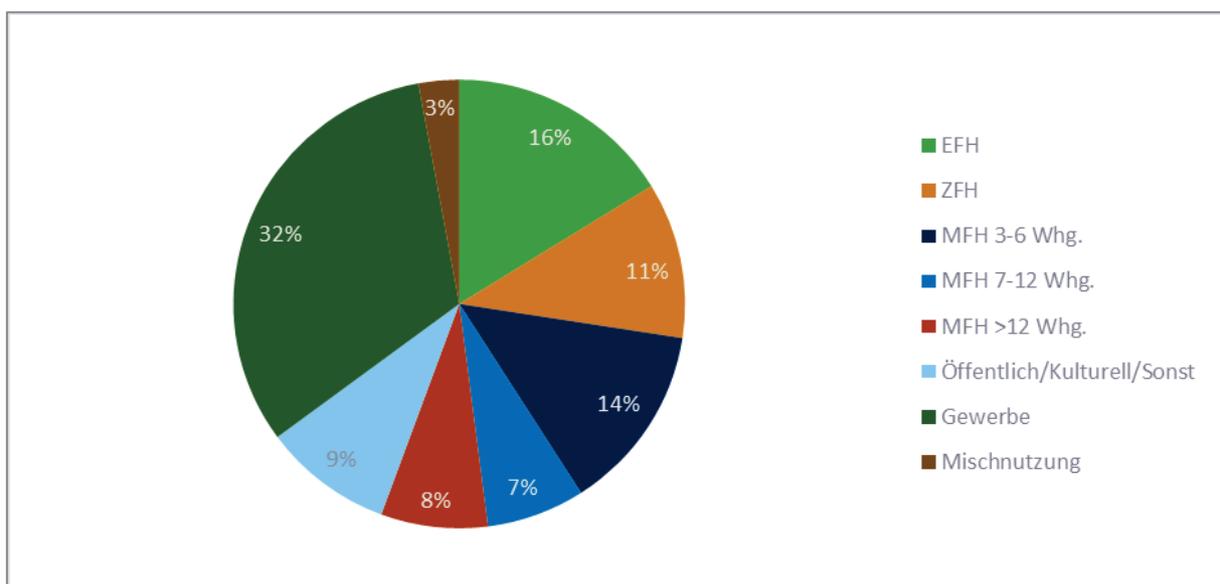


Abbildung 14: Verteilung der beheizten Flächen nach Nutzungstypen in Prozent

Die beheizten Flächen können noch nach der Größe sortiert werden, siehe Abbildung 15. Eine Detailanalyse liefert Abbildung 16. Die EFH sind besonders im Bereich zwischen 101 und 220 m<sup>2</sup> zu finden (Mittelwert/Median 201 m<sup>2</sup>/180 m<sup>2</sup>), ZFH sind entsprechend in größeren Kategorien vertreten (214 m<sup>2</sup>/200 m<sup>2</sup>), MFH (3-6 Whg.) liegen Mittel bei 290 m<sup>2</sup> (Median 247 m<sup>2</sup>), MFH (7-12 Whg) bei 496 m<sup>2</sup> (Median 505 m<sup>2</sup>) und die sehr großen MFH mit mehr als 12 Wohnungen bei 1.195 m<sup>2</sup> (Median 1.144 m<sup>2</sup>). Die EFH und ZFH sind somit tendenziell etwas kleiner als in ländlichen Gemeinden. Die meisten der öffentlichen, kulturellen und sonstigen Gebäude gehören zu den größeren Gebäuden im Quartier (1.528 m<sup>2</sup>/741 m<sup>2</sup>). Die gewerblich genutzten Gebäude verteilen sich auf alle Größenklassen, sind aber durch die einzelnen sehr großen Objekte prägnant (2.121 m<sup>2</sup>/414 m<sup>2</sup>). Mischgenutzte Gebäude sind in allen Klassen vertreten (454 m<sup>2</sup>/289 m<sup>2</sup>).

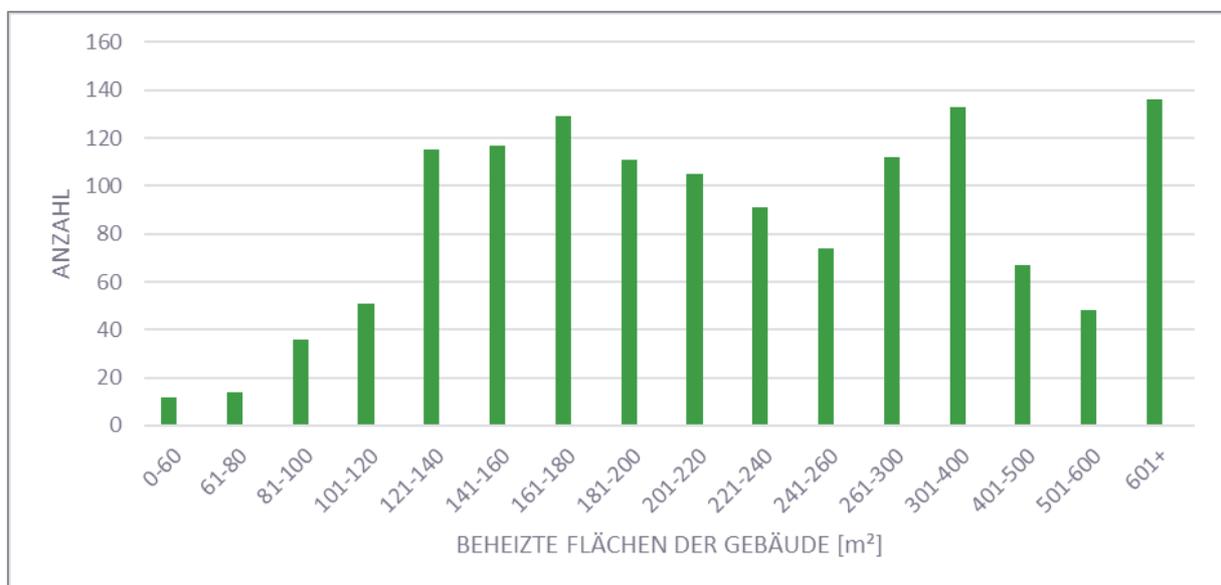


Abbildung 15: Verteilung der beheizten Flächen nach Größenklassen

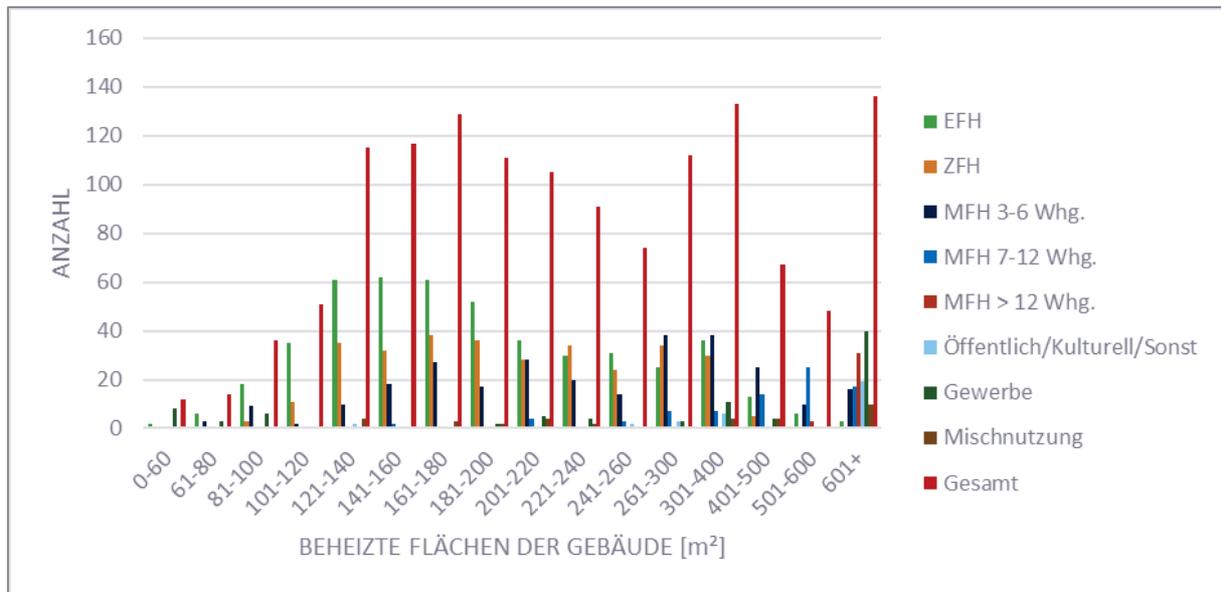


Abbildung 16: Verteilung der beheizten Flächen nach Größenklassen und Nutzungstyp

Neben den Flächen und der Art der Nutzung ist die Baualtersklasse der Gebäude ein wesentliches Merkmal, um energetische Betrachtungen durchführen zu können. Aus den Klassen lassen sich letztlich U-Werte ableiten. Abbildung 17 zeigt die Quartierskarte mit den vorkommenden Baualtersklassen. Die ursprüngliche Bebauung entlang der Marburger, Gießener, Daubringer und Lumbdastraße ist gut erkennbar. In den 1960iger und 1970igern wurden dann weitere Gebiete erschlossen. In jüngeren Jahren wurden neue Gebiete entwickelt, wie der Kirsch- und Paulusgarten, die Adalbert-Stifter- und Alber-Schweitzer-Straße, die Ring- und Dammstraße sowie zuletzt das große Gebiet am Meisenweg und die südliche Ostendstraße mit An der Klopmmaschin.

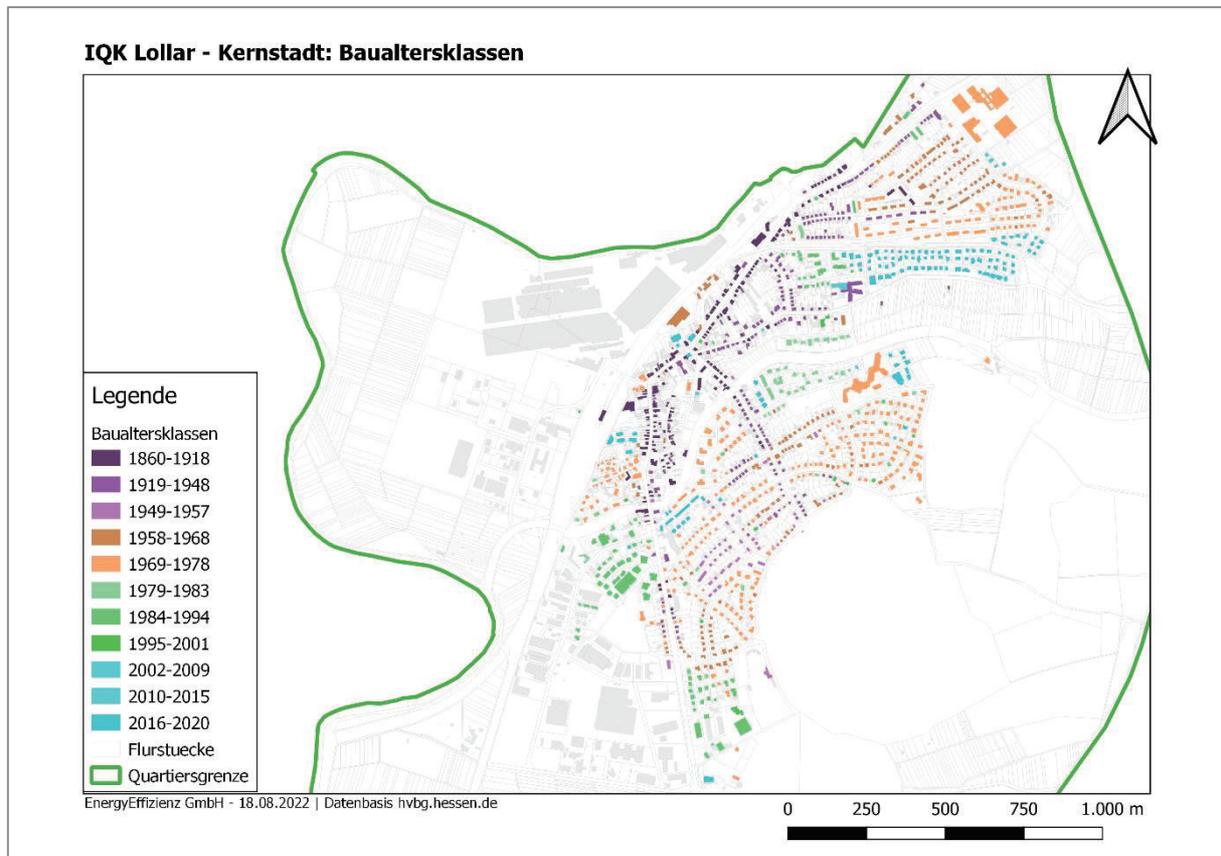


Abbildung 17: Quartierskarte Baualtersklassen

Entsprechend der Quartierskarte werden in Abbildung 18 die Gebäude auf die Baualtersklassen verteilt. Es ist zu erkennen, dass viele Gebäude sehr alt sind (28 %), in der Nachkriegszeit und in den 1960iger und 1970igern jedoch sehr stark zugebaut wurde (44 %). Gebäude, die ab der ersten und zweiten Wärmeschutzverordnung (1977/1982) errichtet wurden (hier Baualtersklasse ab 1979 und ab 1984), gehen mit 16 % in die Statistik ein. Moderne Gebäude, die aber der dritten Wärmeschutzverordnung 1995 und den folgenden Jahren errichtet wurden, stellen immerhin 11 % dar. Es wurde folglich zuletzt noch einmal stark zugebaut.

Abbildung 19 sortiert die Nutzungstypen auf die Baualtersklassen auf. Die Errichtung von EFH entspricht etwa der obigen Beschreibung am Gesamtverhältnis. Unüblich, aber richtungsweisend ist, dass neben EFH auch ZFH und MFH in jüngerer Zeit hinzukamen.

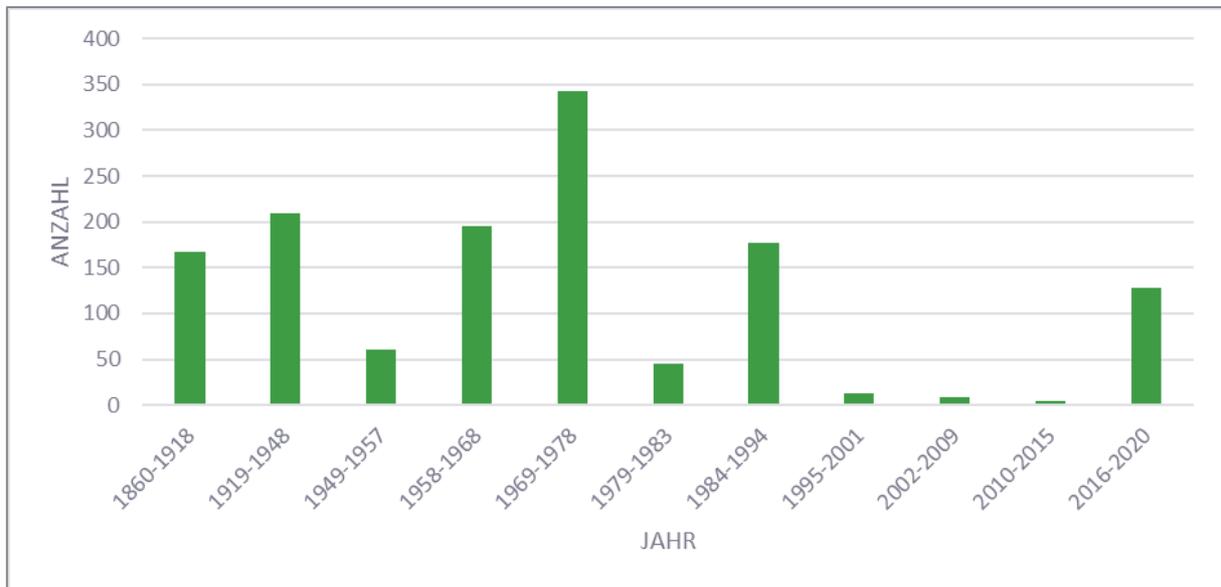


Abbildung 18: Baualtersklasse-Verteilung der Gebäude

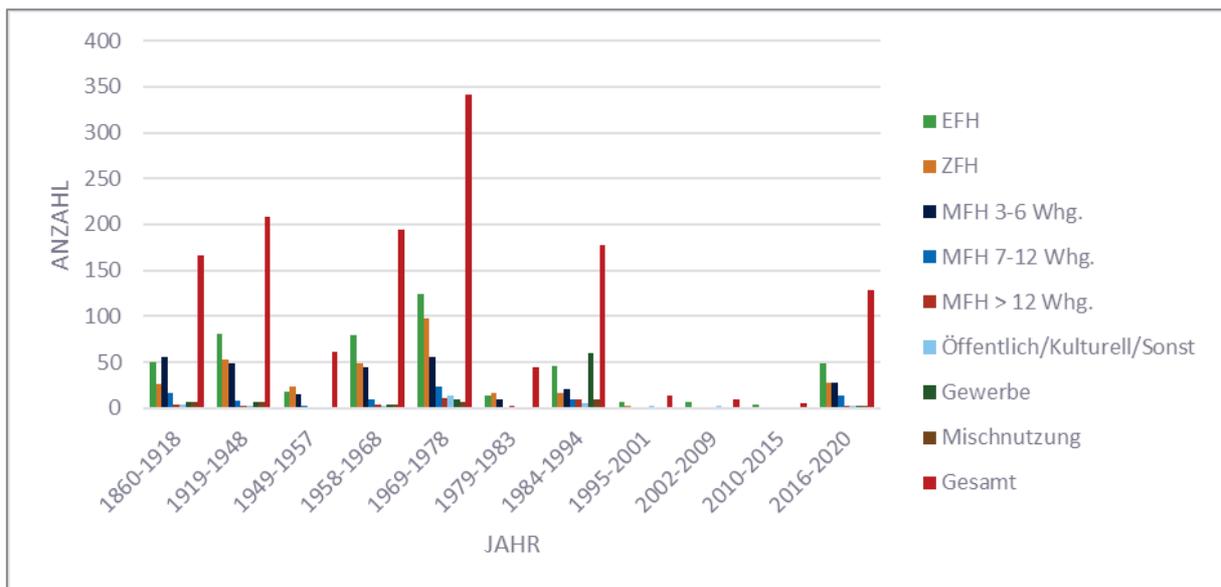


Abbildung 19: Anteilmäßiger Zubau je Nutzungstyp bezogen auf die Baualtersklassen

## 2.5.2 Gebäudesanierungen

Der Stand der Gebäudesanierung wird im Folgenden mittels Erkenntnissen aus Begehungen und Auskünften der Eigentümer\*innen im Quartier abgebildet und wo nötig durch statistische Werte ergänzt. Die hinterlegten U-Werte wurden, sofern möglich, durch vorhandene Angaben von Mauerwerksaufbauten und Dämmungen angepasst. Aufgrund des hohen Fragebogenrücklaufs konnte ein Datenpool zu Hüllsanierungen und Alter der Heizungen generiert werden, um Erkenntnisse über die bekannte bestehenden Gebäudesubstanz auf ähnliche Gebäude, Gebäudetypen und Baualtersklassen zu übertragen. Dies führt zu einer Kalibrierung der Datenbasis und schärft anschließend die Ergebnisse. Zusätzlich wurde unterstellt, dass bei durch Außenansicht festgestellten Dacherneuerungen auch eine energetische Anpassung des Daches bzw. der Decke durchgeführt wurde. Bei rundumsanierten Gebäuden wird zudem unterstellt, dass bei Vorhandensein eines Kellers auch eine Fußboden- bzw. Kellerdeckensanierung und bei nicht aufgetragener Außenwanddämmung eine Innenwanddämmung vorgenommen wurde sowie die Fenster getauscht wurden. Abbildung 20 zeigt diesen Sanierungsstand, wobei nur Hüllsanierungen nur gezählt werden, wenn sie jünger als 30 Jahre sind und Heizungstausche und die Installation von Solarthermie und Photovoltaik weniger als 20 Jahr zurückliegen. Abbildung 21 zeigt die Sanierungen im Vergleich zur absoluten Gebäudeanzahl des jeweiligen Nutzungstyps. Es zeigt sich, dass es ein enormes Potenzial im gesamten Quartier gibt, die Gebäudehüllen auf einen neueren Stand zu bringen. Insbesondere Fassaden und Kellerdecken/Fußböden/Kellerwände erfahren bisher kaum eine Anpassung an einen modernen Standard. Photovoltaik- und Solarthermieanlagen kommen bisher wenig zum Einsatz. Die hohe Anzahl an noch alten Heizungen erweist sich ebenfalls als großes Potenzial.

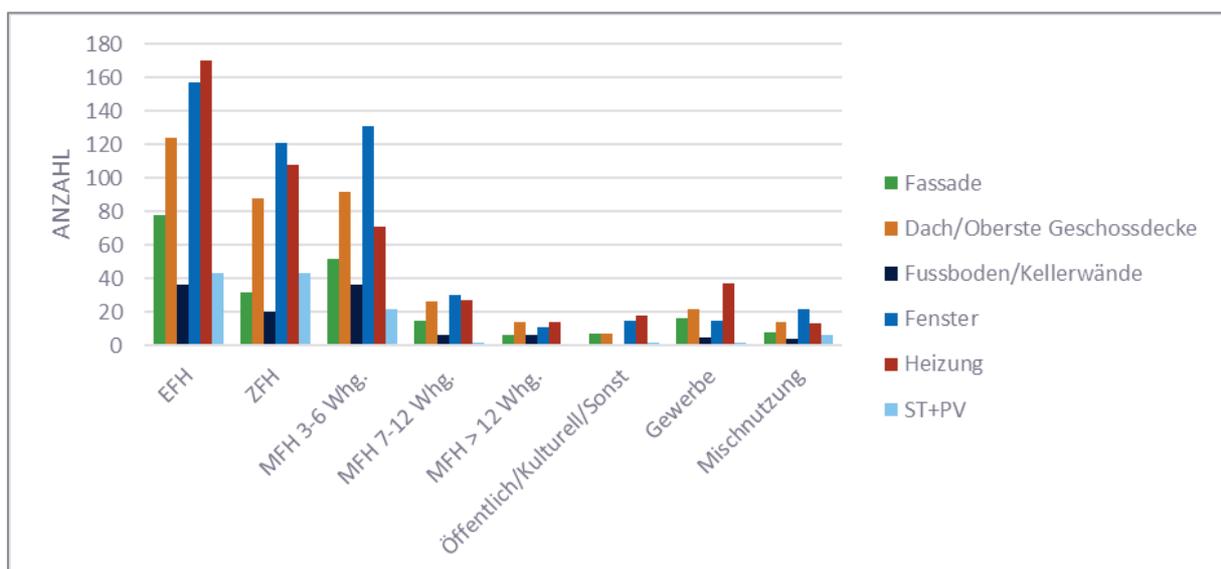


Abbildung 20: Energetische Sanierungen der letzten Jahrzehnte, absolut

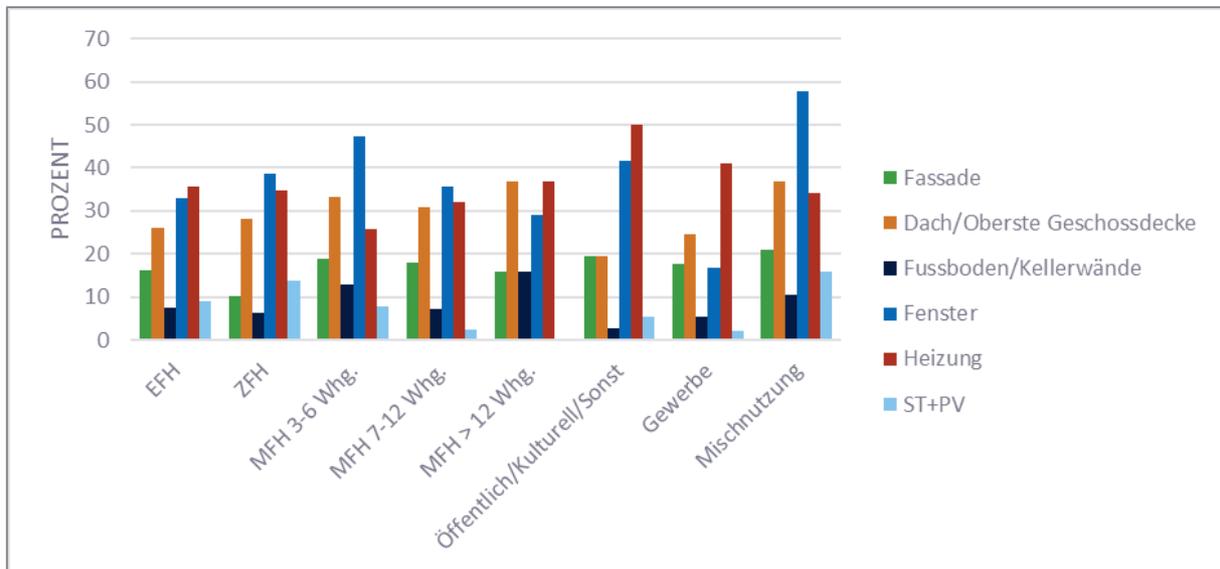


Abbildung 21: Energetische Sanierungen der letzten Jahrzehnte, prozentual

Abbildung 22 und Abbildung 23 sortieren diese energetischen Sanierungsmaßnahmen bei EFH und Zwei- bzw. Mehrfamilienhäusern auf die letzten Jahrzehnte. Bei den ZFH und MFH lässt sich eine gleichmäßige aber langsame Sanierungsrate beobachten, nicht jedoch bei den EFH. Der Zubau an PV- und Solarthermieanlagen ab dem Jahr 2001 deutet darauf hin, dass die ersten Eigentümer\*innen sich erneuerbaren Energien zuwenden.

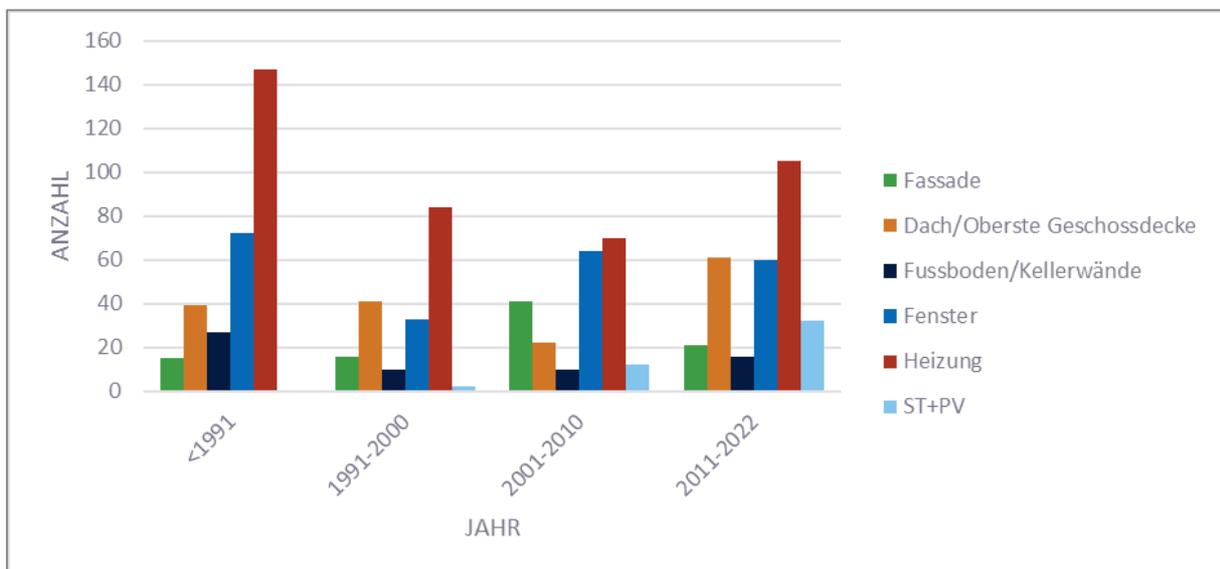


Abbildung 22: Energetische Sanierungen bei EFH der letzten Jahrzehnte

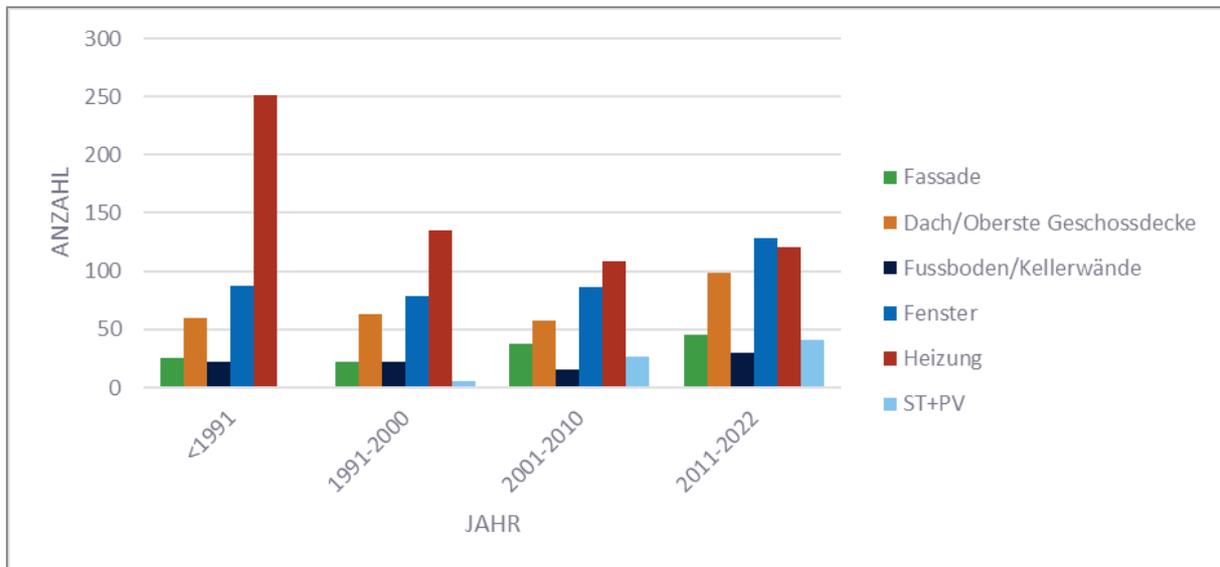


Abbildung 23: Energetische Sanierungen bei ZFH und MFH der letzten Jahrzehnte

Auf Basis der Befragung und der Gebäudealter können zudem die Fensteralter im gesamten Quartier abgeschätzt werden. So sind 72 % aller Fenster 20 Jahre und jünger. 12 % der Fenster sind älter als 30 Jahre und sollten dringend ausgetauscht werden, da häufig die Dämmqualität des Einbauzustands nachgelassen hat. Aber auch Fenster die 20 Jahre und älter sind, bieten in der Regel ein Energieeinsparpotenzial und können durch bessere ausgetauscht werden, auch wenn die Fassade energetisch nicht verbessert wird, da diese häufig bereits einen besseren U-Wert aufweist. Abbildung 24 zeigt diese Altersstruktur. Im Idealfall kann ein Fenstertausch mit umfangreicheren Sanierungsmaßnahmen einhergehen, um eine bauphysikalische sinnvolle Lösung zu finden.

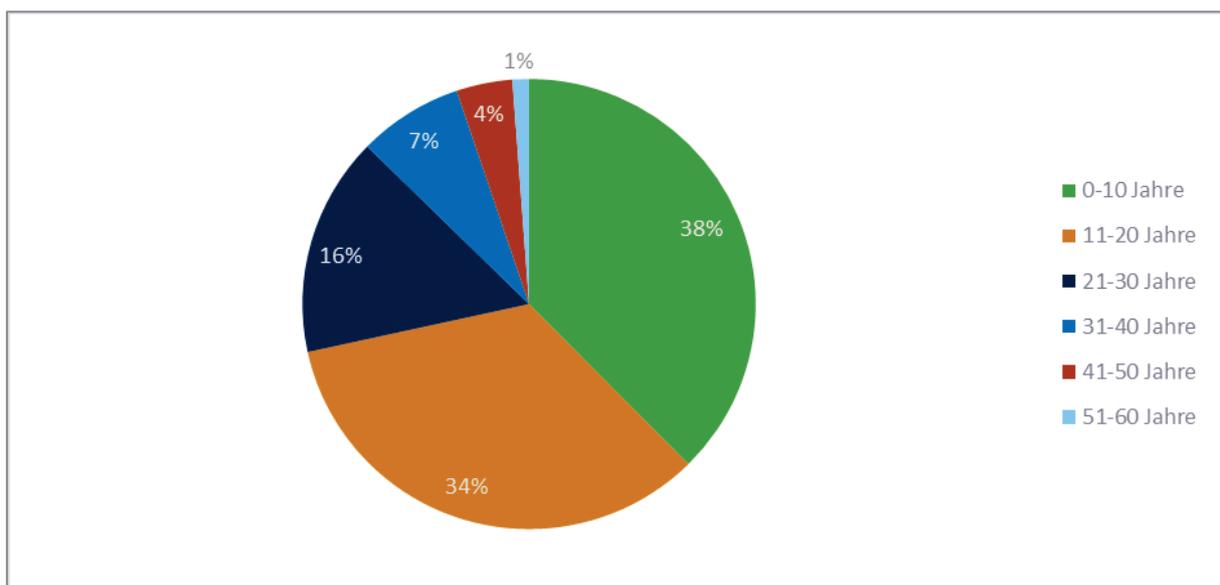


Abbildung 24: Altersstruktur der Fenster

### 2.5.3 Anlagentechnik

Es kommt überwiegend fossile Hauptheizungen zum Einsatz: Ölheizungen machen 36 % des Anteils aus, Erdgas 48 %. Flüssiggas und elektrische Heizungen rangieren zusammen unter 1 %, Lediglich 5 % der Gebäude werden mit erneuerbaren Energien beheizt, davon 2 % mit Holz und 3 % über Wärmepumpen. 11 % der Gebäude sind über Nahwärmenetze versorgt, die derzeit von erdgasbetriebenen BHKW gespeist werden. Das Abbildung 25 zeigt die Verteilung. Abbildung 26 zeigt noch die Einbaujahre der Hauptheizungen. Sehr viele Heizungen (36 %) sind von vor 1991. Gemeinsam mit den Analysen in 2.5.2 Gebäudesanierungen kann festgehalten werden, dass es sinnvoll ist, den heutigen Zeitpunkt für Sanierungsüberlegungen zu nutzen, da in diesem Jahrzehnt bei vielen Gebäuden ein turnusmäßiger Austausch von Fenstern und Heizungen ansteht. Der niedrige Sanierungsstand weiterer Hüllelemente sollte zudem zum Anlass genommen werden ganzheitliche Optimierungen vorzunehmen. Abbildung 27 stellt noch zusätzlich nach Gebäudenutzung die installierten Leistungen von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen dar. Insgesamt sind alle Akteure bisher noch sehr zurückhaltend (private, gewerbliche, öffentliche). Ein hoher Nachholbedarf erforderlich, um die Klimaschutzziele zu erreichen und das Quartier dauerhaft vor hohen fossilen Energiepreisen zu schützen.

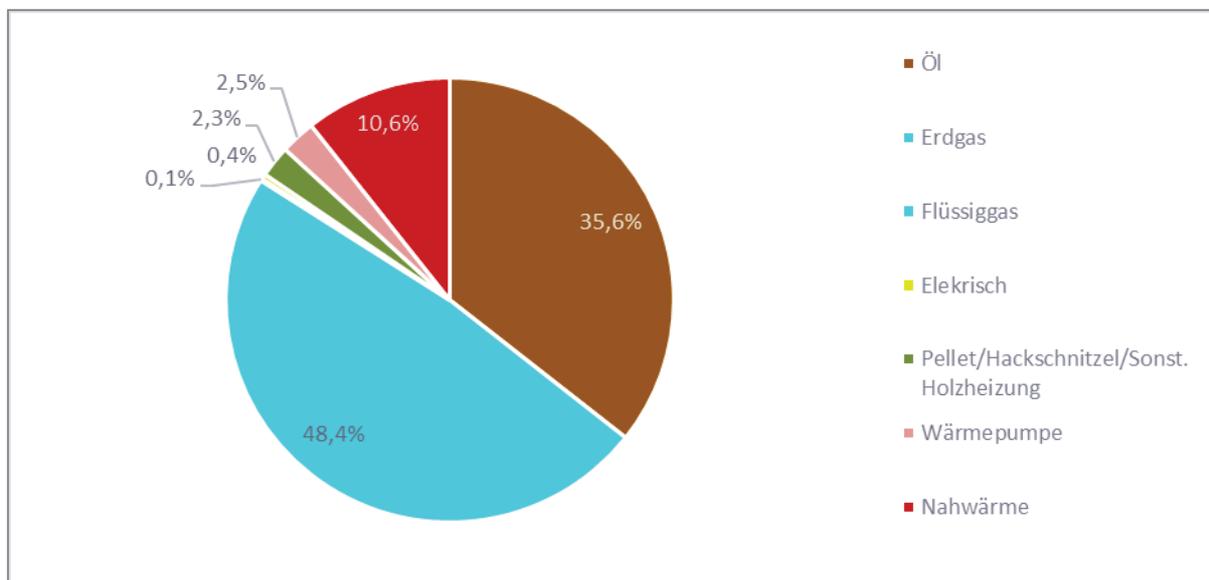


Abbildung 25: Eingesetzte Energieträger bei Hauptheizungen

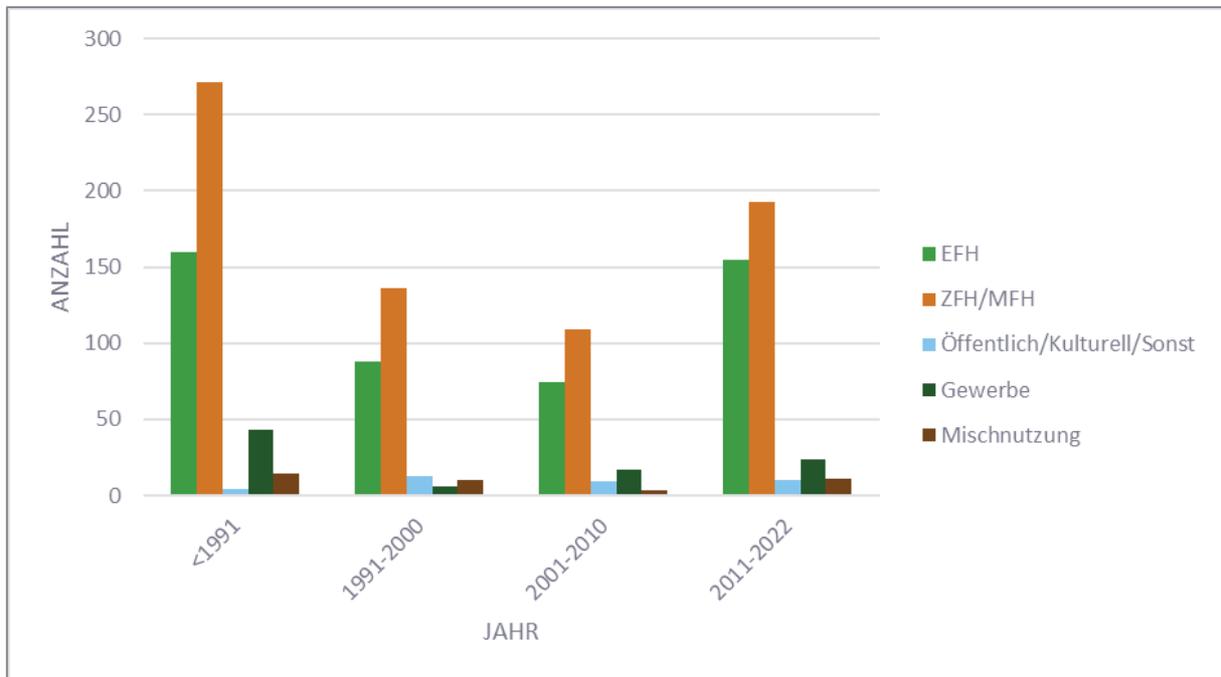


Abbildung 26: Baujahre der Hauptheizungen

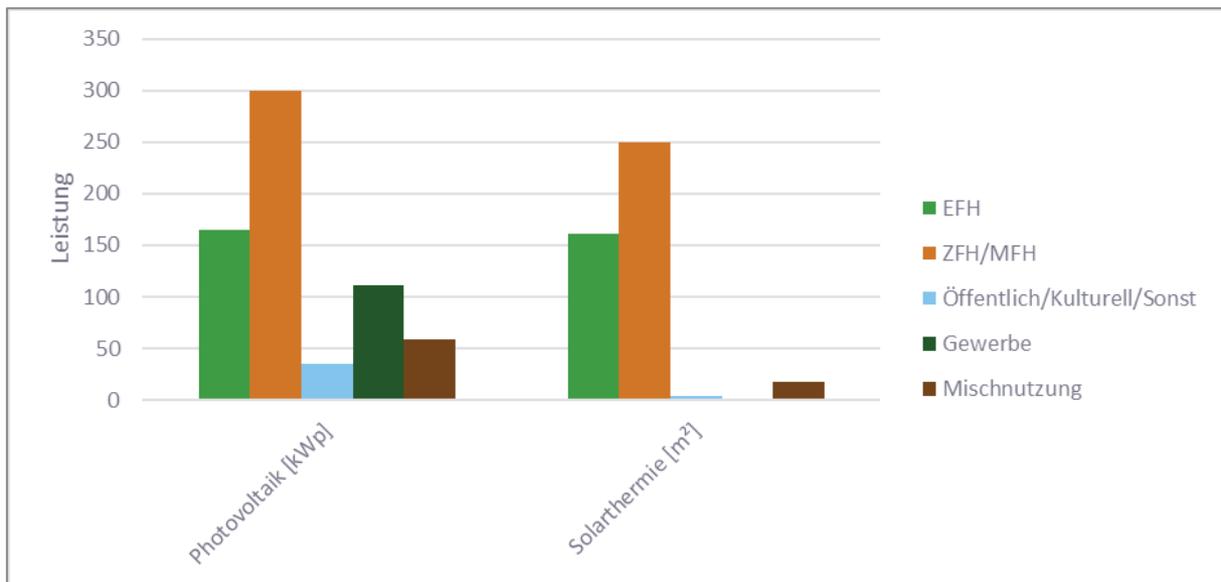


Abbildung 27: Installierte Leistungen Photovoltaik- und Solarthermieanlagen

### 3 Gebäude-Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz

In diesem Kapitel werden zunächst der Energieverbrauch bzw. Energiebedarf und anschließend die damit verbundenen Treibhausgasemissionen analysiert. Die Berechnungen für dieses Kapitel erfolgten durch die EnergyEffizienz GmbH sowie durch das Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft der RWTH Aachen.

#### 3.1 Energiebilanzierung

Um den Gebäudeenergieverbrauch des Ist-Zustands im Untersuchungsgebiet sowie die dadurch entstehenden Treibhausgasemissionen darzustellen, werden im Folgenden die Bereiche Strom und Wärme betrachtet. Zunächst wird der Nutzwärme- und Strombedarf ermittelt, unabhängig von Heizungstechnologien. Die Bilanzierung wird mit dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Planungstool durchgeführt. Sofern Verbrauchsangaben zur Verfügung standen, wurden diese genutzt.

##### 3.1.1 Wärmesektor

Abbildung 28 zeigt den gesamten Nutzwärmebedarf des Quartiers (ca. 101.034 MWh). Die größten Verbraucher stellen die Wohngebäude mit 61 % da. Darunter sind insbesondere die EFH, ZFH und kleinen MFH vertreten. Die großen Gewerbeflächen im Quartier verzeichnen ebenfalls einen hohen Anteil am Bedarf mit 29 %.

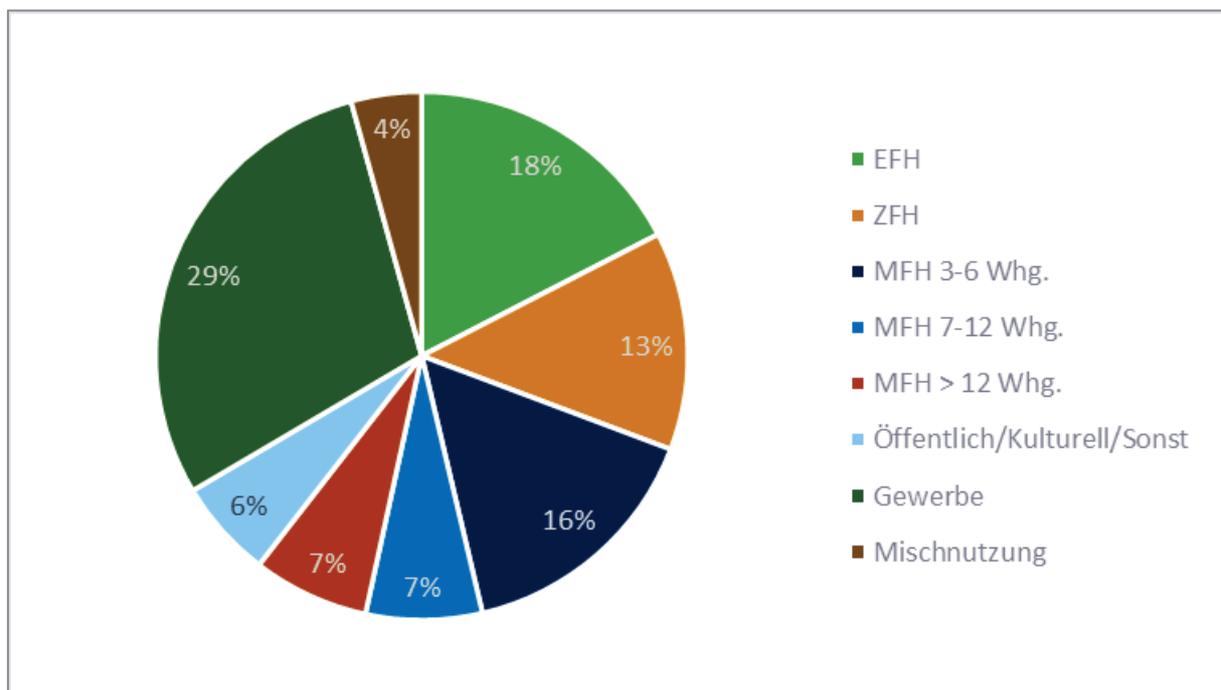


Abbildung 28: Verteilung des Nutzwärmebedarfs

Tabelle 1 listet übersichtlich die Nutzwärmebedarfe der Nutzungstypen nach Baualterklassen sortiert auf.

Tabelle 1: Nutzwärmebedarf [MWh<sub>th</sub>/a]

	Anz	Alle Typen	EFH	ZFH	MFH 3-6 Whg.	MFH 7-12 Whg.	MFH >12 Whg.	Öffent./Kult./So nst.	Ge- werbe	Misch
<b>Gesamt</b>	<b>1351</b>	<b>101.034</b>	<b>17.501</b>	<b>13.446</b>	<b>15.672</b>	<b>7.106</b>	<b>7.126</b>	<b>6.046</b>	<b>29.410</b>	<b>4.308</b>
<b>1860-1918</b>	167	10.148	2.103	1.290	3.556	1.070	848	253	285	741
<b>1919-1948</b>	209	10.860	3.114	2.363	2.588	757	176	779	193	891
<b>1949-1957</b>	61	2.477	430	846	731	165	193	76	0	36
<b>1958-1968</b>	195	10.639	3.306	2.148	2.844	943	496	61	147	320
<b>1969-1978</b>	342	23.129	5.345	4.696	3.273	2.418	2.325	3.252	1.177	615
<b>1979-1983</b>	45	3.003	539	793	753	29	812	75	0	0
<b>1984-1994</b>	177	35.496	1.587	637	1.170	821	2.052	406	27.468	1.338
<b>1995-2001</b>	13	399	117	102	0	0	0	180	0	0
<b>2002-2009</b>	9	617	123	43	0	0	0	451	0	0
<b>2010-2015</b>	5	95	41	0	0	54	0	0	0	0
<b>2016-2020</b>	128	4.171	797	528	756	849	223	512	139	367

Tabelle 2 schlüsselt die Nutzwärmebedarfe weiter auf und zeigt die Mittelwerte eines Typs und zusätzlich die Baualtersklassen. EFH benötigen im Durchschnitt 36.690 kWh/a, ZFH 43.098 kWh/a, MFH entsprechend mehr. Tabelle 3 gibt die Mittelwerte bezogen auf die beheizte Fläche an. Grundsätzlich gilt natürlich, dass jüngere Gebäude dem Bedarf nach weniger Energie pro Fläche benötigen. Da einige Verbräuche bekannt sind, kann es auch zu unerwarteten Schwankungen zwischen und innerhalb der Klassen kommen. Grundsätzlich können sich Gebäude aus der gleichen Baualtersklasse durch unterschiedliche Kubatur und Bauweise im Bedarf unterscheiden, da in die Berechnungen unterschiedliche Grundrisse, Dachformen, Gauben, Keller usw. mit einfließen. Die modernsten Baualtersklassen zeigen, dass der Hüllaufbau enorme Auswirkungen auf den Bedarf hat. Beispielsweise benötigen EFH aus der Baualtersklasse 1958-1968 222 kWh/m<sup>2</sup> a und aus der Baualtersklasse 2016-2020 lediglich 77 kWh/m<sup>2</sup> a, also weniger als die Hälfte.

Tabelle 2: Nutzwärmebedarf [kWh<sub>th</sub>/a], Mittelwert

	Anz	Alle Typen	EFH	ZFH	MFH 3-6 Whg.	MFH 7-12 Whg.	MFH >12 Whg.	Öffent./Kult./So nst.	Ge- werbe	Misch
<b>Gesamt</b>	1351	74.785	36.690	43.098	56.781	84.595	187.521	197.726	334.203	113.356
<b>1860-1918</b>	167	60.764	42.068	49.597	64.663	66.892	212.111	63.862	47.542	123.459
<b>1919-1948</b>	209	51.962	38.442	44.579	53.918	94.637	87.857	205.421	27.590	127.245
<b>1949-1957</b>	61	40.606	23.868	36.785	48.724	82.412	193.440	75.818	0	36.349
<b>1958-1968</b>	195	54.560	41.843	44.758	63.208	104.768	124.031	30.607	48.846	79.881
<b>1969-1978</b>	342	67.628	43.101	47.921	58.452	105.127	211.374	433.613	117.719	87.856
<b>1979-1983</b>	45	66.724	41.487	46.676	75.272	29.400	270.724	75.478	0	0
<b>1984-1994</b>	177	200.543	34.500	39.789	58.490	82.105	205.165	92.341	465.568	133.787
<b>1995-2001</b>	13	30.695	16.688	33.948	-	-	-	75.681	0	0
<b>2002-2009</b>	9	68.596	20.507	43.292	-	-	-	225.515	0	0
<b>2010-2015</b>	5	19.062	10.352	-	-	53.900	-	0	0	0
<b>2016-2020</b>	128	32.585	16.262	19.564	27.999	60.616	74.372	255.782	46.409	122.436

 Tabelle 3: Nutzwärmebedarf [kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> a], Mittelwert

	Anz	Alle Typen	EFH	ZFH	MFH 3-6 Whg.	MFH 7-12 Whg.	MFH >12 Whg.	Öffent./Kult./So nst.	Ge- werbe	Misch
<b>Gesamt</b>	<b>1351</b>	<b>196,31</b>	<b>190,31</b>	<b>210,85</b>	<b>213,73</b>	<b>186,35</b>	<b>168,94</b>	<b>109,16</b>	<b>145,96</b>	<b>279,74</b>
<b>1860-1918</b>	167	226,08	207,77	255,63	227,39	245,35	216,85	135,66	139,30	352,19
<b>1919-1948</b>	209	221,50	212,21	225,34	235,35	221,36	230,38	105,00	134,93	338,06
<b>1949-1957</b>	61	188,30	177,74	177,77	220,84	217,59	181,19	78,98	0,00	190,43
<b>1958-1968</b>	195	216,02	210,96	226,48	227,83	197,35	170,01	95,66	141,75	273,07
<b>1969-1978</b>	342	222,30	221,92	238,03	243,09	202,80	183,90	106,03	128,77	323,74
<b>1979-1983</b>	45	190,50	178,36	200,16	207,47	68,43	152,13	251,59	0,00	0,00
<b>1984-1994</b>	177	164,77	174,12	169,80	181,62	170,28	151,72	95,14	150,64	214,32
<b>1995-2001</b>	13	109,96	109,43	122,79	-	-	-	98,05	0,00	0,00
<b>2002-2009</b>	9	97,42	98,36	99,02	-	-	-	93,79	0,00	0,00
<b>2010-2015</b>	5	87,43	90,82	-	-	73,86	-	0,00	0,00	0,00
<b>2016-2020</b>	128	86,38	76,95	85,97	85,20	88,30	77,92	136,50	154,40	152,86

Abbildung 29 trägt die Nutzwärmebedarfe auf die Quartierskarte ab, indem adressscharfe Bedarfe zusammengefasst werden und diese entsprechend der Gewichtung eingefärbt werden. So lassen sich Hotspots unter Wahrung des Datenschutzes erkennen, zum Beispiel zur Abschätzung für Eignungsgebiete für Wärmenetze. Der Industriekomplex und die Gewerbegebiete stechen hervor. Eine Eignung für die einzelnen Objekte für den Anschluss an ein Wärmenetz ist mit den Eigentümer\*innen zu diskutieren. Die Versorgungssicherheit von Wohngebäuden sollte nicht an die Abnahme von Industrie und Gewerbe gebunden sein: Ein Einstellen von Betrieben darf nicht die Wirtschaftlichkeit eines Netzes gefährden. Aus diesem

Grund kann es vorteilhaft sein, zunächst Wohngebiete zu erschließen und Netze nur sukzessive für Industrie und Gewerbe zu öffnen.

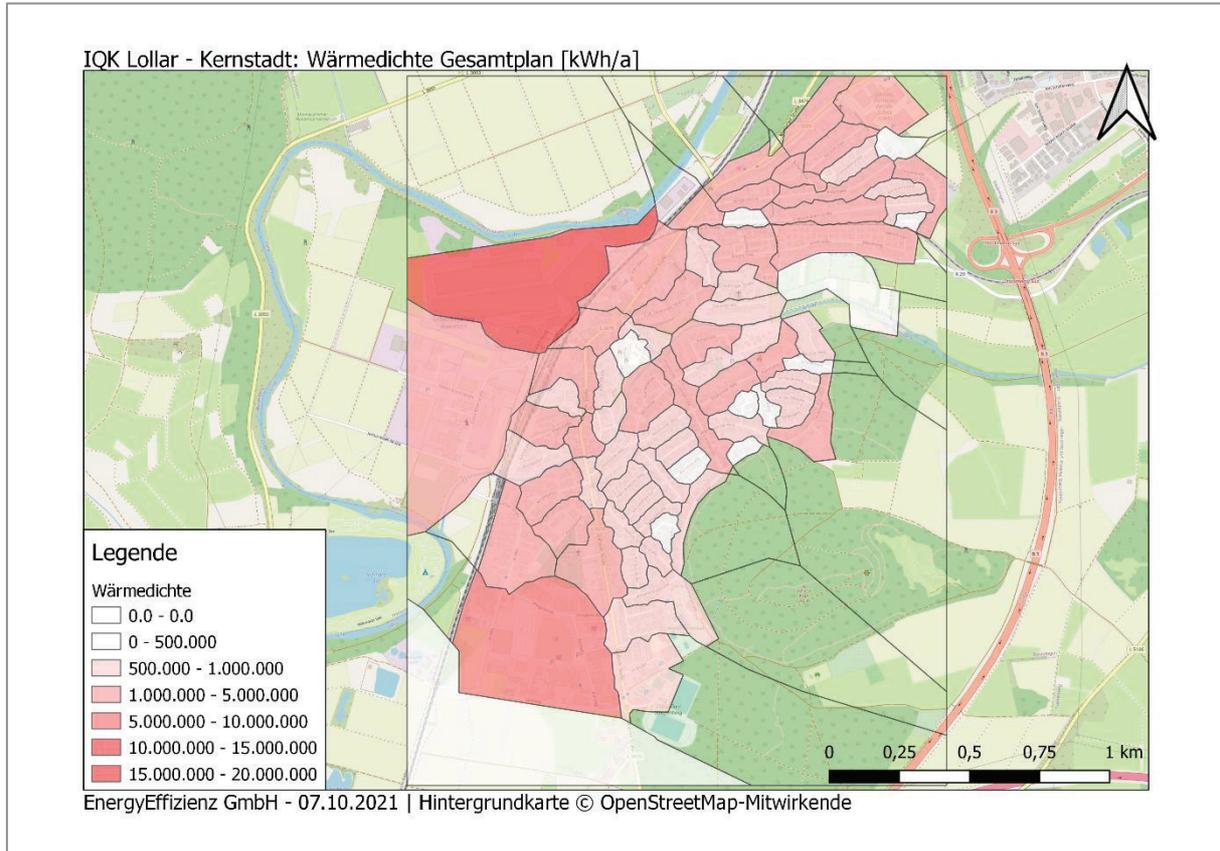


Abbildung 29: Quartierskarte Nutzwärmebedarf, gesamt

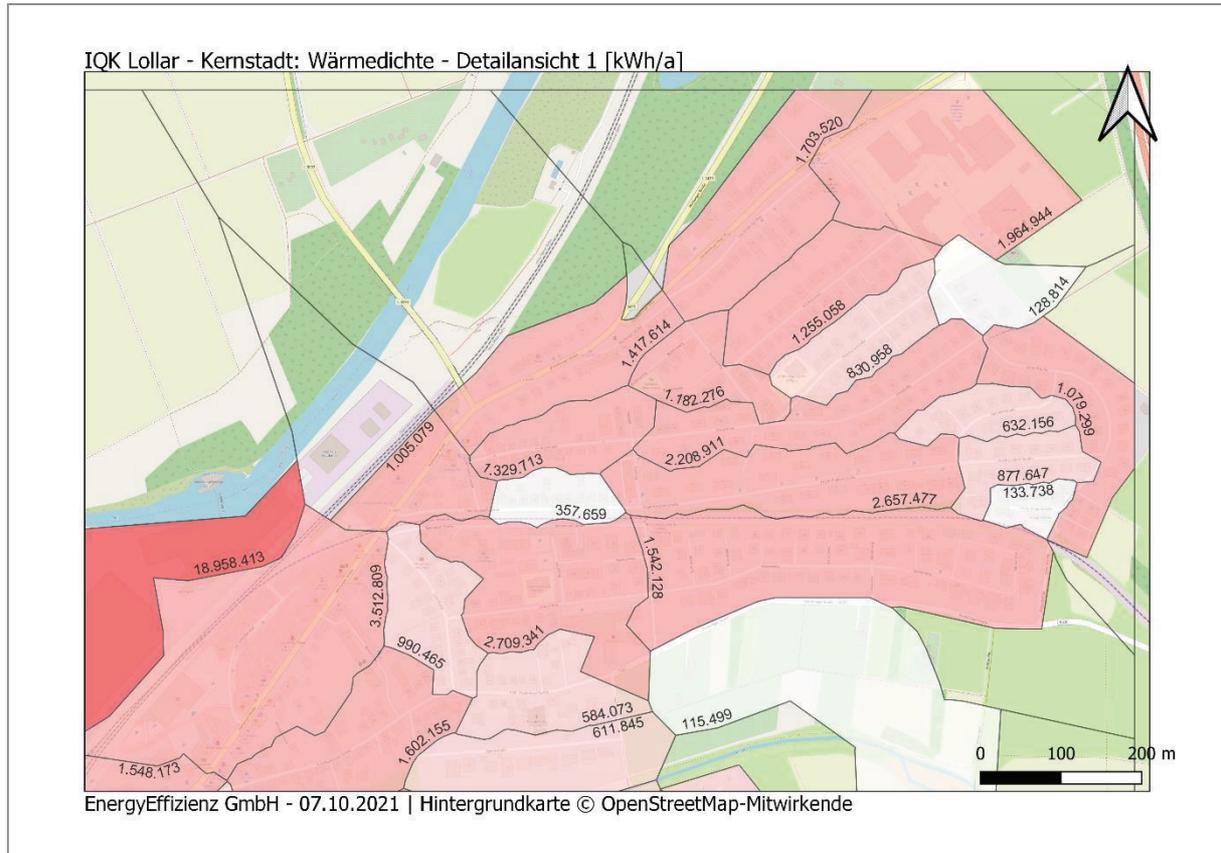


Abbildung 30: Quartierskarte Nutzwärmebedarf, Norden

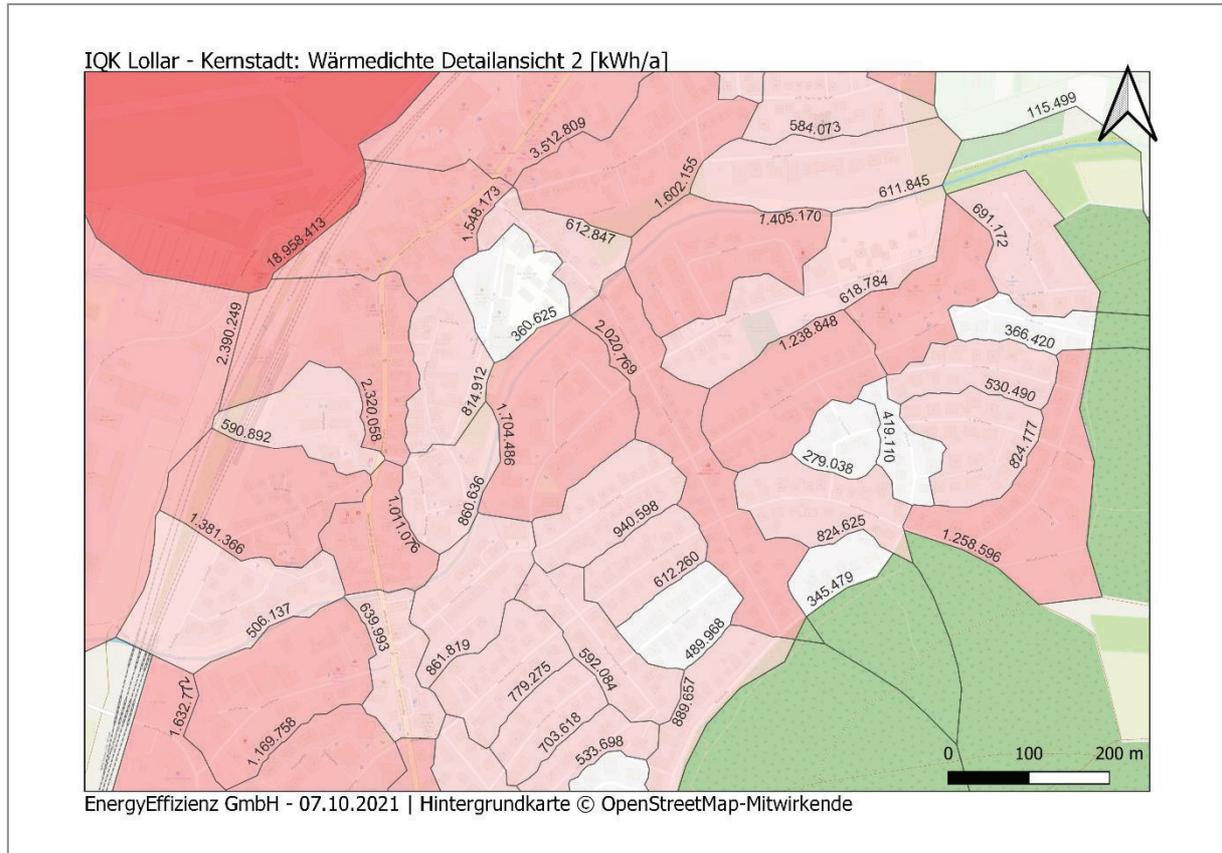


Abbildung 31: Quartierskarte Nutzwärmebedarf, Mitte

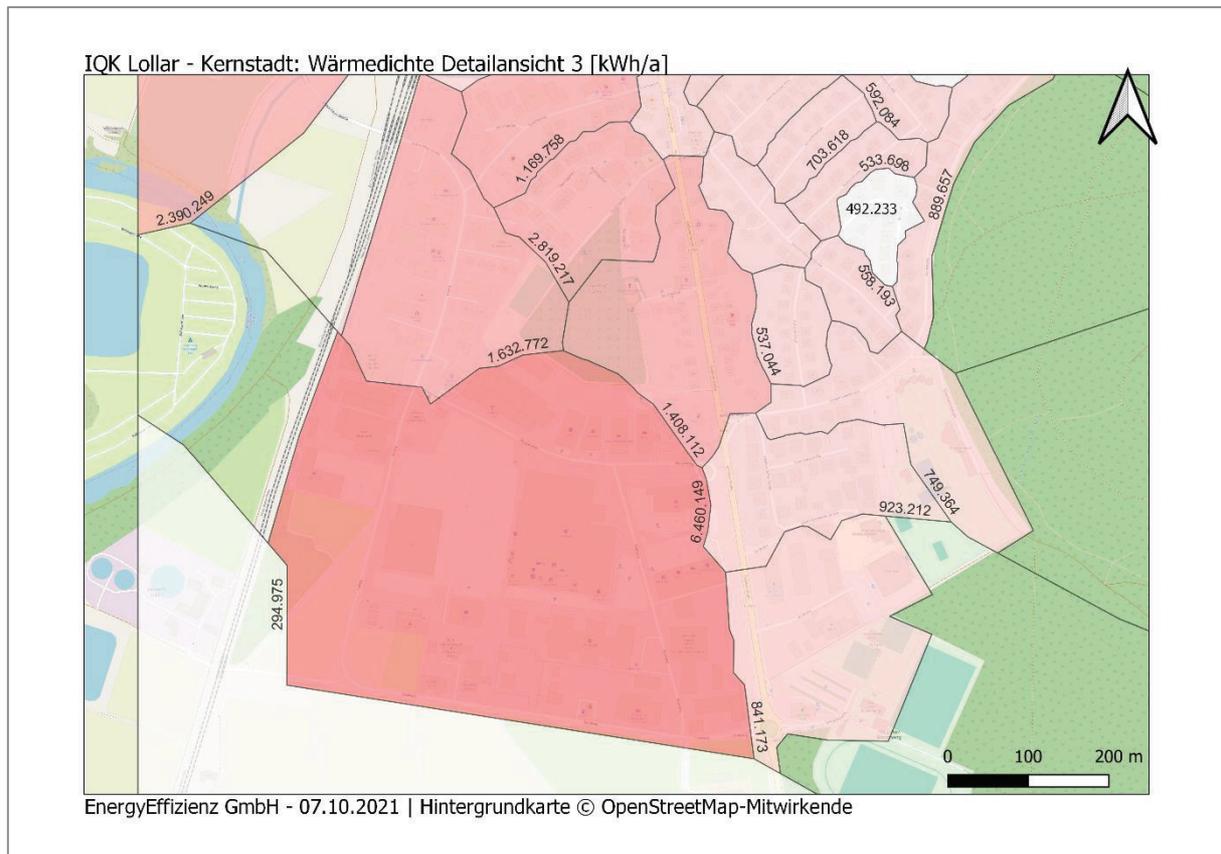


Abbildung 32: Quartierskarte Nutzwärmebedarf, Süden

Der Nutzwärmebedarf wird zu 59 % durch Erdgas und zu 27 % durch Öl gedeckt. 10 % können durch die vorhandenen Wärmenetze abgedeckt werden, lediglich 2 % durch Pelletheizungen und 1 % durch L/W-Wärmepumpen. Des Weiteren kommen BHKW, Elektroheizungen, Solarthermieanlage, Flüssiggasanlagen, S/W-Wärmepumpen und Hackschnitzelanlagen in nicht nennenswertem Umfang zum Einsatz. Der Bedarf wird in dieser Betrachtung nur durch Hauptheizungen gedeckt. Kaminöfen etc. bleiben unbeachtet, weil stets unklar ist, wie stark sie zum eigentlichen Heizen oder lediglich zum Komfortgewinn genutzt werden. Abbildung 33 zeigt die Verhältnisse. Der große fossile Anteil muss in Zukunft deutlich bzw. ganz auf null reduziert werden.

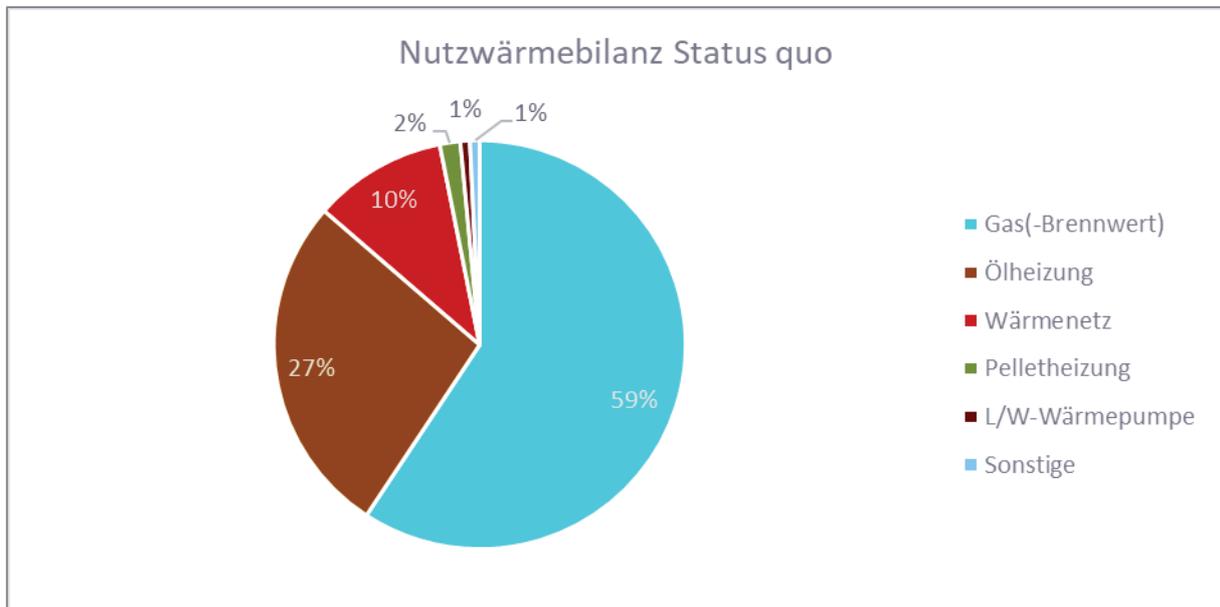


Abbildung 33: Nutzwärmebilanz nach Energieträgern Status quo

### 3.1.2 Stromsektor

Tabelle 4 zeigt den Strombedarf ohne Heizungen (ohne Wärmepumpen/Stromheizungen etc.) im Mittel nach Nutzungstypen sortiert und Tabelle 5 den Gesamtbedarf ohne Heizungen mit 21.574 MWh. Abbildung 34 zeigt die zugehörige Verteilung. Der Strombedarf skaliert grundsätzlich stark mit der Anzahl der Wohneinheiten. Das Gewerbe (hier mit Industrie) benötigt vergleichsweise viel Strom. Abbildung 35 zeigt den aktuellen Strombedarf mit Heizungen sowie das Verhältnis der Stromerzeugung mit den vorhandenen Photovoltaik-Anlagen sowie den BHKW. Die PV-Anlagen decken bilanziell lediglich bereits 3 % und die BHKW 1 % des Strombedarfs.

Tabelle 4: Strombedarf [kWh<sub>el</sub>/a], Mittelwert (ohne Heizungen)

	Alle Typen	EFH	ZFH	MFH 3-6 Whg.	MFH 7-12 Whg.	MFH >12 Whg.	Öffent./Kult./Sonst.	Gewerbe	Misch
<b>Gesamt</b>	15.969	2.744	5.218	9.245	22.003	52.091	46.356	113.050	16.016

Tabelle 5: Strombedarf [kWh<sub>el</sub>/a], (ohne Heizungen)

	Alle Typen	EFH	ZFH	MFH 3-6 Whg.	MFH 7-12 Whg.	MFH >12 Whg.	Öffent./Kult./Sonst.	Gewerbe	Misch
<b>Gesamt</b>	21.574.542	1.308.650	1.628.163	2.551.720	1.848.223	1.979.439	1.580.922	9.948.369	608.616

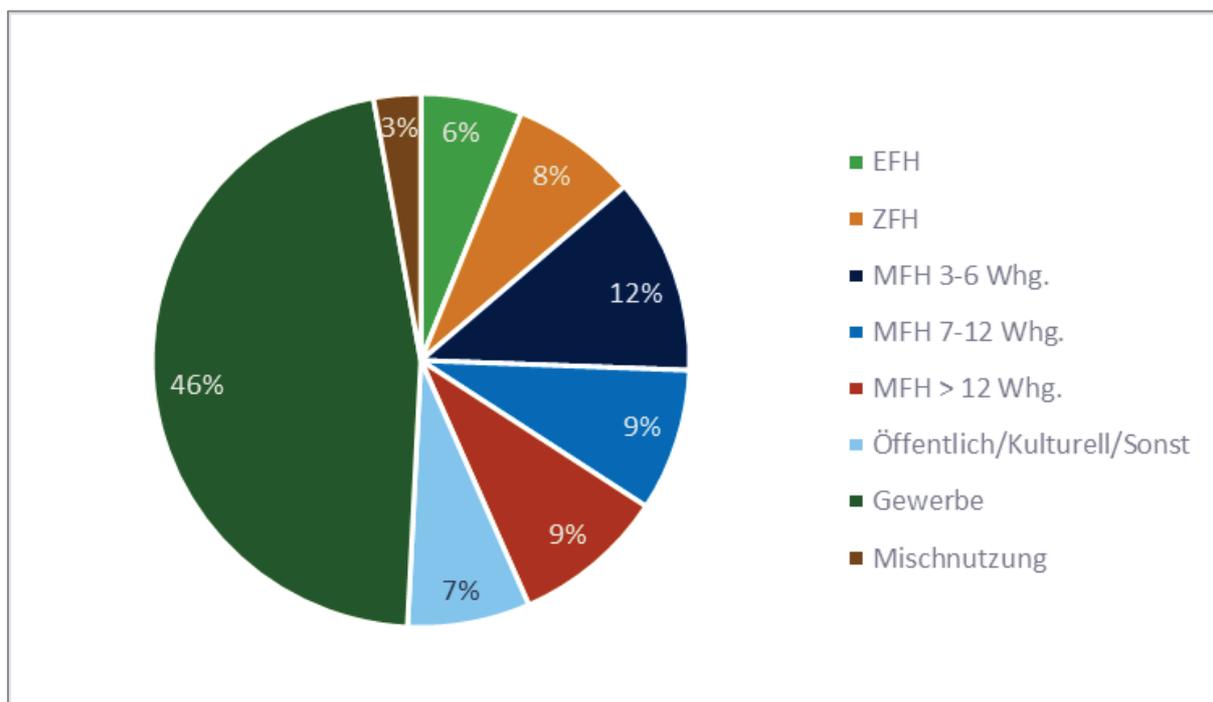


Abbildung 34: Verteilung des Strombedarfs

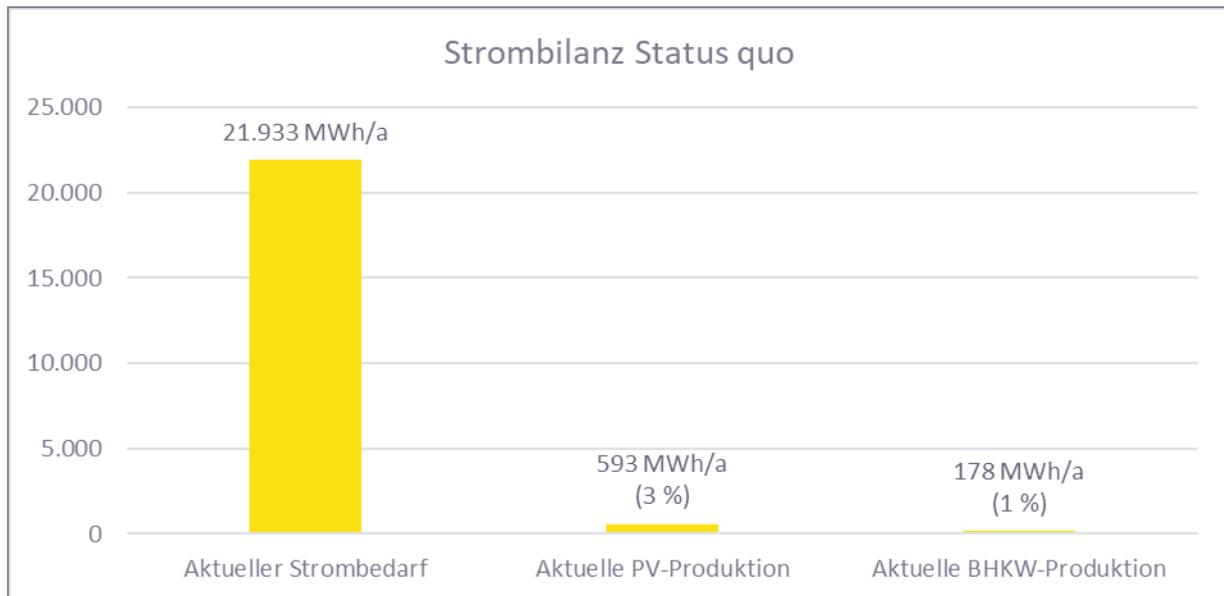


Abbildung 35: Strombilanz Status quo

### 3.1.3 CO<sub>2</sub>-Bilanzierung

Auf Basis der Strom- und Wärmebilanz wird im Folgenden eine Abschätzung der mit diesen Sektoren verbundenen Treibhausgasemissionen vorgenommen. Hierfür werden Emissionsfaktoren verwendet, die durch die EnergyEffizienz GmbH und das Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft an der RWTH Aachen, ehemals Institut für Hochspannungstechnik, im Rahmen des Forschungsprojekts „Modellstadt25+“, sowie im laufenden Forschungsvorhaben Q-SWOP zusammengestellt wurden (vgl. u.a. Schönberger et al. 2017). In den Faktoren sind Veränderungen enthalten, die sich im Laufe der nächsten Jahre ergeben werden. So wird sich z.B. der heutige Faktor für den Strom-Mix in Zukunft verbessern. Gemäß der zu erwartenden sich verändernden Rahmenbedingungen seitens des Bundes (Konzeptionspapier von Wirtschafts- und Bauministerium, Verbot von neuen Heizungen mit < 65 % Regenerativanteil ab Januar 2024) wurde außerdem angenommen, dass Wärmenetzbetreiber eine Transformationsstrategie auf erneuerbare Energien oder Abwärme nachweisen müssen. Es ist zu erwarten, dass die aktuellen Gas-BHKW bis Mitte der 2030iger Jahre umgestellt worden sind (Biomasse oder Holzvergaser). Entsprechend wurde ein gemittelter Emissionswert angesetzt. Aus dem Papier geht ebenfalls hervor, dass bei Anschluss an das Erdgasnetz Gase mit 65 % EE-Anteil zu beziehen ist. Entsprechend wurden die Emissionen hinterlegt.

Im Ergebnis zeigt sich unter obigen Annahmen, dass die Emissionen durch den Weiterbetrieb der Heiztechnik bei rund 19.528 t CO<sub>2</sub> pro Jahr liegen. Die größten Anteile davon entfallen hierbei auf die Öl- und Gasheizungen mit 10.631 sowie 8.067 t CO<sub>2</sub>, siehe Tabelle 6. Durch Strom werden 1.558 t CO<sub>2</sub> pro Jahr ausgestoßen. PV-Anlagen und die BHKW führen zu Emissionseinsparungen durch Einspeisung und Eigenverbrauch. Insgesamt werden jährlich ca. 20.711 t CO<sub>2</sub> ausgestoßen.

Tabelle 6: Emissionsbilanz im Status quo

	<b>Endenergie [kWh<sub>END</sub>/a]</b>	<b>Emissionsfaktor [kgCO<sub>2</sub>/ kWh<sub>END</sub>]</b>	<b>Emissionen [t CO<sub>2</sub>/a]</b>
Netzbezug	21.607.353	0,072	1.556
PV-Einspeisung (Gutschrift) <sup>24</sup>	550.926	-0,025	-14
PV-Eigenverbrauch (neg. Gutschrift) <sup>24</sup>	41.978	0,047	2
BHKW-Einspeisung (Gutschrift) <sup>25</sup>	167.556	-0,072	-12
BHKW- Eigenverbrauch	10.558	0	0
<b>Σ Emissionen Strom</b>			<b>1.544</b>
Gasheizung	74.009.244	0,109	8.067
Ölheizungen	33.857.319	0,314	10.631
Wärmenetze	11.147.069	0,064	713
Pelletheizungen	2.011.893	0,027	54
Luft/Wasser- Wärmepumpen	797.016	0,024	19
Stromheizungen	243.879	0,072	18
Solarthermie	111.586	0	0
Flüssiggasheizung	83.988	0,277	23
Sole/Wasser- Wärmepumpen	66.807	0,018	1
Hackschnitzel/ Scheitholz	58.335	0,019	1
BHKW	5.403	0,250	1
<b>Σ Emissionen Wärme</b>			<b>19.528</b>
<b>Σ Emissionen gesamt</b>			<b>20.711</b>

<sup>24</sup> Mitbeachtet werden Emissionen, die bei der PV-Modul-Herstellung anfallen und auf die erzeugten kWh umgelegt werden; hier negative Gutschrift genannt.

<sup>25</sup> Da in den Betrachtungen bei Heizungsanlagen (z.B. BHKW) kein Life-Cycle-Assessment abgebildet wird zur Herstellung der Anlagen werden die Einspeisungen direkt mit dem Emissionsfaktor des Strommixes angesetzt und keine negativen Emissionen abgezogen.

## 4 Gebäude-Energie- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

Im folgenden Kapitel werden die Potenziale in der Ausgestaltung der Heizungsstruktur und der Wahl der Hüllsanierungen untersucht, die zu einer Verminderung des Strom- und Wärmebedarfs, der Energiekosten und der lokal verursachten Treibhausgasemissionen im Quartier führen.

### 4.1 Berechnungsmethodik

Für die Potenzialberechnung wurde ein Planungstool eingesetzt, das die EnergyEffizienz GmbH, die RWTH Aachen und die Stadt Lampertheim im Rahmen des F&E-Projekts *Modellstadt25+* (2012-2017) entwickelt haben.<sup>26</sup> Das Planungstool ist insbesondere auf die energieträgerübergreifende Anwendung in integrierten energetischen Quartierskonzepten ausgerichtet. Die Berechnungen im Rahmen des Quartierskonzepts Lollar wurden vom Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft der RWTH Aachen im Unterauftrag der EnergyEffizienz GmbH durchgeführt.

Mithilfe des Planungsverfahrens kann das wirtschaftlich umsetzbare Erneuerbare-Energien- und Energiesparpotenzial in Gebäuden und Quartieren ermittelt werden. Zudem lassen sich potenzielle Nahwärme-Gebiete und ökologisch-ökonomisch optimale Sanierungsmaßnahmen identifizieren. Abbildung 36 zeigt eine exemplarische Lösung für ein typisches Einzelgebäude mit einem Heizenergiebedarf von 40 MWh/a und einem Strombedarf von 3.000 kWh/a.

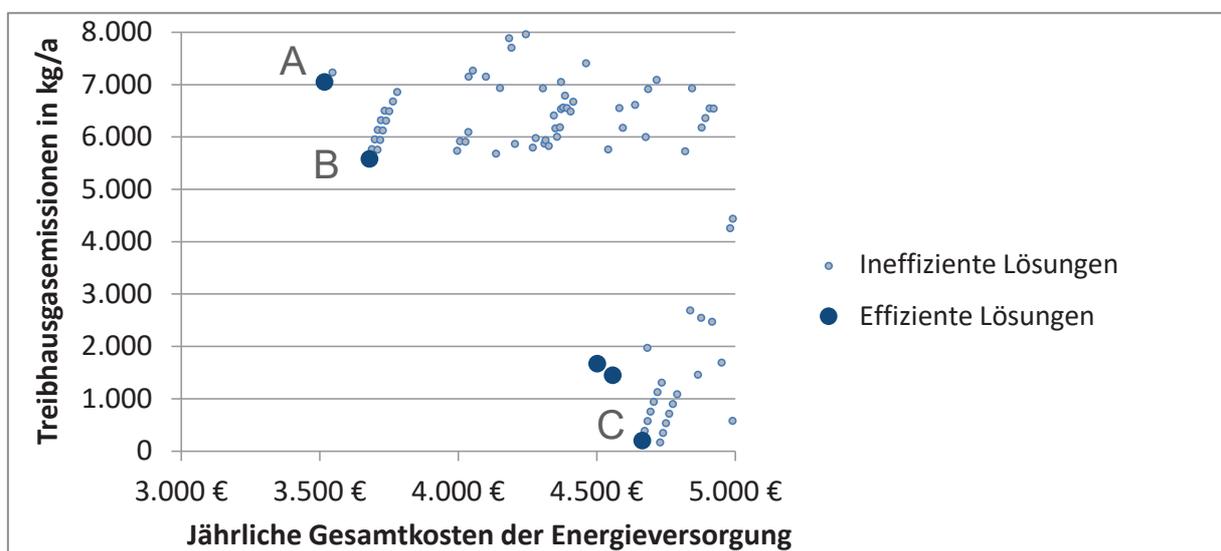


Abbildung 36: Effiziente Sanierungs- und Versorgungslösungen am Beispiel eines Einzelgebäudes<sup>27</sup>

<sup>26</sup> [Schönberger, et al., 2017]

<sup>27</sup> Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen

In den jährlichen Gesamtkosten für die Energieversorgung sind sowohl die Betriebskosten als auch die auf ein Jahr heruntergebrochenen Investitionskosten für Sanierungen und Gebäudetechnik enthalten. Hierbei werden ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und ein angenommener Kalkulationszins von 3 % zugrunde gelegt. In den jährlichen Emissionen werden sowohl die im Betrieb als auch die bei Herstellung und Entsorgung sämtlicher Technologien/Materialien anfallenden Emissionen berücksichtigt (Lebenszyklusanalyse).

Die dunkelblauen Punkte stellen die aus Kosten- und Umweltsicht effizienten bzw. optimalen Lösungen dar, d.h. es gibt keine Lösung, die zugleich kostengünstiger und mit weniger Treibhausgasemissionen verbunden ist. Die hellblauen Punkte in der Grafik bilden aus Kosten- und Umweltsicht ineffiziente Auslegungsvarianten für die Strom- und Wärmeversorgung des Gebäudes sowie ihre jeweiligen Auswirkungen auf Kosten und Emissionen von Treibhausgasen ab. Hinter jedem Punkt der Gesamtheit der Lösungen ist die konkrete Auslegung (Nennleistung der Erzeugungsanlagen in kW, Dämmstärke, Fenstertyp etc.) hinterlegt. Drei effiziente Lösungspunkte aus der Grafik seien beispielhaft herausgegriffen:

- Punkt A stellt die kostengünstigste Lösung dar, die allerdings zugleich hohe Treibhausgasemissionen aufweist. Hier wird die Installation eines Gasbrennwertkessels vorgesehen. Zudem beinhaltet die Lösung die Dämmung der Kellerdecke. Auf eine Photovoltaikanlage wird aufgrund der Westausrichtung des Daches verzichtet.
- Im Punkt B ist im Vergleich zum Punkt A die Installation einer Photovoltaikanlage vorgesehen. So können die Emissionen um ca. 20 % reduziert werden. Allerdings fallen Mehrkosten in Höhe von etwa 5 % an.
- Punkt C ist unter Umweltgesichtspunkten das Optimum, jedoch mit hohen Kosten verbunden. In dieser Lösung werden eine PV-Anlage sowie eine Pelletheizung installiert.

Das Planungstool dient insbesondere zur Identifizierung der effizienten Lösungen für die betrachteten Gebäude. Welche der effizienten Lösungen realisiert wird, hängt von den individuellen Präferenzen des Nutzers bzw. Entscheiders ab und wie dieser Kosten und Umweltauswirkungen der Energieversorgung gegeneinander gewichtet.

Zusätzliche Effizienzpotenziale lassen sich zudem durch die Nutzung von Nahwärmenetzen erschließen. Abbildung 37 zeigt auf, wie sich die Kurve optimierter Versorgungslösungen verschieben kann, wenn eine mögliche Nahwärmeversorgung mit einbezogen wird. Hierbei wird insbesondere das Potenzial zur Reduktion von Emissionen bei geringeren Zusatzkosten als bei der Individualversorgung deutlich.

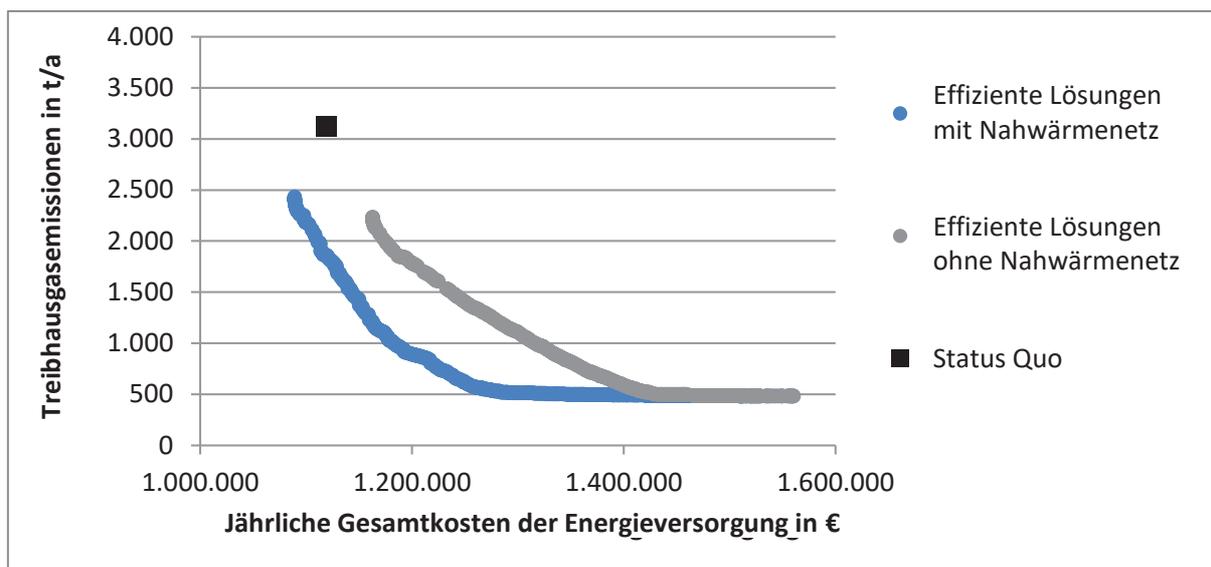


Abbildung 37: Effiziente Lösungen mit und ohne Nahwärmenetz-Option für ein Beispielquartier<sup>28</sup>

Tabelle 7 zeigt die für die Quartiersberechnung berücksichtigten Technologien sowie die damit verbundenen wirtschaftlichen und ökologischen Parameter. Außerdem werden EEG-Vergütungen und CO<sub>2</sub>-Gutschriften, bundesweite BAFA-Förderungen für Heizungen und CO<sub>2</sub>-Steuern (2021: 25 €/t, mittelfristige Prognose: 120 €/t) beachtet.

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile des Planungsverfahrens festhalten:

- Endogene Bestimmung der optimalen Versorgungsstruktur (nicht nur Bewertung vorgegebener Lösungsalternativen)
- Multikriterieller Optimierungsansatz hinsichtlich finanzieller und ökologischer Ziele
- Integrierte Betrachtung von Strom- und Wärmebedarf/-versorgung
- Ganzheitlicher Ansatz mit Einbeziehung von Lebenszyklusanalysen in die ökologische Bewertung
- Hoher Detaillierungsgrad der Teilmodelle für die verschiedenen Technologien der Strom- und Wärmeversorgung sowie für die Bestimmung der Strom-/Wärmebedarfe
- Transparente Planungsgrundlage für Investoren und Kommunalpolitik, zu welchen Kosten welche Energie- und Umweltziele erreicht werden können

<sup>28</sup> Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen

## Gebäude-Energie- und CO2-Minderungspotenziale

Tabelle 7: Übersicht der wirtschaftlichen und ökologischen Parameter der berücksichtigten Technologien auf Basis von Schönberger et al. 2017

energy costs increase	type	unit	min	max	operational lifetime	$\eta_{th}$	$\eta_{el}$	capital costs	installation costs	maintenance_costs	emissions	energy costs var	energy costs fix	energy costs increase
[%]	[-]	[-]	[kW]	[kW]	[a]	[%]	[%]	[€/kW]	[€/kW]	[%/a]	[kgCO <sub>2</sub> eq/kWh]	[€/kWh]	[€/month]	[%]
1,10	Combined Heat	kW <sub>el</sub>	1	10	15	62,82	23,20	$(9585 \cdot x^{\wedge} (-0,542)) \cdot x^{+0,51} + 1,19 \cdot 450$	$(9585 \cdot x^{\wedge} (-0,542)) \cdot x^{+0,51} + 1,19 \cdot 450$	8,0	0,109	various <sup>30</sup>	various <sup>29</sup>	1,10
0,00	Combined Heat	kW <sub>el</sub>	10	100	15	55,92	34,10	$(5638 \cdot x^{\wedge} (-0,351)) \cdot x^{+0,45} + 1,19 \cdot 450$	$(5638 \cdot x^{\wedge} (-0,351)) \cdot x^{+0,45} + 1,19 \cdot 450$	8,0	0,109	various <sup>30</sup>	various <sup>29</sup>	1,10
0,00	Combined Heat	kW <sub>el</sub>	100	1.000	15	48,33	41,70	$(4907 \cdot x^{\wedge} (-0,352)) \cdot x^{+0,60} + 1,19 \cdot 450$	$(4907 \cdot x^{\wedge} (-0,352)) \cdot x^{+0,60} + 1,19 \cdot 450$	8,0	0,109	various <sup>30</sup>	various <sup>29</sup>	1,10
0,00	Combined Heat	kW <sub>el</sub>	1.000	25.000	15	43,00	47,00	$(660,89 \cdot x^{\wedge} (-0,015)) \cdot x^{+0,80} + 1,19 \cdot 450$	$(660,89 \cdot x^{\wedge} (-0,015)) \cdot x^{+0,80} + 1,19 \cdot 450$	8,0	0,109	various <sup>30</sup>	various <sup>29</sup>	1,10
0,00	Gas Condensin	kW <sub>th</sub>	10	10.000	20	98,00	-	$110,68 \cdot x^{+4311,6}$	4500	3,0	0,109	0,2179	6,00	1,10
0,00	Gas Heat Pump	kW <sub>th</sub>	40	120	20	165,00	-	$632,43 \cdot x^{+844,07}$	$121,52 \cdot x^{+1015,42} + 4500$	2,5	0,109	0,2179	6,00	1,10
0,00	Ground Heat Pump	kW <sub>th</sub>	1	1200	20	Var. COP	-	$1407 \cdot x^{+19970}$	4500	2,5	0,072	0,1907	7,29	0,50
0,90	Air Heat Pump	kW <sub>th</sub>	1	1200	18	Var. COP	-	$629 \cdot x^{+12000}$	4500	2,5	0,072	0,1907	7,29	0,50
0,90	Pellet Heating 1	kW <sub>th</sub>	10	37,5	20	90,00	-	$117,05 \cdot x^{+10223,53}$	$4,48 \cdot x^{+4811,17} + 4500$	4,0	0,027	0,1016	0,00	0,90
0,90	Pellet Heating 2	kW <sub>th</sub>	37,5	50.000	20	90,00	-	$83 \cdot x^{+10772,04}$	$17 \cdot x^{+5069,3} + 4500$	4,0	0,027	0,1016	0,00	0,90
0,90	Wood Chip Heating 1	kW <sub>th</sub>	10	50	20	90,00	-	$173,21 \cdot x^{+15130,82}$	$4,48 \cdot x^{+4811,17} + 4500$	4,0	0,019	0,0306	0,00	0,90
0,50	Wood Chip Heating 2	kW <sub>th</sub>	50	50.000	20	90,00	-	$131,22 \cdot x^{+22266}$	4500	4,0	0,019	0,0306	0,00	0,90
1,80	Electrical Heating	kW <sub>el</sub>	1	1.000	20	100,00	-	$76,21 \cdot x^{+1689,1}$	4500	3,0	0,072	0,3600	10,71	0,50

<sup>29</sup> 0-4.000 kWh: 0,00; 4.001-50.000 kWh: 11,97; 50.001-99.999.999: 26,78

<sup>30</sup> 0-4.000 kWh: 0,0690; 4.001-50.000 kWh: 0,0579; 50.001-99.999.999: 0,0533

## Gebäude-Energie- und CO2-Minderungspotenziale

type	unit	min	max	operational lifetime	$\eta_{th}$	$\eta_{el}$	capital costs	installation costs	maintenance_costs	emissions	energy costs var	energy costs fix
		[kW]	[kW]	[a]	[%]	[%]	[€/kW]	[€/kW]	[%/a]	[kgCO <sub>2</sub> eq/kWh]	[€/kWh]	[€/month]
[-]	[-]											
Liquefied Gas	kWh <sub>h</sub>	1	25.000	20	-	-	57,23*x+3120* 1,19+1250	3367,7+4500	3,5	0,277	0,1181	0,00
Solar thermie	[m <sup>2</sup> ]	4	1.000	20	-	-	1186,4*x+ 606,44	in capital costs	1,5	0,000	0,000	0,00
Photo-voltaic	[kWp]	0,5	125	20	-	-	1253*x +1583,4	in capital costs	2,5	0,000	0,000	0,00
Photo-voltaic	[kWp]	4	1.000	20	-	-	1253*x +1583,4	in capital costs	2,5	0,000	0,000	0,00
Li-Ionen Battery	kWh <sub>el</sub>	2	10	15	-	92,00	531,25*x+3000	0*x+750	0,0	0,000	0,000	0,00
Lead-Acid Battery	kWh <sub>el</sub>	2	10	10	-	85,00	150*x+0+717,77 *x+1294,3	in capital costs	0,0	0,000	0,000	0,00
Thermal Storage	[l]	200	2.400	20	-	-	0,7882*x +965,25	4500	2,0	0,000	0,000	0,00
Heat Transfer	kWh <sub>h</sub>	5	30	20	100,00	-	80*x+1600	4500	3,0	0,064	0,1500	20,00
Heat Transfer	kWh <sub>h</sub>	35	150	20	100,00	-	33,36*x +2999,4	4500	3,0	0,064	0,1500	20,00
Heat Transfer	kWh <sub>h</sub>	155	350	20	100,00	-	10*x+6500	4500	3,0	0,064	0,1500	20,00
Heat Transfer	kWh <sub>h</sub>	355	1.000	20	100,00	-	3,078*x +8922,31	4500	3,0	0,064	0,1500	20,00
Grid Electricity	-	-	-	20	-	-	-	-	0,0	0,072	0,3600	10,71
Oil Heating	kWh <sub>h</sub>	1	25.000	20	90,00	-	57,23*x+3120* 1,19+1250	4500	3,5	0,314	0,1450	0,00

## 4.2 Einzelgebäudeoptimierung

Die Einzelgebäudeoptimierung unterstützt den Stadtentwicklungsprozess dabei, den energetischen Umbau des Gebäudebestandes zu konkretisieren. Gebäude und Wohnungen werden durch Sanierungen und Heizungsumstellungen marktfähiger und der Energiebedarf, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Kosten gesenkt. Ein Gebäuderückbau wird durch Sanierungen vermieden und so bleibt auch das baukulturelle Erbe erhalten. Sanierte Gebäude stellen zudem einen erhöhten Komfort bereit, da durch Hüllsanierungen die Oberflächentemperaturen der Innenwände steigen.

Das PV-Potenzial, welches in die Einzelgebäudeoptimierung miteinfließt, wird explizit in Abbildung 38 dargestellt. Die in der Karte dargestellten Potenziale können neben der optimalen Auslegung der Anlagentechnik auch grundsätzlich genutzt werden, um Informationen über PV-Ausbaumöglichkeiten auf einen Blick zu bekommen. Es ist zu beachten, dass hier zwar die gesamte Dachfläche eines Gebäudes eingefärbt ist, die Angabe des Potenzials sich jedoch auf die günstige Dachseite (beispielsweise bei Satteldächern) bezieht. In die Berechnung fließen beide Dachseiten mit ihrem unterschiedlichen Potenzial ein. Ebenso werden bauliche Restriktionen, wie Gauben, Dachfenster etc. berücksichtigt (ca. 24 % der Dachflächen sind eingeschränkt oder gar nicht belegbar). Die Dachflächen können grundsätzlich aber auch mit Solarthermie-Modulen belegt werden.

Das maximale Potenzial liegt im Quartier bei 909 kWh/kW<sub>p</sub>, das Minimum bei 740 kWh/kW<sub>p</sub>. Der Mittelwert liegt bei 872 kWh/kW<sub>p</sub>.

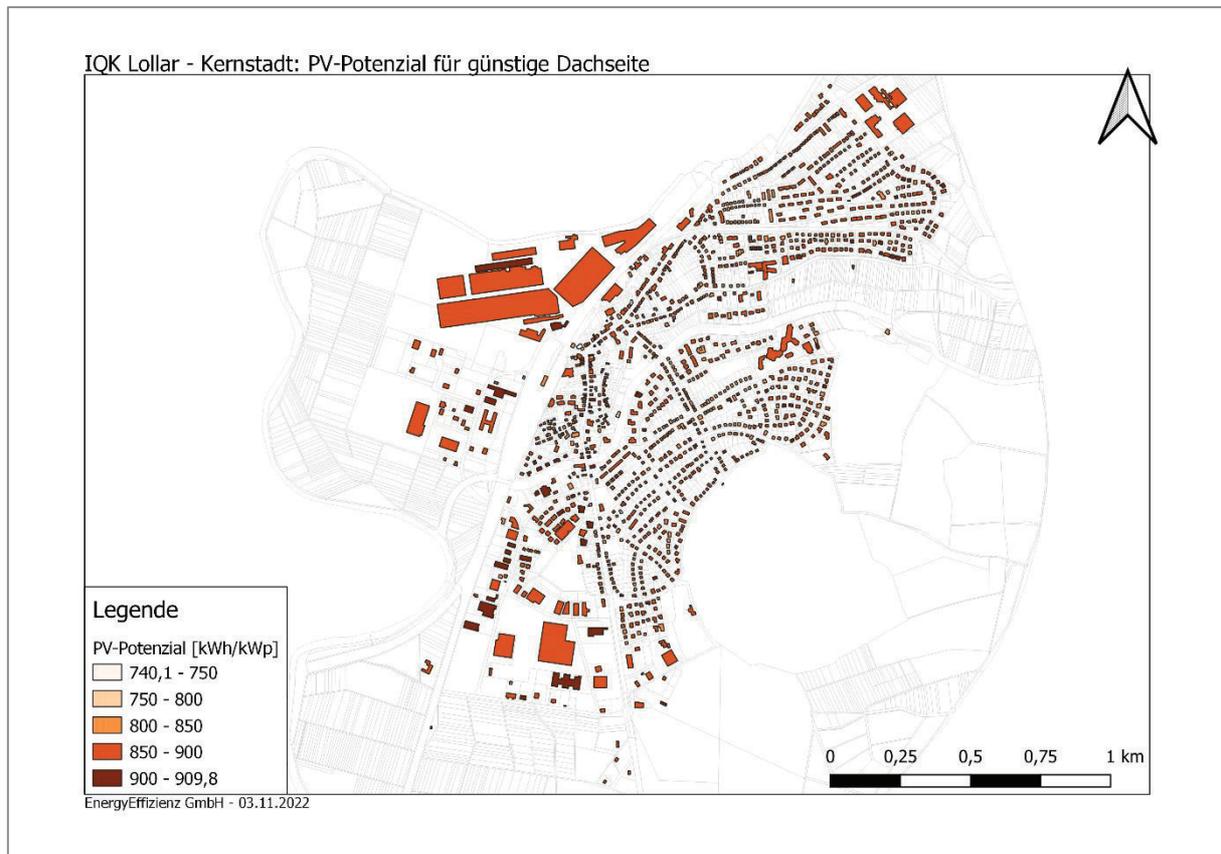


Abbildung 38: PV-Potenziale für günstige Dachseite

Für die grundsätzlich technologieoffenen Optimierungsberechnungen werden weitere Restriktionen genutzt, wie die Sperrung einzelner Heizungstechnologien bei bestimmten Gebäuden.

Bei 38 % der Gebäude ist eine Holzheizung (Pellet, Hackschnitzel) nicht sinnvoll, da entweder kein Keller vorhanden ist, in dem eine solche Anlage in der Regel aufgestellt wird oder durch die Eigentümer\*innen-Befragung bekannt ist, dass im Keller kein Platz vorhanden ist. Bei separaten Außenaufstellungen in einer Einhausung würden die Kosten deutlich steigen, sodass davon abgesehen wird. Ebenfalls ist eine Sperrung in allen Gebäude vorgesehen, die jünger als 1977 sind. In diesem Jahr trat die erste Wärmeschutzverordnung in Kraft und der spezifische Wärmebedarf sank erheblich. Ab diesem Baujahr sind moderne Wärmepumpen gut einsetzbar. Ebenfalls wird damit der politischen (Konzeptionspapier von Bundeswirtschafts- und Bundesbauministerium 2022) und wissenschaftlichen Motivation Rechnung getragen, dass Biomasse bei Weitem nicht den Großteil des Wärmebedarfs decken werden kann. Durch eine Sperrung von Holzheizungen wird auch indirekt verhindert, dass zu viele Holzheizungen die Luft belasten (können) und eine Versorgung mit dem Rohstoff Holz zu einem erhöhten Anlieferungsverkehr führt. Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden in 30 % der Fälle gesperrt, in dem das Verhältnis von zu beheizendem Gebäudevolumen und Flächenangebot für Erdwärmesonden ermittelt wurde. Luft-Wasser-Wärmepumpen scheiden in 15 % der Fälle aus, z.B. aus Platzgründen. Beide Wärmepumpenarten werden ebenfalls dort gesperrt, wo bereits ein Nahwärmenetz vorhanden ist. Dies trägt der politischen Motivation

Rechnung, bei Heizungsumstellungen einem Nahwärmeanschluss oberste Priorität einzuräumen. Grundsätzlich kann in der Kernstadt Lollar gebohrt werden, da in weiten Teilen die hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Standortsituation günstig ist, siehe Abbildung 39.

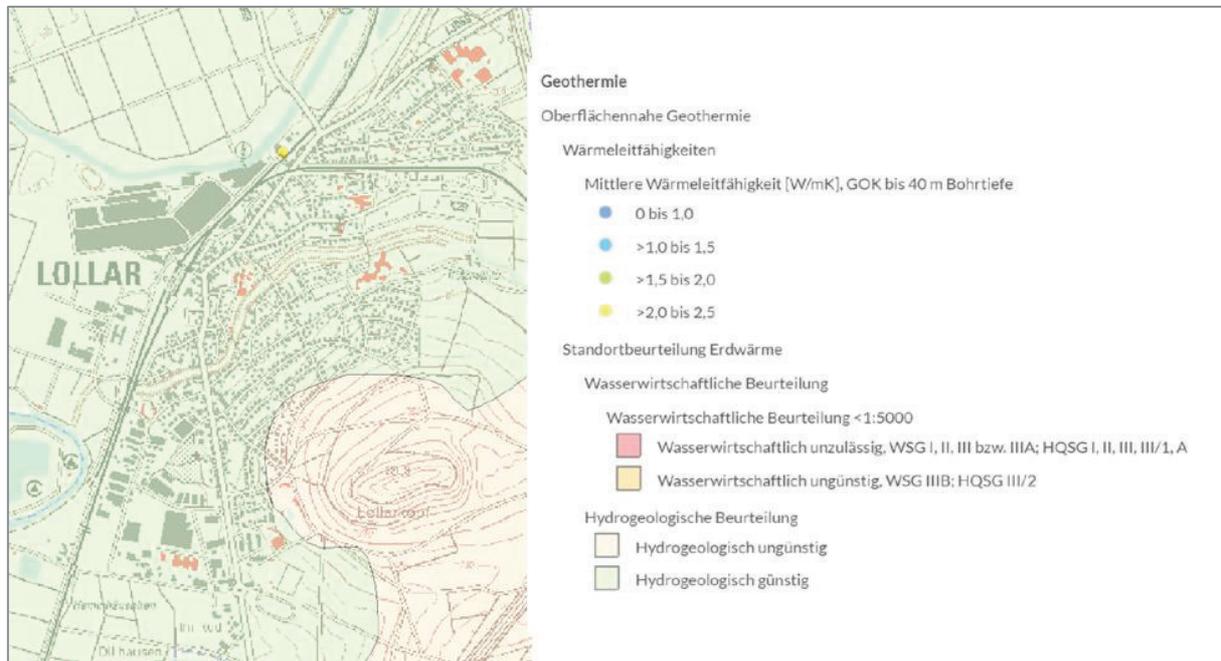


Abbildung 39: Hydrogeologische Standortsituation in Lollar<sup>31</sup>

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Einzelgebäudeoptimierung präsentiert. Insgesamt wurden bei den 1.351 Gebäuden pareto-optimale Lösungen ermittelt und zu 17.322 Kreuzkombinationen zusammengefasst und sortiert. Abbildung 40 zeigt diese Sortierung der Lösungen mit den annuitätischen Gesamtkosten und zugehörigen Treibhausgasemissionen. Zum Vergleich ist der Status quo abgetragen (linkes Ende: nur Betriebskosten, rechtes Ende: Betriebskosten und annuitätischer Reinvest in Anlagentechnik). Im ökonomischen Optimum sowie im ökologischen Optimum sinken die Kosten gegenüber dem Status quo (rechter Punkt, Betrieb und Reinvest) und die Emissionen. Unter dem Status quo kann auch die Fortführung des Ist-Zustandes verstanden werden, da in dieser Betrachtung auch im Status quo Kostensteigerungen der Brennstoffe usw. mit einkalkuliert sind. Ab einem gewissen Punkt auf der pareto-optimale Lösungskurve werden weitere Einsparungen von Emissionen teuer erkaufte. Eine bilanzielle Klimaneutralität ist gegenüber dem Status quo nur möglich, wenn die Nutzung von Erdgas so stark reduziert wird, dass die durch Erdgasverbrennung freigesetzten Emissionen durch PV-Anlagen kompensiert würden.

<sup>31</sup> (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2022)

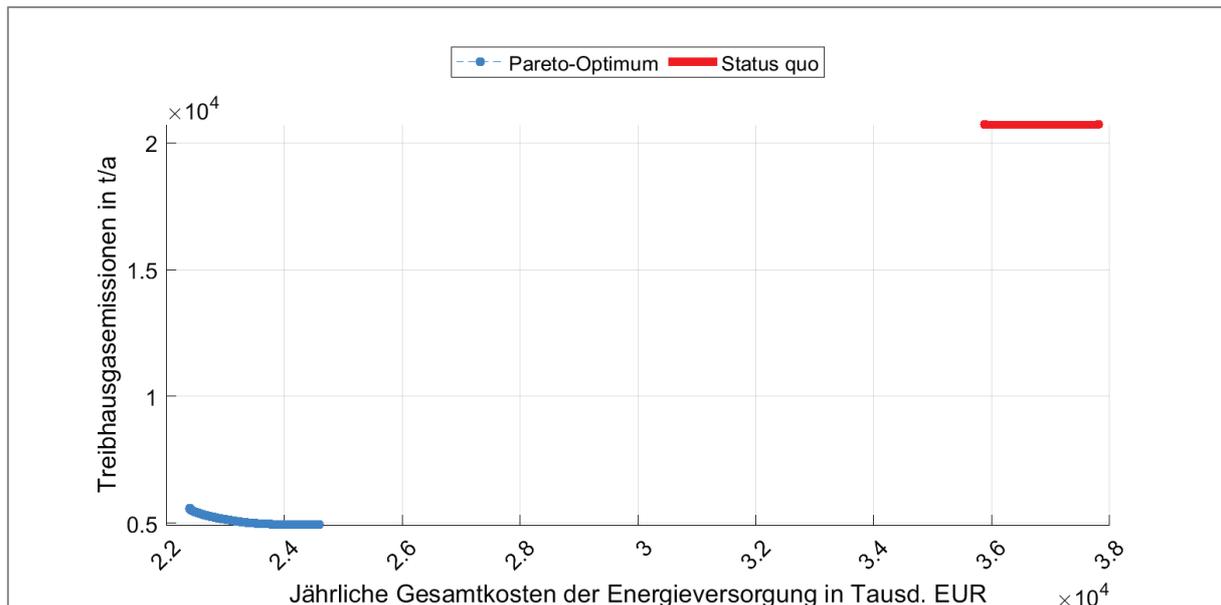


Abbildung 40: 17.322 pareto-optimale Lösungen im Quartier<sup>32</sup>

Abbildung 41 zeigt separat die Fortführung des Ist-Zustandes und die Kosten- und Emissionseinsparungen im ökonomischen Optimum. Die Kosten der Energieversorgung können pro Jahr um 41 % [-15 Mio €/a] gesenkt und Emissionen in Höhe von 73 % [-15.000 t CO<sub>2</sub>e/a] vermieden werden.

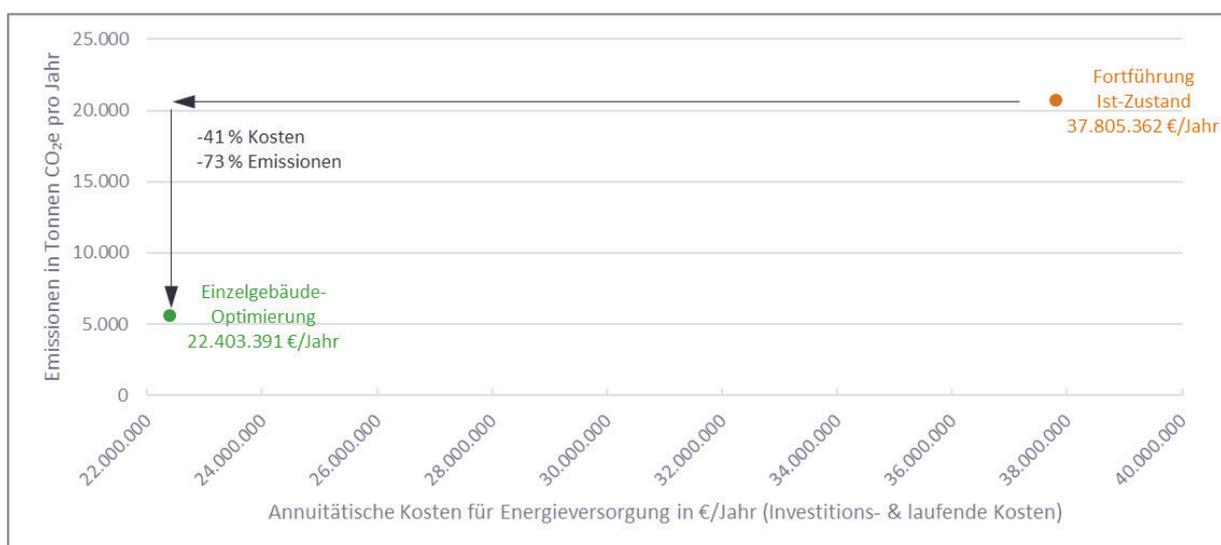


Abbildung 41: Analyseergebnis der Einzelgebäudeoptimierung, ökonomisches Optimum<sup>33</sup>

Die errechneten Einsparungen werden im ökonomischen Optimum durch die Umsetzung folgender Maßnahmen erreicht:

- Installation von 841 PV-Anlagen und zwei Solarthermieanlage. Bisher sind 65 PV-Anlagen installiert, sowie 69 Solarthermie-Anlagen. Ökonomisch vorteilhaft sind

<sup>32</sup> Quelle: IAEW

<sup>33</sup> Quelle IAEW/E-Eff

Solarthermie-Anlagen selten, werden aber aktuell häufig als erforderliche Erzielung des Erneuerbare-Energien-Anteils eingesetzt. Die bestehenden Solarthermie-Anlagen sollten natürlich dennoch weiterbetrieben werden.

- 1.165 L/W- Wärmepumpen, 26 S/W-Wärmepumpen, 137 Wärmenetzanschlüsse (bleiben bestehen), 10 Pelletheizungen, 12 Gasbrennwertheizungen und ein BHKW.
- Sanierungsmaßnahmen bei Gebäuden (312x Wand, 913x Fenster, 41x Dach, 81x Kellerdecke)
- In nur drei Fällen werden stationäre Batteriespeicher als ökonomisch sinnvolle Lösung errechnet. Hier zeigt sich, dass nur ein sehr spezielles Verhältnis zwischen Wärmebedarf (Deckung über Wärmepumpe), Dacheigenschaften, PV-Größe und Stromverbräuchen die richtigen Voraussetzungen schafft, um einen finanziellen Vorteil zu erzielen. Sinken die Investitionskosten in Zukunft für solche Systeme, kann es sich häufiger lohnen. Ökologisch scheiden Batteriespeicher aus, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung aktuell noch zu hoch sind.

Das ökonomische Optimum zeichnet sich demnach durch eine Abkehr von Heizöl und Erdgas aus, hin zu einer Verstromung des Quartiers unter erhöhtem Einsatz von Wärmepumpen und PV-Anlagen. Sanierungsmaßnahmen spielen bei schlecht gedämmten Gebäuden eine wesentliche Rolle, um Wärmepumpen effizienter einsetzen zu können. Biomasseheizungen erleiden durch die aktuelle Förderlandschaft einen Nachteil gegenüber Wärmepumpen und sollten nur dort zum Einsatz kommen, wo es nachweislich nicht sinnvoll ist mit Wärmepumpen zu arbeiten. Erdgas wird künftig keine große Rolle mehr spielen, kann aber im Einzelfall insbesondere bei Industriebetrieben noch sinnvoll sein.

Abbildung 42 vergleicht die Wärmebilanz (Nutzwärme) des Status quo mit dem ökonomischen Optimum und den 17.319 weiteren pareto-optimalen Lösungen. Die letzte ID, Nr. 17.320, stellt das ökologische Optimum dar. Im ökonomischen Optimum sinkt der Bedarf durch die bereits genannten Sanierungen. In Richtung ökologischem Optimum verdrängen die effizienteren S/W-Wärmepumpen immer weiter die L/W-Wärmepumpen. Durch Sperrungen bleiben aber stets L/W-Wärmepumpen bestehen. Bereits an Wärmenetze angeschlossene Gebäude verbleiben an diesen, werden aber teilweise saniert, wodurch die benötigte Wärmemenge im Netz sinkt. Pelletheizungen erzeugen nur einen Bruchteil des Bedarfs. Solarthermieanlagen ergänzen die restlichen Gasheizungen, die in Objekten verbleiben, bei denen andere Heizungstypen aus technischen oder administrativen Gegebenheiten nicht in Frage kommen.

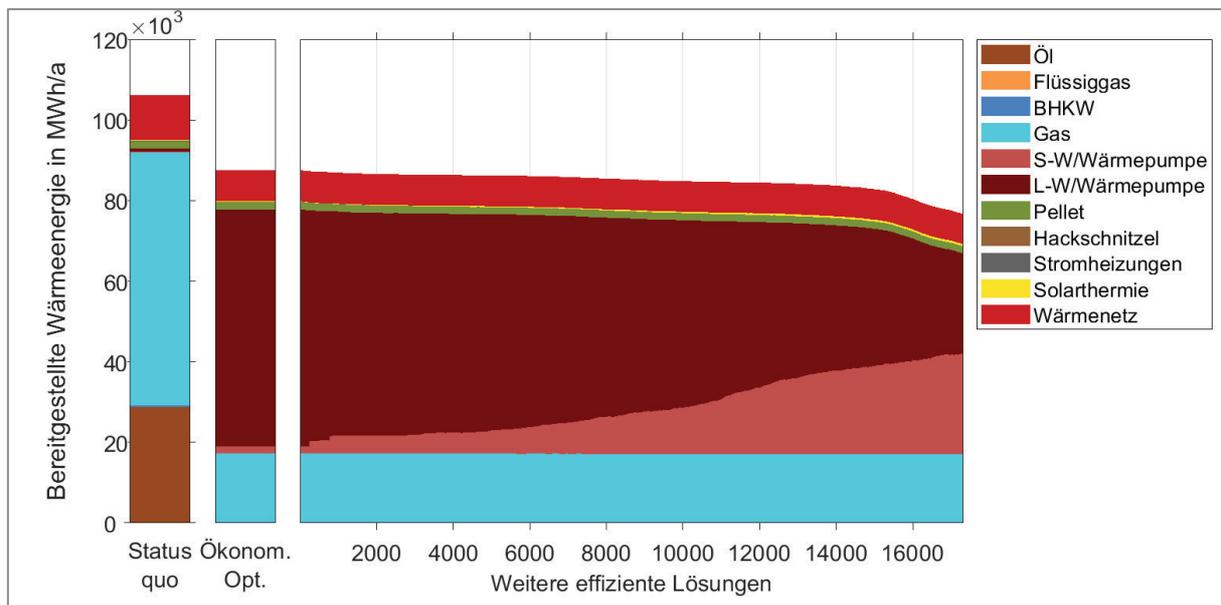


Abbildung 42: Wärmebilanz, Status quo, ökon. Optimum und 17.319 weitere pareto-optimale Lösungen

Abbildung 43 vergleicht die Strombilanz des Status quo mit dem ökonomischen Optimum und den 17.319 weiteren pareto-optimalen Lösungen. Im ökonomischen Optimum werden bereits viele neue PV-Anlagen hinzugebaut. Dies sind insbesondere die Anlagen, die einen vergleichsweise hohen Eigenverbrauch ermöglichen. Im Status quo sind bereits 669 kWp installiert, im ökonomischen Optimum werden bereits 6.313 kWp installiert. Erzeugt werden 7.123 MWh Strom. Im ökologischen Optimum steigt die Produktion auf 22.669 MWh, selbstgenutzt werden davon 6.222 MWh. Der vermiedene Netzbezug sowie CO<sub>2</sub>-Gutschriften senken die Emissionen deutlich. In diesem Optimum sind bereits fast alle Gebäude mit PV ausgerüstet.

In Richtung ökologischem Optimum werden alle Gebäude mit PV-Anlagen ausgestattet, bei denen es technisch bzw. platzmäßig (Gauben etc.) möglich ist. Der Zubau von Wärmepumpen erhöht den gesamten Strombedarf des Quartiers deutlich. Insgesamt werden etwa 43 GWh benötigt, wovon aber immerhin 4 GWh durch PV-Strom abgedeckt werden kann. Da sich die Lastkurven von Wärmepumpen nicht stark mit den Erzeugungskurven der PV-Anlagen decken und sich Batteriespeicher fast nicht unter den pareto-optimalen Lösungen befinden, wird der PV-Eigenverbrauch in Richtung ökologischen Optimums nur leicht gesteigert. Eine höhere Autarkie des Quartiers ist ökologisch und ökonomisch gesehen für dieses Quartier nicht

optimal, grundsätzlich aber umsetzbar. Zum Erreichen der Klimaneutralität werden Photovoltaik-Anlagen in Zukunft ein elementarer Bestandteil sein.

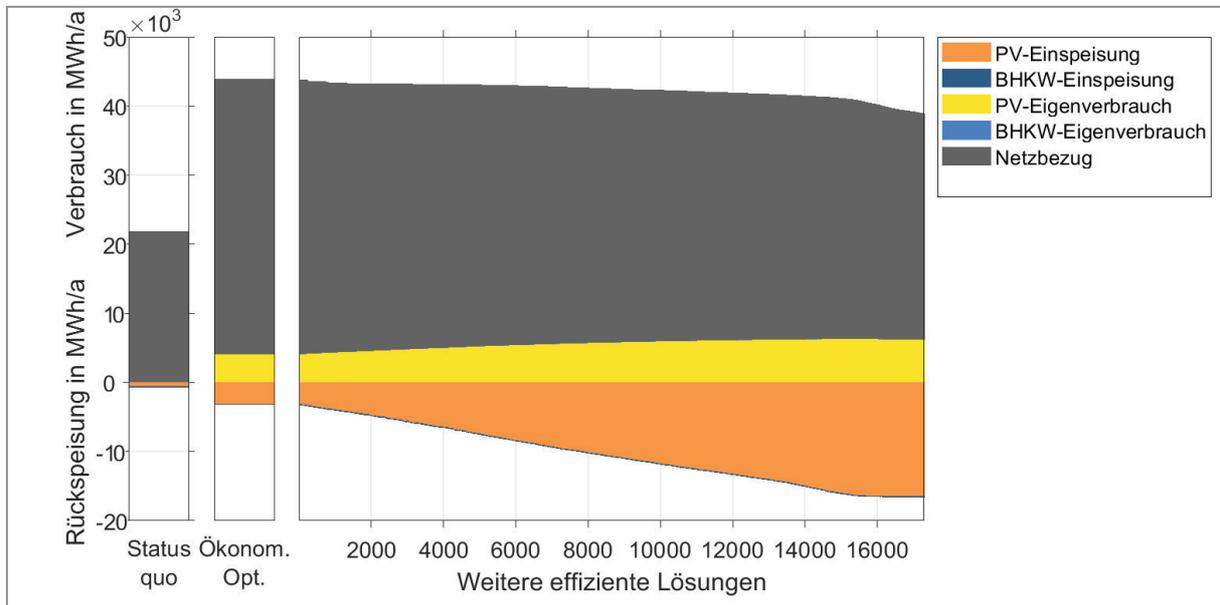


Abbildung 43: Strombilanz, Status quo, ökon. Optimum und 17.319 weitere pareto-optimale Lösungen

Abbildung 44 zeigt die Häufigkeit der Technologien und Sanierungen über alle Lösungen hinweg. Die Ölheizungen und die meisten Gasheizungen werden im ökonomischen Optimum ersetzt, vor allem durch Luft/Wasser-Wärmepumpen. Mit steigender Sanierungsrate kommen auch vermehrt Sole/Wasser-Wärmepumpen zum Einsatz. Zur Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen im ökologischen Optimum müssen sehr viele Gebäudehüllen saniert werden, um den Wärmebedarf weiter zu senken.

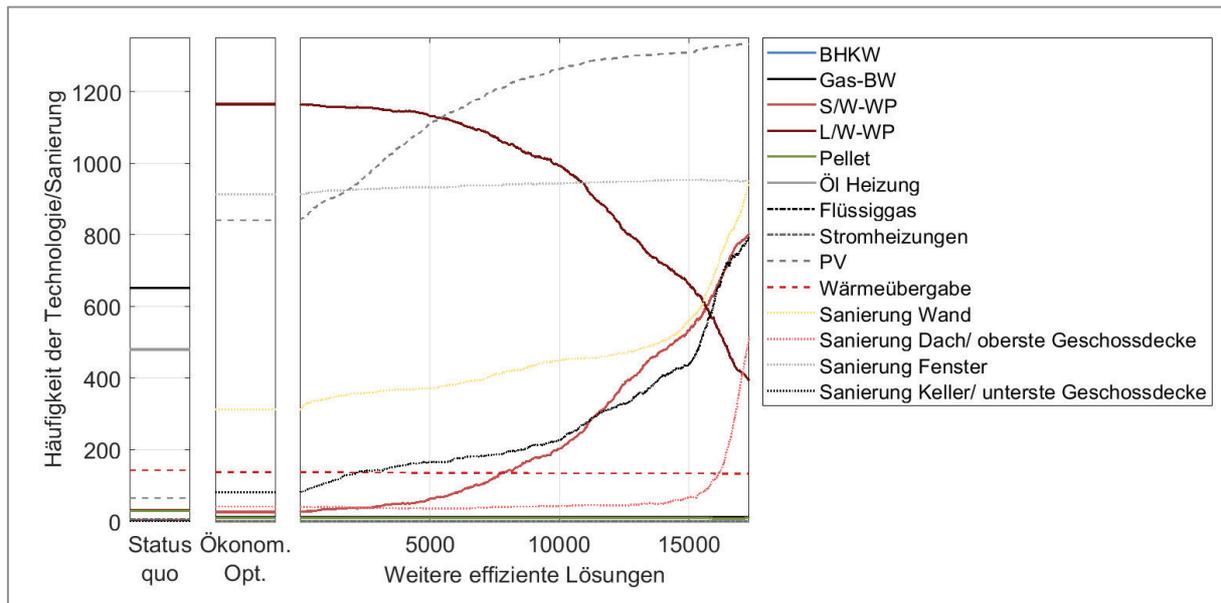


Abbildung 44: Häufigkeitsverteilung Heizungstechnologien/Sanierungen, Status quo ökon. Optimum, und 17.319 pareto-optimale Lösungen

Die folgenden Abbildungen zeigen noch den Einsatz der verschiedenen Heizungstypen und Photovoltaik-Anlagen im ökonomischen und ökologischen Optimum.

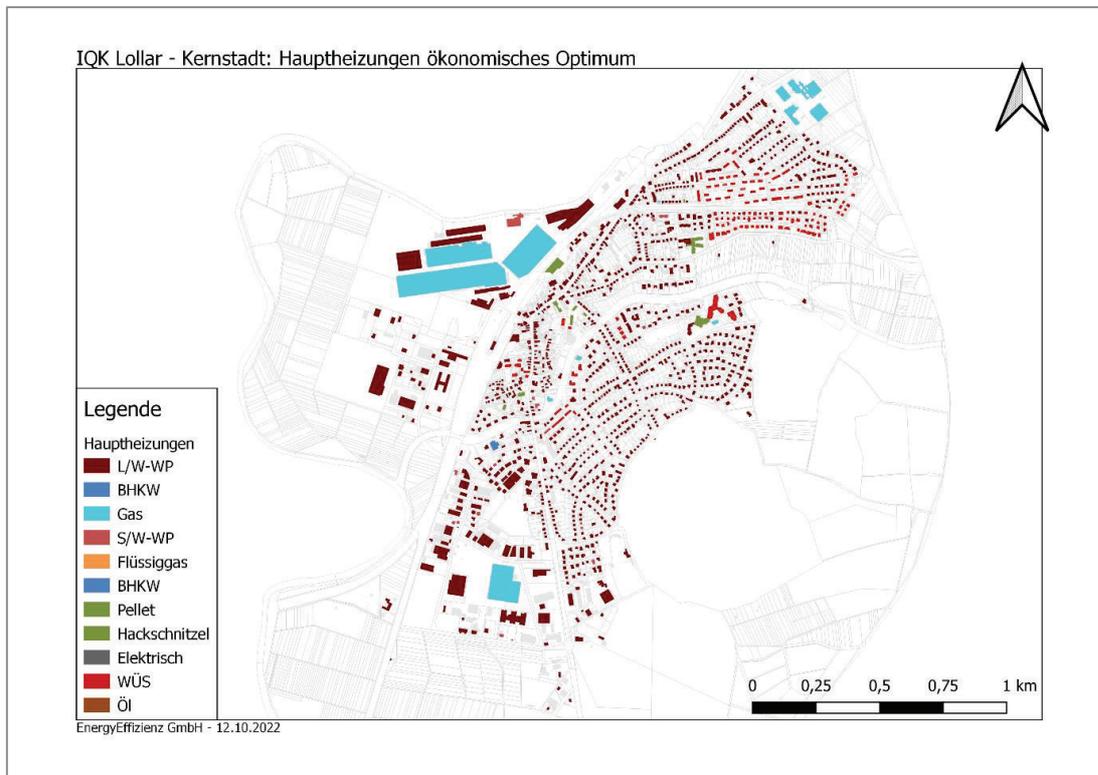


Abbildung 45: Einsatz von Heizungen im ökonomischen Optimum

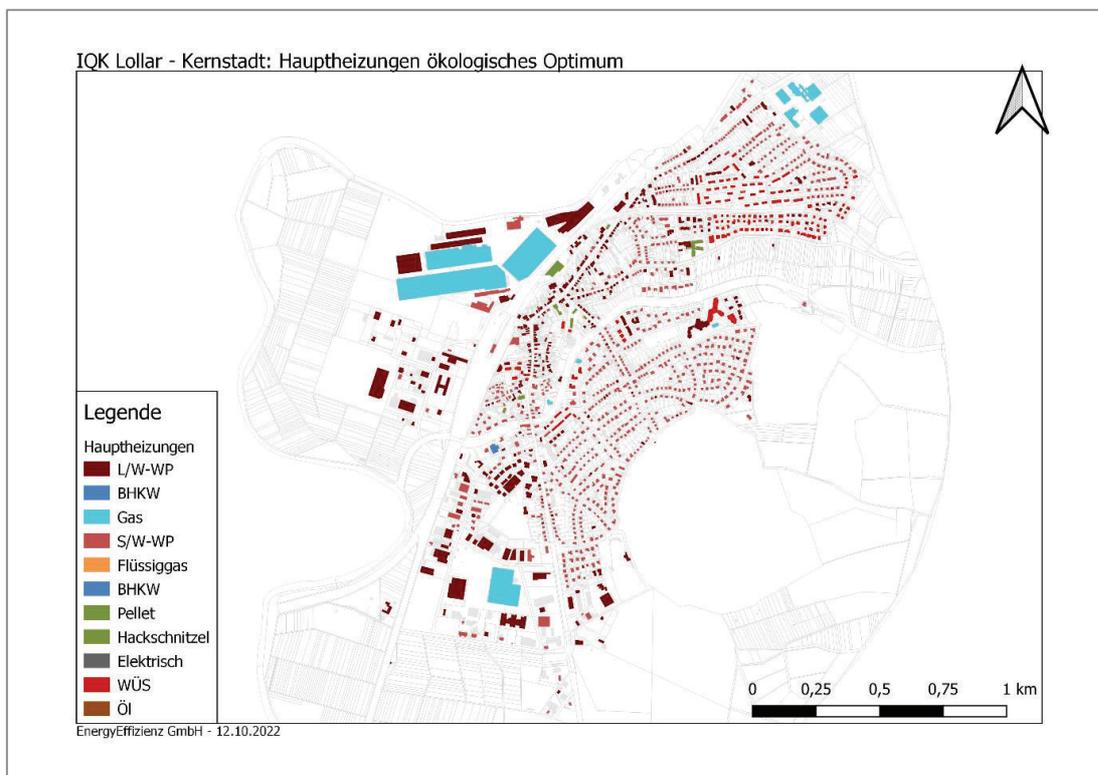


Abbildung 46: Einsatz von Heizungen im ökologischen Optimum

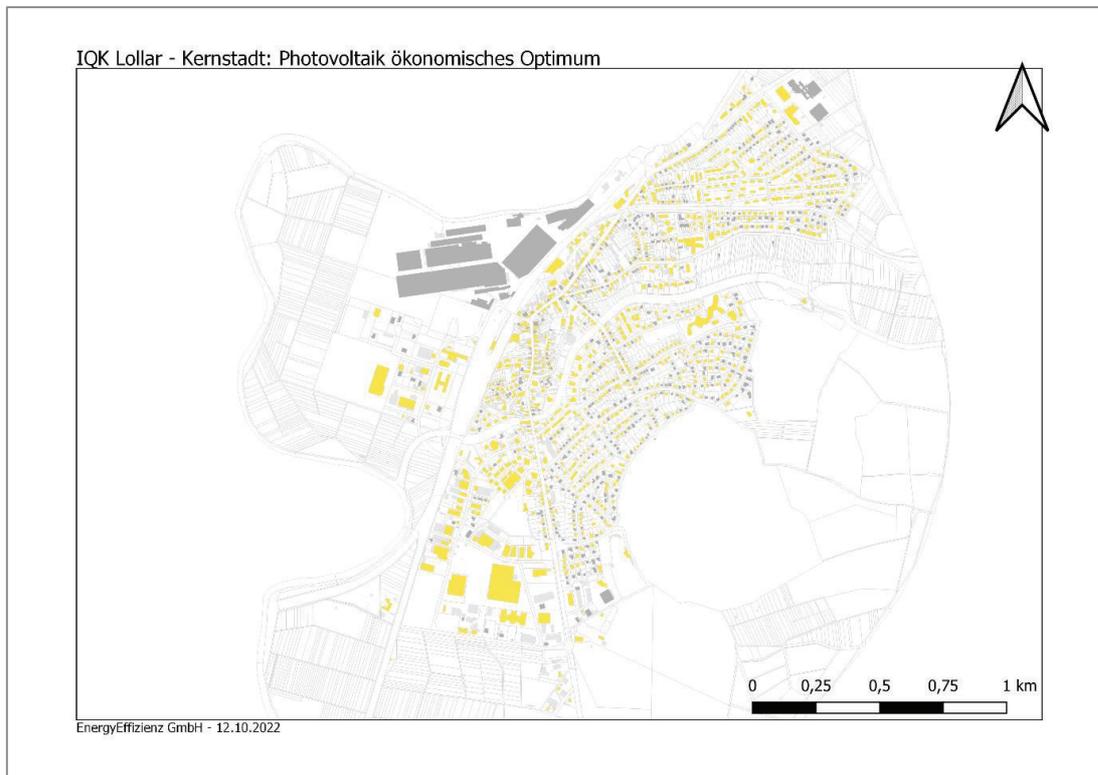


Abbildung 47: Einsatz von PV-Anlagen im ökonomischen Optimum

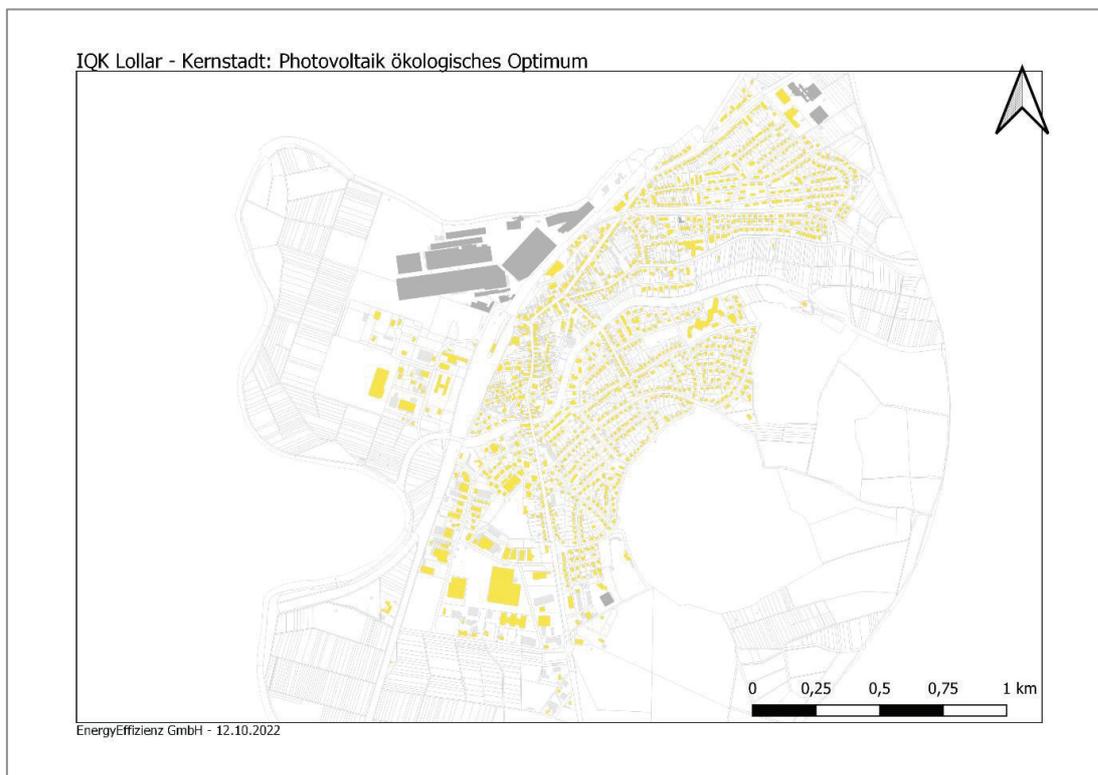


Abbildung 48: Einsatz von PV-Anlagen im ökologischen Optimum

### 4.3 Biomassepotenzial der Gemarkung Kernstadt Lollar

Den Waldflächen aus Abbildung 4 können Biomassepotenziale zugeordnet werden. Dadurch kann festgestellt werden, zu wieviel Prozent der Heizenergiebedarf im Quartier aus lokalen Quellen gedeckt werden kann. Als Grundlage kann die herkömmliche Aushaltungsvariante (15 % Energieholz, 76 % Stammholz/Industrieholz, 10 % Restholz) oder die „Stammholz-PLUS“ Variante (36 % Energieholz, 51 % Stammholz/Industrieholz, 13 % Restholz) herangezogen werden, um die Mengen an Holz festzustellen, die durch Rodung frei werden. Angepasst an die hessische Baumartenverteilung können die jährlichen Zuwächse und damit Energiemengen aus Holz berechnet werden, siehe Tabelle 8.

Im Status quo wird derzeit in Hauptheizungen Biomasse für Heizzwecke in Höhe von rund 1.759 MWh/a verbrannt. Das ökonomische Optimum erfordert bereits ca. 1.912 MWh/a, das ökologische Optimum durch Sanierungen immerhin noch 1.862 MWh/a. Der Bedarf kann gemäß den Berechnungen durch eine nachhaltige Forstwirtschaft auch mit der „Stammholz-PLUS“ Variante im ökonomischen Optimum nur zu 72 % lokal gedeckt werden. Zwei Pelletwerke liegen laut Deutschem Pelletinstitut in Mittelhessen, also in räumlicher Umgebung<sup>34</sup>. Die Transportwege sind entsprechend kurz.

Tabelle 8: Heizenergie durch lokale Biomasse für hessische Wälder

<b>Baumart<sup>35</sup></b>	<b>Anteil</b>	<b>Energiemenge herkömmliche Aushaltungsvariante</b>	<b>Energiemenge „Stammholz-PLUS“ Variante</b>
	[%]	[MWh/a]	[MWh/a]
Eiche	14	55	142
Buche	31	177	455
Andere LB hoher Lebensdauer	7	32	82
Andere LB niedriger Lebensdauer	7	21	54
Fichte	22	123	315
Tanne	0	1	2
Douglasie	4	37	96
Kiefer	10	30	77
Lärche	5	20	52
	<b>100</b>	<b>496</b>	<b>1.276</b>

### 4.4 Brennstoffzellen als Alternative zur reinen Erdgasheizung

Um stromseitig unabhängiger zu werden, kann eine Brennstoffzelle zum Einsatz kommen. Diese wandelt Erdgas in Strom und Wärme um. Da PV-Anlagen ohne Batteriespeicher in den

---

<sup>34</sup> [Deutsches Pelletinstitut, 2022]

<sup>35</sup> [Forstamt Heiligenstadt, 2016]

Abend- und Nachtstunden keinen Strom zur Verfügung zu stellen, kann eine Brennstoffzelle diese Lücke füllen. Brennstoffzellen sind in der Anschaffung jedoch noch sehr teuer und werden deshalb über das KfW-Programm 433 je nach elektrischer Leistung stufenweise gefördert (Festbetrag von 6.800 € + leistungsabhängiger Betrag von 550 € je angefangene 0,1 kW<sub>el</sub>). Gefördert werden auch integrierte Geräte, d.h. Geräte, die mit einem zusätzlichen Wärmeerzeuger ausgestattet sind, um Spitzenlasten abzufangen. Für die Förderung ist ein Vollwartungsvertrag für 10 Jahre abzuschließen. Eine kumulierte Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) ist nicht möglich.

Die Brennstoffzelle erzeugt je nach Typ und Hersteller beispielsweise 750 W<sub>el</sub> und 1,1 kW<sub>th</sub>. Über das Jahr gesehen erzeugt sie etwa 5.500 kWh Strom und 8.000 kWh Wärme. Der Gesamtwirkungsgrad liegt bei etwa 90 %, d.h. es werden 15.000 kWh Gas benötigt. Da der Strom gleichmäßig über den Tag erzeugt wird, kann er Grundlasten abdecken und relativ hohe Eigenverbrauchsquoten von etwa 80 % erreichen. Diese Versorgung des Gebäudes ist entsprechend stark abhängig von der Gaspreisentwicklung und weniger stark abhängig von der Strompreisentwicklung. Da in Zukunft der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Strom weiter sinkt, erfüllt eine Brennstoffzelle nicht höchste ökologische Ansprüche. Demgegenüber steht jedoch eine entlastende Wirkung der Stromnetze und eine Erhöhung der stromseitigen Autarkie. Die Brennstoffzelle sticht andere Heizungstechnologien (Wärmepumpe oder Pelletheizungen) in Kombination mit einer PV-Anlage auch ökonomisch nicht aus.

#### 4.5 Detail-Betrachtung für ausgewählte Gebäude

Für 199 Gebäude wurden für Gebäudeeigentümer\*innen individuelle Steckbriefe erstellt, die eine Fortführung des Ist-Zustandes im Vergleich zu möglichen Sanierungsvarianten aufzeigen. Wesentliche Angaben beruhen dabei auf den eingereichten Fragebögen. Ein Beispiel-Steckbrief findet sich in Anhang B: . Die Steckbriefe dienen dazu, Eigentümer\*innen erste Hinweise auf Potenziale und Zahlen an die Hand zu geben, um sich besser auf eine Sanierung und eine Heizungsumstellung vorzubereiten. Die Gebäudeeigentümer\*innen erhielten zusätzlich weiteres Informationsmaterial zu Förderprogrammen, Erneuerbare-Energien-Technologien, zum Tausch von Heizung und Fenstern sowie zur Dachsanierung und Gebäudedämmung, siehe Anhang C: Gesetzliche Vorgaben und Förderprogramme für energetische Sanierung und Heizungsaustausch bis Anhang H: Informationen Gebäudedämmung.

Als weitere unterstützende Maßnahme zur Realisierung der wirtschaftlichen und ökologischen Potenziale der Einzelgebäudeoptimierung werden an dieser Stelle folgende Gebäude, die in der Steuerungsgruppe ausgewählt wurden, vorgestellt:

- Kirschgarten 11 (Bauhof)
- Schur 18 (Jugendzentrum)
- Sportplatzweg (Sportlerheim)
- Grüner Weg 10 (Kindergarten Kunterbunt)
- Ostpreußenstraße 6 (Kindergarten)
- Holzmühler Weg 78 (Bürgerhaus)
- Holzmühler Weg 76 (Rathaus)

- Im Boden 6 (Sporthalle)
- Im Boden 8 (Kindergarten)

Abbildung 49 zeigt die Objekte in der Außenansicht.

Um detailliertere Berechnungen zu erhalten und die ausgewählten Gebäude genauer betrachten zu können, wurden die ausgewählten Gebäude anhand von Vor-Ort-Begehungen, Bauplänen und Fotos untersucht, um möglichst reale Sanierungsvarianten entwickeln zu können. Die Ergebnisse dienen auch als Grundlage für eine zertifizierte Beratung.

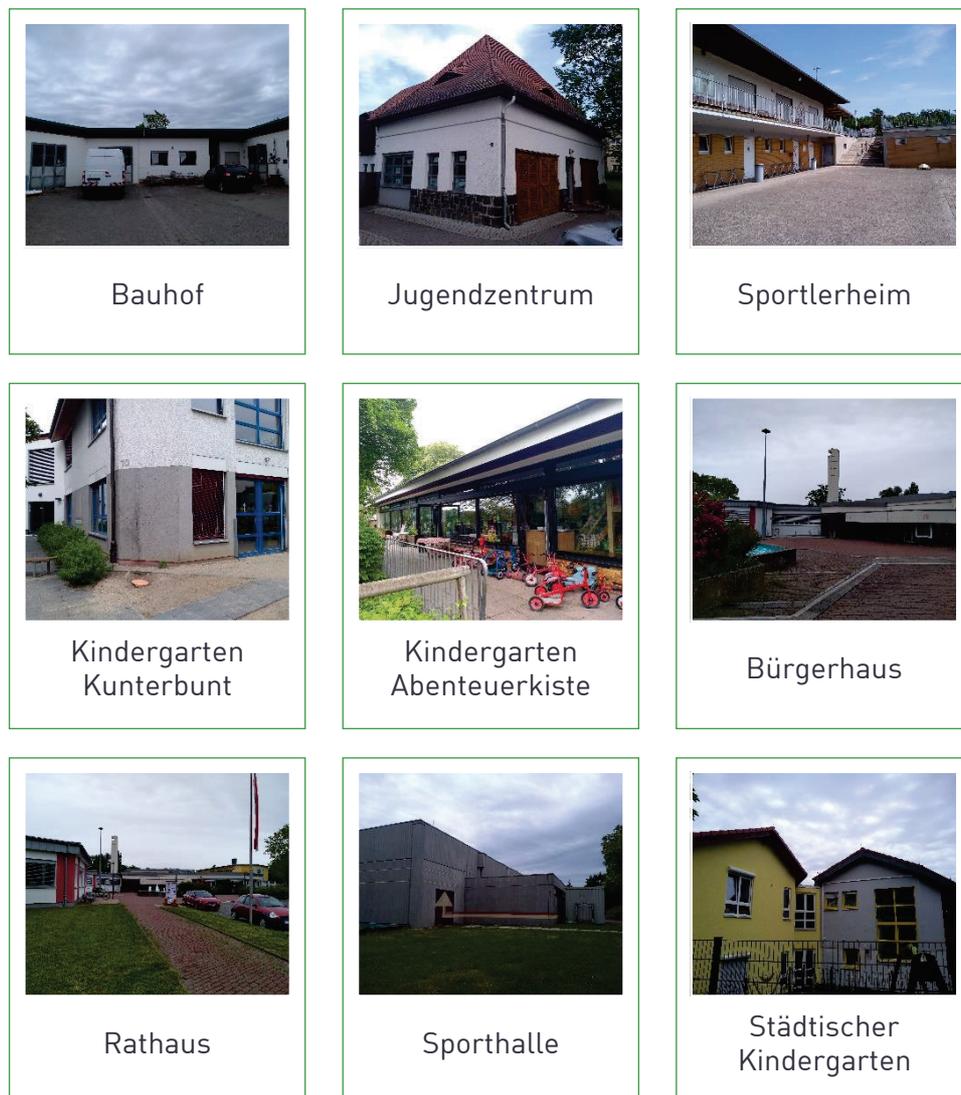


Abbildung 49: Detailbetrachtungen<sup>34</sup>

Die Begehung und Datensammlung über die Gebäude wurde zur Erstellung von Energieberatungsberichten in der Fachsoftware Hottgenroth verwendet. Die Software ist der Marktführer im Bereich der Energieberatung und GEG-Zertifizierung. Ausgenommen wurde der Energieberatungsbericht zum städtischen Kindergarten, da dieser bereits in einem sehr guten energetischen Zustand ist. Die Berichte befinden sich im Anhang I: Energieberatungsbericht. Auf Basis dieser Voruntersuchung können weitere zertifizierte

Berechnungen wie z.B. die Erstellung eines Sanierungsfahrplans durchgeführt werden. Die entwickelten Empfehlungen zur Sanierung der Gebäude wurden möglichst der realen Situation der Gebäude angepasst. Die nachfolgende Tabelle stellt die zentralen Ergebnisse zusammenfassend dar. In den bereits genannten Energieberatungsberichten sind diese vertieft dargestellt.

## Gebäude-Energie- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

Tabelle 9: Energetische Bewertung öffentlicher Gebäude

Energetische Bewertung	Gebäudehülle	Heiztechnik	Schwachstellen	
Bauhof	Energetisch sehr schwacher Zustand, Dach saniert 2013	Öl-Heizung	Gebäudehülle, insb. Heiztechnik	
Jugendzentrum	Energetisch schwacher Zustand, denkmalgeschützter Altbau	Gas-Heizung	Gebäudehülle insb. Dach, Heiztechnik	
Sportlerheim	Energetisch schwacher Zustand	Pellet-Heizung	Gebäudehülle, wegen geringer Nutzung wird die Priorität der Sanierungen zurückgestuft	
Kindergarten (Gr. Weg)	Energetisch guter Zustand	Gas-Heizung	Heiztechnik	
Kindergarten (Ostpreußenstr.)	Energetisch schwacher Zustand	Gas-Heizung	Gebäudehülle insb. Fenster, Heiztechnik	
Bürgerhaus	Energetisch schwacher Zustand	BHKW ist defekt, Gas-Spitzenlast Kessel versorgt die Gebäude	Gebäudehülle, Heiztechnik	
Rathaus	Energetisch sehr guter Zustand, Komplettsanierung 2012		Heiztechnik	
Sporthalle	Energetisch schwacher Zustand	BHKW ist defekt, Gas-Spitzenlast Kessel versorgt die Gebäude	Gebäudehülle, Heiztechnik	
Kindergarten (Im Boden)	Energetisch sehr guter Zustand, Neubau 2014, Altbau 2000		Heiztechnik	
<b>Maßnahmen-Empfehlungen</b>				
	<b>Priorität 1</b>	<b>Priorität 2</b>	<b>Priorität 3 (in 15+ Jahren)</b>	<b>Einsparpotenzial*</b>
Bauhof	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich Fenster austausch	Wandsanierung Installation PV-Anlage	-	41 %
Jugendzentrum	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich	Dachsanieierung	Wandsanierung	58%
Sportlerheim	-	-	Wandsanierung Dachsanieierung Fenster austausch	44%
Kindergarten (Gr. Weg)	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme	-	Fenster austausch	1%

## Gebäude-Energie- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

	Hydraulischer Abgleich Installation PV-Anlage			
Kindergarten (Ostpfeußenstr.)	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich Fensteraustausch	Dachsanierung Wandsanierung	-	56%
Bürgerhaus	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich Fensteraustausch	Wandsanierung	-	12 %
Rathaus	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich Installation PV-Anlage	-	-	-
Sporthalle	Erneuerung der Heiztechnik, Umstieg auf erneuerbare Energien bzw. Anschluss an Nahwärme Hydraulischer Abgleich	Dachsanierung Installation PV-Anlage Installation Solarthermie-Anlage	Wandsanierung	19 %
Kindergarten (Im Boden)		Installation PV-Anlage Installation Solarthermie-Anlage	-	-
<b>Zusatzinfos</b>	*Bei Umsetzung der Hüllensanierungen			

Nachdem der Status quo in der Fachsoftware Hottgenroth abgebildet wurde, konnten für ausgewählte öffentliche Objekte mehrere Sanierungsvarianten erstellt werden. Hier wurde insbesondere auf die reale Umsetzbarkeit und die tatsächliche Nutzung geachtet. Die Ergebnisse der Hottgenroth-Berechnung und die Detailangaben zum Status quo wurden in das Optimierungsverfahren der RWTH Aachen gespeist. So konnten die erstellten Sanierungsvarianten unter ökologischen und ökonomischen Aspekten bewertet werden. Durch die doppelte Berechnung und die detaillierte Darstellung der Gebäude wurden schlussendlich Sanierungsvarianten ermittelt, die sowohl den Status quo bestmöglich darstellen als auch unter den gegebenen realen Bedingungen ökologisch und ökonomisch optimiert sind. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

## Gebäude-Energie- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

Tabelle 10: Einzelgebäudeoptimierung öffentlicher Gebäude

Energetische Bewertung	Bauhof	Jugendzentrum	Sportlerheim	Kindergarten (gr. Weg)	Kindergarten (Ostpr.- Str.)	Bürgerhaus
<b>Ergebnisse Einzelgebäudeoptimierung im ökonomischen Optimum</b>						
<b>Gebäudehülle</b>	Wandsanierung	Wandsanierung Dachsanierung	Wandsanierung Dachsanierung	-	Wandsanierung	-
<b>Heiztechnik</b>	35 kW L/W-Wärmepumpe	16 kW L/W-Wärmepumpe	45 kW L/W-Wärmepumpe	45 kW L/W-Wärmepumpe	20 kW L/W-Wärmepumpe	140 kW L/W-Wärmepumpe
<b>PV-Installation [m<sup>2</sup>]</b>	56	24	140	64	44	80
<b>PV-Kosten [€]</b>	12.810	6.394	29.650	14.414	10.404	17.621
<b>PV-Ertrag [kWh/a]</b>	E.Verbrauch: 4.271 Einspeisung: 3.748	E.Verbrauch: 1.765 Einspeisung: 1.250	E.Verbrauch: 10.089 Einspeisung: 10.236	E.Verbrauch: 5.472 Einspeisung: 2.827	E.Verbrauch: 3.263 Einspeisung: 3.038	E.Verbrauch: 6.249 Einspeisung: 5.208
<b>Kosten annuitätisch [€/a]</b>	10.041 Vgl. SQ: 23.427	8.345 Vgl. SQ: 19.815	19.124 Vgl. SQ: 26.989	13.660 Vgl. SQ: 30.231	8.095 Vgl. SQ: 15.778	18.936 Vgl. SQ: 124.675
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen [kg/a]</b>	1.715 Vgl. SQ: 28.508	879 Vgl. SQ: 7.519	3.109 Vgl. SQ: 5.374	3.084 Vgl. SQ: 11.120	1.276 Vgl. SQ: 5.467	3.496 Vgl. SQ: 18.011
<b>Zusatzinfos</b>	Auffällig ist, dass eine Hüllensanierung sich rechnerisch wirtschaftlich darstellen lässt, obwohl sie bspw. im Fall des Sportlerheims keiner hohen Priorität zugeordnet ist. Des Weiteren wurden in allen Fällen eine Wärmepumpe in Kombination mit einer PV-Anlage ermittelt. Dies ist neben den Fördersätzen durch den starken Kostenanstieg von Gas und Öl zu erklären.					

### 4.6 Fazit zur Potenzialanalyse

Das Kapitel zeigt, dass die wesentlichen technischen Hebel zur Kosten- und Emissionsminderung in Lollar in der Abkehr von Öl- und Gasheizungen und der Umstellung auf Wärmepumpen sowie dem massiven Zubau von PV-Anlagen liegen. Nicht zu empfehlen hingegen ist ein „Weiter so“ ohne Sanierungsbemühungen und Heizungsumstellungen, da dies der mit Abstand teuerste und emissionsintensivste Pfad ist.