



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 1 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



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XXIII
Zusammenfassung	XXXII
I. ALLGEMEINER TEIL	1
1 Einleitung	1
1.1 Klimapolitische Rahmenbedingungen	1
1.2 Aufgabenstellung	7
1.3 Vorgehensweise und Berichtsstruktur.....	7
2 Grundlagen	9
2.1 Parameter für die ökologische Bewertung.....	9
2.2 Kriterien für die energetische Bewertung von städtebaulichen Entwürfen	12
2.3 Bewertung der Auswirkungen auf die kommunale Wertschöpfung.....	15
2.4 Energiebedarfs-Kennwerte	25
2.5 Elektromobilität	32
2.6 Aufwandszahlen von dezentralen Wärmeerzeugern	38
2.7 Kennwerte für Investitionen.....	38
2.8 Klimatische Randbedingungen für Frankfurt a.M.	41
3 Erneuerbare Energien in Frankfurt und Umgebung	43
3.1 Biomasse.....	44
3.2 Oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme und Abwärme.....	46
3.3 Aktive Solarenergienutzung	61
4 Energieeffizienzmaßnahmen bei Gebäuden	68
4.1 Allgemein.....	68
4.2 Energieeffizienz und Raumwärme	71
4.3 Effiziente Trinkwarmwasser-Bereitung.....	75
4.4 Effiziente Gebäudekühlung	77
4.5 Hilfsstrom für haustechnische Anlagen	81

4.6	Innenraumbeleuchtung	82
4.7	Zusammenfassung und Maßnahmenempfehlungen.....	83
5	Derzeitiger Stand von Förderprogrammen für energieeffizientes Bauen und Energieerzeugung mit erneuerbaren Energien	86
5.1	Förderprogramme Energieerzeugung	86
5.2	Förderungen Gebäudeenergiestandards.....	97
II.	UNTERSUCHUNG AUSGEWÄHLTER GEBIETE.....	99
1	Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.....	100
1.1	Beschreibung des Gebiets	100
1.2	Energetische Bewertung des Städtebaus.....	102
1.3	Energiebedarfsprognose	102
1.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	106
1.5	Betrachtete Versorgungsvarianten	109
1.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	111
1.7	Ökonomische Bewertung	113
1.8	Fazit und Empfehlungen	117
2	Hafenpark Quartier – Hotelgebäude am Molenkopf Osthafen.....	120
2.1	Einleitung und Kontext	120
2.2	Beschreibung des geplanten Hotel-Projekts.....	121
2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen nach EnEV und EEWärmeG	122
2.4	Hochhäuser im Passivhaus-Standard	123
2.5	Energetisch Gesichtspunkte.....	127
2.6	Energiebedarfsprognose	135
2.7	Lokale Potenziale erneuerbarer Energien	136
2.8	Energieversorgungskonzept unter maximaler Einbeziehung lokaler, erneuerbarer Energien.....	139
2.9	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	140
2.10	Zusammenfassung und Empfehlungen	144
3	Günthersburghöfe.....	146
3.1	Beschreibung des Gebiets	146
3.2	Energetische Bewertung des Städtebaus.....	148

3.3	Energiebedarfsprognose.....	154
3.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	159
3.5	Betrachtete Versorgungsvarianten.....	165
3.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	168
3.7	Ökonomische Bewertung.....	171
3.8	Fazit und Empfehlung	174
4	Am Römerhof.....	178
4.1	Beschreibung des Gebiets	178
4.2	Energetische Bewertung des Städtebaus	179
4.3	Energiebedarfsprognose.....	183
4.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	187
4.5	Betrachtete Versorgungsvarianten.....	195
4.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	200
4.7	Ökonomische Bewertung.....	203
4.8	Fazit und Empfehlung	208
5	An der Sandelmühle.....	212
5.1	Beschreibung des Gebiets.....	212
5.2	Energetische Bewertung des Städtebaus	214
5.3	Energiebedarfsprognose.....	216
5.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	219
5.5	Betrachtete Versorgungsvarianten.....	224
5.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	229
5.7	Ökonomische Bewertung.....	232
5.8	Fazit und Empfehlung	236
6	Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung.....	240
6.1	Beschreibung des Gebiets	240
6.2	Energetische Bewertung des Städtebaus	242
6.3	Energiebedarfsprognose.....	244
6.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	247
6.5	Betrachtete Versorgungsvarianten.....	252
6.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	255
6.7	Ökonomische Bewertung.....	258

6.8	Fazit und Empfehlungen	263
7	Stadtumbaugebiet Griesheim-Mitte	267
7.1	Einleitung und Kontext	267
7.2	Grundlagen der Untersuchung	267
7.3	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	269
7.4	Energetische Situation des Quartiers	273
7.5	Einsparpotentiale bei Energie und Treibhausgas-Emissionen.....	288
7.6	Klimaverträgliche Neubauten und Verdichtung.....	298
7.7	Wärmeversorgung des Quartiers mit Abwärme aus den Rechenzentren.....	300
7.8	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen für den Zielzustand	303
7.9	Empfehlungen für Zielsetzungen, Maßnahmen und Handlungsstrategien	305
8	Südlich Am Riedsteg.....	312
8.1	Beschreibung des Gebiets	312
8.2	Energetische Bewertung des Städtebaus.....	313
8.3	Energiebedarfsprognose	317
8.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	320
8.5	Betrachtete Versorgungsvarianten	325
8.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	330
8.7	Ökonomische Bewertung	333
8.8	Fazit und Empfehlungen	339
9	Nieder-Eschbach - Am Hollerbusch.....	344
9.1	Beschreibung des Gebiets	344
9.2	Energetische Bewertung des Städtebaus.....	345
9.3	Energiebedarfsprognose	346
9.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	349
9.5	Betrachtete Versorgungsvarianten	355
9.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	359
9.7	Ökonomische Bewertung	362
9.8	Fazit und Empfehlungen	368
10	Nieder-Eschbach Süd	373
10.1	Beschreibung des Gebiets	373

10.2	Energetische Bewertung des Städtebaus	374
10.3	Energiebedarfsprognose.....	376
10.4	Verfügbare Energieträger und lokale Potenziale	380
10.5	Betrachtete Versorgungsvarianten.....	384
10.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen	388
10.7	Ökonomische Bewertung.....	391
10.8	Fazit und Empfehlungen	397
11	Stadterneuerungsgebiet Nied.....	402
11.1	Einleitung und Kontext.....	402
11.2	Grundlagen.....	403
11.3	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	405
11.4	Einsparpotentiale bei Energie und Treibhausgas-Emissionen.....	420
11.5	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen für den Zielzustand	429
11.6	Empfehlungen für Zielsetzungen, Maßnahmen und Handlungsstrategien	431
12	Stadterneuerungsgebiet Sossenheim	437
12.1	Einleitung und Kontext.....	437
12.2	Grundlagen der Untersuchung.....	437
12.3	Beschreibung des Untersuchungsgebiets	439
12.4	Energetische Situation des Quartiers.....	445
12.5	Einsparpotentiale bei Energie und Treibhausgas-Emissionen.....	463
12.6	Energie- und Treibhausgas-Bilanzen für den Zielzustand	472
12.7	Empfehlungen für Zielsetzungen, Maßnahmen und Handlungsstrategien	474
13	Schlussfolgerungen aus der Untersuchung von acht Neubaugebieten.....	481
13.1	Vor-Ort-Nutzung lokaler Energieträger.....	481
13.2	Prognose und Bewertung von Treibhausgas-emissionen in Neubaugebieten	485
III.	AKTEURSBETEILIGUNG UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT.....	489
14	Akteursbeteiligung	489
14.1	Investoren und Projektentwickler	489
14.2	Energieversorger und Netzbetreiber	490

14.3 Stadtverwaltung	490
15 Öffentlichkeitsarbeit.....	495
15.1 Vorträge über die Ergebnisse des Projekts	495
IV. HANDLUNGSMÖGLICHKEITEN UND MAßNAHMENKATALOG	499
1 Handlungsfelder	499
2 Maßnahmen	500
2.1 Maßnahmenkatalog	500
2.2 Maßnahmensteckbriefe.....	502
3 Controlling und Qualitätsicherung	514
3.1 Grundsätzliches zum Controlling im Rahmen von Klimaschutzkonzepten	514
3.2 Klimaschutz-Controlling bei Neubaugebiete	515
ANHANG	518
1 Quellen	518
2 Chronologie Klimaschutz in Frankfurt am Main	529
3 Kennwerte von Investitionskosten für TGA-Anlagen.....	531

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersichtskarte mit den untersuchten Gebieten. (Quelle der Karte: Stadtvermessungsamt Frankfurt a. M., eigene Bearbeitung).....	XXXIII
Abb. 2:	Gebäudeenergiebedarf für einen mittelgroßen Mehrfamilienhaus-Neubau in Frankfurt a. M. in Abhängigkeit des Gebäude-Energiestandards (eigene Berechnungen).....	XXXIV
Abb. 3:	Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Varianten der Energieversorgung mit Wärme, Kälte und Strom in städtischen Gebieten.	XXXIX
Abb. 4:	Beispiele für das Außenflächen-Volumen-Verhältnis verschiedener Baukörper, Quelle: Institut für solare Stadtplanung Dr.-Ing. Peter Goretzki.	12
Abb. 5:	Wertschöpfungskette kommunaler Wertschöpfung; [iöw 2010].....	15
Abb. 6:	Prinzipschema des Energieflusses bei der Wärmeversorgung und Definition der Nutzwärmeabgabe Wärmeerzeuger.....	25
Abb. 7:	Entwicklung der PKW und E-PKW-Dichte in Frankfurt am Main bis 2050 (Maßnahmenszenario) [IBP 05/2015].....	32
Abb. 8:	Entwicklung der PKW und E-PKW-Dichte in Frankfurt am Main bis 2050 (Referenzszenario) [IBP 05/2015].....	33
Abb. 9:	Ladeleistungen bei verschiedenen Ladepunkt-Kategorien in 2034 (eigene Darstellung nach [BearingPoint 2018]).....	35
Abb. 10:	Gesamtpotenzial erneuerbarer Energie und Stand der Erschließung 2015 für die Stadt Frankfurt am Main [Klima-Energie-Portal].	44
Abb. 11:	Verlauf der Temperatur im Erdboden in Abhängigkeit der Tiefe für unterschiedliche Jahreszeiten. Quelle: REHAU	48
Abb. 12:	Schematische Darstellungen von Erdwärmeflächenkollektoren (links, Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.) und Erdwärmekörpern (rechts, Quelle: Uponor).....	49
Abb. 13:	Schematische Darstellungen von Erdwärmesonden (links, Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.) und Energiepfählen (rechts, Quelle: Uponor).	50
Abb. 14:	Übersichtskarte des Stadtgebiets Frankfurt mit unterschiedlichen Gebieten der Standortbeurteilung zur Errichtung von Erdwärmesonden [HLNUG].	51
Abb. 15:	Prinzip der Grundwasserwärmenutzung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.).....	53
Abb. 16:	Prinzip eines zentralen Wärmeversorgungssystems mit Abwasserwärmenutzung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.).....	58
Abb. 17:	Umwickelte Rohrelemente zur Nutzung von Abwasserwärme und/oder geothermischer Wärme. (Quelle: Bild I. Frank GmbH, Bilder r. Krahe Pipes GmbH & Co. KG).....	59

Abb. 18: Beispiel für die Integration von Sonnenkollektoren (oben und rechts) und Photovoltaik-Modulen (links) in die Fassade eines Mehrfamilienhauses in Tübingen. (Quelle: Tourismus Marketing GmbH Baden-Württemberg)	63
Abb. 19: Flach geneigte PV-Module in Ost-West-Richtung. Quelle: http://www.wohnen-mit-energie.de/photovoltaik/anlagenbeispiele-photovoltaik-anlagen/	65
Abb. 20: Beispiel für die Kombination von Photovoltaik-Modulen mit einer extensiven Dachbegrünung. (Quelle: Paul Bauder GmbH & Co. KG).....	67
Abb. 21: Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2018 (Datenquelle: AG Energiebilanzen) IKT = Informations- und Kommunikations-Technik.....	69
Abb. 22: Anteile der Anwendungsbereiche am Endenergieverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland 2017 (Datenquelle: AG Energiebilanzen, Anwendungsbilanzen, Stand 11/2018).....	70
Abb. 23: Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch im deutschen Gebäudebestand nach [dena 2018]	70
Abb. 24: Spezifischer Heizwärmebedarf (hier genauer die erforderliche, nutzbare Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers für die Raumheizung) von Wohngebäuden in Frankfurt a.M. in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis und Gebäude-Energiestandard bei einer mittleren Raumtemperatur von 21,5 °C	72
Abb. 25: Vergleich des Leistungsfaktors (COP) einer Lüftungs-Wärmerückgewinnung (WRG) und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP) unter Berücksichtigung der Frostschutzschaltung der Lüftungsanlage (FS) in Abhängigkeit von der Außentemperatur	73
Abb. 26: Wärmebedarf für Raumheizung und TWW-Bereitung in Abhängigkeit vom Gebäude-Energiestandard sowie Anteil der TWW-Bereitung an der Gesamtwärme am Beispiel eines Reihenhauses	76
Abb. 27: Beispiel eines Wärmeverteilsystems mit Wohnungsübergabestationen und 3-Leiter-System (HVL bzw. HV Heizungsvorlauf, HRL bzw. HR Heizungsrücklauf, PWH Trink-Warmwasser, PWC Trink-Kaltwasser)	77
Abb. 28: Endenergiebedarf der Gebäudekühlung in Deutschland 2005 (Abbildung aus [UBA°2011])	78
Abb. 29: Gebäudeenergiebedarf für einen mittelgroßen Mehrfamilienhaus-Neubau in Frankfurt a. M. in Abhängigkeit des Gebäude-Energiestandards (eigene Berechnungen)	83
Abb. 30: Übersichtskarte mit den untersuchten Gebieten.....	99
Abb. 31: Planentwurf der Grundrisse der Bauwerke (ohne Hinterhof-Haus) erstellt durch die FAAG Technik GmbH vom Oktober 2018.....	101
Abb. 32: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	108

Abb. 33: Potenziale mit solarthermischen Anlagen und Photovoltaik-Anlagen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	108
Abb. 34: Prognostizierte Energiebilanz unterschiedlicher Versorgungsvarianten und Energiestandards für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	112
Abb. 35: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr. (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	112
Abb. 36: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	115
Abb. 37: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	116
Abb. 38: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	116
Abb. 39: Auszug aus dem Lageplan Hafenpark Quartier mit Kennzeichnung der Lage des geplanten Boardinghouse (Plan: AS+P, 20.02.2017).	120
Abb. 40: Projektskizze als vorläufige Isometrie (Quelle: B&L-Gruppe, Stand 08.05.2018).	122
Abb. 41: Wohnhochhaus Bolueta im Passivhaus-Standard in Bilbao	125
Abb. 42: Wohnhochhaus Bolueta im Passivhaus-Standard in Bilbao	126
Abb. 43: Studentenwohnheim im Passivhaus-Standard: House of Cornell Tech in New York	127
Abb. 44: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und dem A/V-Verhältnisses	130
Abb. 45: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlich hohem Verglasungsanteil	130
Abb. 46: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlich hohen internen Wärmegewinnen.....	131
Abb. 47: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlichen Luftwechselln der Lüftungsanlagen	132
Abb. 48: Verlauf des Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit von verschiedenen Fassaden-Ausführungen und unterschiedlichen Sonnenschutzverglasungen.....	132
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)	137

Abb. 50: Entwicklung der prognostizierten Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten bis 2050.....	144
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.	147
Abb. 52: Beurteilung für den 17. Januar (Auszug aus Besonnungsstudie Ökoplan)	149
Abb. 53: Beurteilung für den 21. März (Auszug aus Besonnungsstudie Ökoplan)	149
Abb. 54: Gebäudebereiche, die sich nur bedingt für eine wirtschaftliche Erstellung im Passivhaus-Standard eignen.	152
Abb. 55: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster mit dem Geltungsbereich des Bebauungsplans B880 sowie dessen Umgebung (Quelle: Energiereferat der Stadt Frankfurt, 2018).....	160
Abb. 56: Exemplarische Darstellung des Dachflächenkonzepts für einen geplanten Wohnblock. (Quelle: Bürogemeinschaft Kölling und Crossboundaries Architekten)	163
Abb. 57: Gegenüberstellung von Bedarf der geplanten Gebäude und (Erzeugungs-) Potenzialen von Photovoltaik-Anlagen auf unterschiedlichen Flächen für das Gebiet Günthersburghöfe.	164
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).	167
Abb. 59: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Günthersburghöfe.	170
Abb. 60: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Günthersburghöfe (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	170
Abb. 61: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.	173
Abb. 62: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.	173
Abb. 63: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Günthersburghöfe.	174
Abb. 64: Ausschnitt aus dem Entwurf des Lageplans zum Aufstellungsbeschluss des Bebauungsplans B919 zum Gebiet Am Römerhof (Quelle: Stadtplanungsamt, 19.04.2018).	179
Abb. 65: Zwischenstand des Entwurfs des Lageplans mit mittleren A/V-Verhältnissen der einzelnen Baublöcke und deren Bezeichnungen (Quelle: Stadtplanungsamt, 19.04.2018).....	180

Abb. 66: Besonnungsstudie anhand eines 3-D-Modells des Entwurfs des Lageplans für den 17. Januar. Abbildung zeigt den Blick aus Südwesten.....	180
Abb. 67: Detail mit den Baublöcken B, C, D und E aus der Besonnungsstudie für den 17. Januar.....	181
Abb. 68: Detail mit Block A aus der Besonnungsstudie für den 17. Januar.	181
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.....	182
Abb. 70: Kartenauszug der Netzauskunft mit den bestehenden Fernwärmeleitungen im Europaviertel östlich des geplanten Quartiers (Quelle: Netzdienste Rhein-Main GmbH).	188
Abb. 71: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster für Frankfurt mit dem geplanten Quartier „Am Römerhof“ (Quelle: Energiereferat der Stadt Frankfurt, 2018).	189
Abb. 72: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Am Römerhof.....	202
Abb. 73: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Am Römerhof (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	202
Abb. 74: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.....	205
Abb. 75: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.....	205
Abb. 76: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Römerhof.....	206
Abb. 77: Ausschnitt des Bebauungsplans Nr. 889 „An der Sandelmühle“ . (Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt, Stand: 30.11.2017)	213
Abb. 78: Beurteilung der einzelnen Baukörper hinsichtlich einer wirtschaftlichen Realisierung des Passivhaus-Standards.....	215
Abb. 79: Kartenauszug aus dem Abwärmekataster für Frankfurt für das B-Plan-Gebiet „An der Sandelmühle“ (Quelle: Energiereferat der Stadt Frankfurt, 2018).	220
Abb. 80: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet An der Sandelmühle.....	222
Abb. 81: Potenziale mit solarthermischen Anlagen und Photovoltaik-Anlagen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet An der Sandelmühle.....	223

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).	226
Abb. 83:	Schematische Darstellung des Anschlusses einer Häuserreihe an das Wärmenetz mittels gemeinsamer Kopfstation. (Plan © Büro K. Eismann & Partner, Frankfurt vom 19.03.2018).	227
Abb. 84:	Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet An der Sandelmühle.....	230
Abb. 85:	Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet An der Sandelmühle (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	230
Abb. 86:	Investitionen der Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet An der Sandelmühle.....	234
Abb. 87:	Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet An der Sandelmühle.....	234
Abb. 88:	Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet An der Sandelmühle.....	235
Abb. 89:	Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet An der Sandelmühle.....	235
Abb. 90:	Städtebauliches und landschaftsplanerisches Konzept des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung vom Okt. 2018 (Quelle: Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg).	241
Abb. 91:	Darstellung der Besonnungsdauer auf den Fassaden am 17. Januar mit Blick aus Süden	242
Abb. 92:	Darstellung der solaren Einstrahlung auf die Fassaden im März und April	242
Abb. 93:	Städtebauliches Konzept mit Bezeichnungen für genannte Baukörper (Quelle: Tobestadt, Frankfurt, und WGF, Nürnberg / eigene Bearbeitung).....	243
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.....	251
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).	254
Abb. 96:	Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	257
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)	257
Abb. 98: Investitionen der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung	260
Abb. 99: Wärmegestehungspreise bezogen auf Endenergielieferung der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung	261
Abb. 100: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung	261
Abb. 101: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung	262
Abb. 102: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank- Siedlung	262
Abb. 103: Einteilung der Blöcke in Griesheim-Mitte für die Aggregation von Energieverbrauchsdaten.	269
Abb. 104: Aufteilung von Griesheim-Mitte in 5 Teilbereiche nach Freischlad + Holz (Plangrundlage Stadtvermessungsamt, Stadt Frankfurt a.M., 2018, Darstellung Freischlad + Holz, entnommen aus [Freischlad+Holz 2019]	270
Abb. 105: Aufteilung des Wohngebäudebestands in Griesheim-Mitte nach Baualtersklassen	273
Abb. 106: Sanierungsbedürftige Zeilenbauten in der Ahornstraße	274
Abb. 107: Zwei ähnliche Gebäude in der Elektronstraße, links saniert, rechts im unsanierten Zustand.	276
Abb. 108: Zeilenbauten in der Espenstraße	276
Abb. 109: Anteil der mit Erdgas versorgten Fläche an der gesamten Nettogrundfläche nach Baublock	277
Abb. 110: Absoluter Stromverbrauch je Baublock als Mittelwert der Jahre 2017-18 in MWh/a	279
Abb. 111: Flächenspezifischer Stromverbrauch der Gebäude je Baublock als Mittelwert der Jahre 2017-18 in kWh/(m ² a)	280
Abb. 112: Spezifischer Endenergieverbrauch der Wohngebäude für Wärme und Strom nach Baualtersklassen	282
Abb. 113: Energieverbrauch des Wohngebäudebestands (entnommen aus [dena 2018], Quellen: [BMWl 2017] sowie eigene Berechnungen der dena)	282
Abb. 114: Absoluter Gasverbrauch der gasversorgten Gebäude je Baublock als witterungsbereinigter Mittelwert der Jahre 2017-18 in MWh/a	283
Abb. 115: Flächenspezifischer Gasverbrauch der gasversorgten Gebäude je Baublock als witterungsbereinigter Mittelwert der Jahre 2017-18 in kWh/(m ² a)	283
Abb. 116: Zusammensetzung des Gebäudebestands und Aufteilung nach Nettogeschossfläche	284

Abb. 117: Endenergiebilanz von Griesheim-Mitte im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	285
Abb. 118: Anteile am Endenergieverbrauch von Griesheim-Mitte ohne Rechenzentren im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen. Die gesamte Endenergie (100%) entspricht 65 GWh/a)	286
Abb. 119: Treibhausgas-Bilanz von Griesheim-Mitte im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	287
Abb. 120: Treibhausgas-Bilanz von Griesheim-Mitte ohne Rechenzentren im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen. Die gesamten Emissionen (100%) entsprechen 24.000 tCO _{2,äq} /a	287
Abb. 121: Energetische Sanierungsmaßnahmen am Gebäude (Grafik KfW, eigene Bearbeitung).....	289
Abb. 122: Luftbild der vier nahezu baugleiche Zeilenbauten im Schwarzerlenweg aus den 60er Jahren (Geobasisdaten: © Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main, Stand April 2019 © Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation).....	291
Abb. 123: Vergleich des spezifischen Wärmeverbrauchs der vier Zeilenbauten....	291
Abb. 124: Reihenhäuser mit Wärmepumpen-Heizsystem. Rechts eine Außeneinheit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (Fotos: ebök)	295
Abb. 125: Auszug aus dem Hessischen Solar-Kataster mit der Darstellung der Dachflächen im Gebiet und ihrer Eignung für eine solarenergetische Nutzung (Quelle: HA Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden, www.energieland.hessen.de/solar-kataster).....	296
Abb. 126: Auszug aus dem Abwärmekataster Frankfurt für Griesheim-Mitte (Quelle: Energierreferat Frankfurt a.M.).....	297
Abb. 127: Projekt Buchenstraße: Konzept von 2013 (Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt a.M.)	298
Abb. 128: Projekt Ahornstraße. (Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt a. M. / Wilma Immobilien GmbH / eigene Bearbeitung).....	299
Abb. 129: Wärmebilanz des Quartiers im IST-Zustand bei einer Wärmeversorgung mit Abwärme aus den Rechenzentren und Verteilung über ein Wärmenetz	301
Abb. 130: Wärmebilanz des Quartiers im sanierten Zustand bei einer Wärmeversorgung mit Abwärme aus den Rechenzentren und Verteilung über ein Wärmenetz	301
Abb. 131: Endenergiebilanz von Griesheim-Mitte für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	304
Abb. 132: Treibhausgas-Bilanz von Griesheim-Mitte für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	305
Abb. 133: Städtebaulicher Entwurf des Stadtplanungsamts zum Bebauungsplan Nr. 908 vom 05. Dez. 2018 (Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt a. M.)	313

Abb. 134: Verschattungssituation am 17. Januar um 12.00 Uhr. Die rot eingekreisten Gebäude werden durch die MFH III+ im Süden bzw. die Turnhalle stark verschattet.....	315
Abb. 135: Darstellung der Eignung der einzelnen Baukörper für die wirtschaftliche Realisierung des Passivhaus-Standards.....	316
Abb. 136: Gegenüberstellung von Bedarf der geplanten Gebäude und Erzeugungspotenzialen einer Wärmeversorgung mit Wärmepumpen und Erdwärmekollektoren (EWK-WP) auf Flächen innerhalb des B-Plan-Gebiets Südl. Am Riedsteg mit/ohne „kaltes“ Nahwärmenetz.....	322
Abb. 137: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs sowie potenzieller Flächen für Erdwärmekollektoren der Variante „NW EWK-WP“ für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	328
Abb. 138: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs sowie der Lage der Heizzentrale und der Kollektorfelder der Variante „NW Holz+ST“ für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	330
Abb. 139: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	332
Abb. 140: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Südl. Am Riedsteg (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	332
Abb. 141: Investitionen der Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	335
Abb. 142: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	335
Abb. 143: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	336
Abb. 144: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	336
Abb. 145: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	337
Abb. 146: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	337
Abb. 147: Städtebaulicher Entwurf „Variante II“ zum Bebauungsplan Nr. 920 vom 26. Okt. 2017 für das Gebiet Am Hollerbusch.....	345
Abb. 148: Beurteilung der einzelnen Baukörper des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich einer wirtschaftlichen Realisierung des Passivhaus-Standards für das Gebiet Am Hollerbusch.....	346
Abb. 149: Gegenüberstellung vom geschätzten Bedarf der geplanten Gebäude und Erzeugungspotenzialen einer Wärmeversorgung mit Wärmepumpen und Erdwärmekollektoren auf Flächen innerhalb des B-Plan-Gebiets N.-E.-Am Hollerbusch.....	352

Abb. 150: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Am Hollerbusch. Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Frankfurter Mix.....	353
Abb. 151: Potenziale mit solarthermischen Anlagen und Photovoltaik-Anlagen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Am Hollerbusch.....	354
Abb. 152: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs sowie potenzieller Flächen für Eisspeicher der Variante „KaNahW“ für das Gebiet N.-E.-Am Hollerbusch.	357
Abb. 153: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs des Nahwärmenetzes der Variante „NahW+ST“ für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.....	358
Abb. 154: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet N.- E. Am Hollerbusch.	359
Abb. 155: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet N.-E. Am Hollerbusch (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	361
Abb. 156: Investitionen der block-/gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Am Hollerbusch.	364
Abb. 157: Wärmegestehungspreise bezogen auf Endenergielieferung der block-/gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet Am Hollerbusch.....	364
Abb. 158: Investitionen der Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Am Hollerbusch.....	365
Abb. 159: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Hollerbusch.....	365
Abb. 160: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Am Hollerbusch.....	366
Abb. 161: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Hollerbusch.....	366
Abb. 162: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet Am Hollerbusch.....	367
Abb. 163: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet Am Hollerbusch.....	367
Abb. 164: Städtebaulicher Entwurf „Variante I“ des Stadtplanungsamts zum Bebauungsplan Nr. 917 vom 26. Okt. 2017 (Quelle: Stadtplanungsamt Frankfurt a. M.). (Mehrfamilienhäuser und Kita in dunkelrot, Reihenhäuser in hellrot dargestellt.)	374
Abb. 165: Ungünstige Verschattungssituation im nördlichen Bereich des Gebiets. Der Schattenwurf der beiden Zeilenbauten ist für den 17. Januar um 12.00 Uhr dargestellt.	375

Abb. 166: Anordnung der Geschosswohnungsbauten im Süden des Gebiets und Darstellung der Eigenverschattung bei der gewählten und der gespiegelten Form	375
Abb. 167: Beurteilung der einzelnen Baukörper des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich einer wirtschaftlichen Realisierung des Passivhaus-Standards	376
Abb. 168: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen auf allen Dachflächen gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd. Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Frankfurter Mix.....	383
Abb. 169: Potenziale mit thermischen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd. Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Frankfurter Mix.	383
Abb. 170: Potenziale mit Photovoltaik-Anlagen (kombiniert mit thermischen Solaranlagen) gegenüber dem prognostizierten Energiebedarf für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd. Anmerkung: alle Werte gelten für Ausführung aller Gebäude im Frankfurter Mix.....	384
Abb. 171: Schematische Darstellung des möglichen Trassenverlaufs des Nahwärmenetzes der Variante „NahW+ST“ für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd.....	387
Abb. 172: Prognostizierte Energiebilanz der relevanten Energiemengen für unterschiedliche Versorgungsvarianten für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd.....	389
Abb. 173: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für Wärme- und Stromversorgung für unterschiedliche Versorgungsvarianten und Bezugsjahre für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	390
Abb. 174: Investitionen der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet N.-E. Süd.....	393
Abb. 175: Wärmegestehungspreise bezogen auf Endenergielieferung der gebietszentralen Wärmeversorgungsvarianten für das Gebiet N.-E. Süd.....	393
Abb. 176: Investitionen der Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet N.-E. Süd.....	394
Abb. 177: Investitionen der Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet N.-E. Süd.....	394
Abb. 178: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet N.-E. Süd.....	395
Abb. 179: Durchschnittliche monatliche Betriebskosten im ersten Jahr der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet N.-E. Süd.....	395
Abb. 180: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten der Doppelhaushälfte für das Gebiet N.-E. Süd.	396

Abb. 181: Annuitätische Jahreskosten der betrachteten Varianten des Mehrfamilienhauses für das Gebiet N.-E. Süd.....	396
Abb. 182: Einteilung der Blöcke in Nied für die Aggregation von Energieverbrauchsdaten.....	405
Abb. 183: Nähere Betrachtung der Siedlungsgebiete innerhalb des Teilgebietes Frankfurt-Nied (Quelle GIS + 1. Ämterrunde Soziale Stadt 2019)	406
Abb. 184: Aufteilung des Wohngebäudebestands in Nied nach Baualtersklassen.....	409
Abb. 185: Anteil der mit Erdgas und Fernwärme versorgten Fläche an der gesamten Nettogrundfläche nach Baublock	411
Abb. 186: Spezifischer Endenergieverbrauch für Wärme der mit Fernwärme oder Erdgas versorgten Wohngebäude nach Baualtersklassen.	414
Abb. 187: Energieverbrauch des deutschen Wohngebäudebestands (entnommen aus [dena 2018], Quellen: [BMWI 2017] sowie eigene Berechnungen der dena)	414
Abb. 188: Absoluter Energieverbrauch der gas- und fernwärmeversorgten Gebäude je Baublock als witterungsbereinigter Mittelwert der Jahre 2017 – 2018 in MWh/a	416
Abb. 189: Flächenspezifischer Endenergieverbrauch der gas- und fernwärmeversorgten Gebäude je Baublock als witterungsbereinigter Mittelwert der Jahre 2017 – 2018 in kWh/(m ² a) ...	417
Abb. 190: Zusammensetzung des Gebäudebestands und Aufteilung nach Nettogeschoss-fläche.....	418
Abb. 191: Endenergiebilanz von Nied im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	419
Abb. 192: Treibhausgas-Bilanz von Nied im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	420
Abb. 193: Energetische Sanierungsmaßnahmen am Gebäude (Grafik KfW, eigene Bearbeitung).....	422
Abb. 194: Auszug aus dem Hessischen Solar-Kataster mit der Darstellung der Dachflächen im Gebiet und ihrer Eignung für eine solarenergetische Nutzung (Quelle: HA Hessen Agentur GmbH, Wiesbaden, www.energieland.hessen.de/solar-kataster).....	427
Abb. 195: Auszug aus dem Abwärmekataster für Frankfurt-Nied (Quelle: Energierreferat Frankfurt a. M.)	428
Abb. 196: Endenergiebilanz von Nied für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	430
Abb. 197: Treibhausgas-Bilanz von Nied für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	431
Abb. 198: Aufteilung in sieben Teilbereiche nach Siedlungs-, Bebauungs- und Altersstruktur.....	439
Abb. 199: Übersicht Untersuchungsgebiet und Verortung der Siedlungsgebiete...	440
Abb. 200: Übersicht Blockeinteilung Sossenheim; GIS FfM	441

Abb. 201: Aufteilung des Wohngebäudebestands in Sossenheim nach Baualtersklassen	444
Abb. 202: Verfärbte Zeilenbauten in der Henri-Dunant-Siedlung	445
Abb. 203: Erweiterte Gebäude und nachverdichtete Gebiete im Teilbereich 2	447
Abb. 204: Heterogene Altersstruktur im Teilbereich 3	448
Abb. 205: nachverdichtete Hinterhöfe in der Dottenfeldstraße (links) und die Otto-Brenner-Siedlung	449
Abb. 206: 7–13-geschossige Hochhäuser (links) und Gebäude der Robert-Dißmann-Siedlung (rechts)	451
Abb. 207: Gut sanierte Gebäude in der Haigerer Straße.....	452
Abb. 208: Unsanierte Gebäude in schlechtem Zustand im Julius-Leber-Weg und frisch sanierte Gebäude in der Carl-Sonnenschein-Straße	453
Abb. 209: Aufteilung Stromverbrauch der Jahre 2017–2019 nach Gebäudenutzung	455
Abb. 210: Absoluter Stromverbrauch je Baublock als Mittelwert der Jahre 2017–2019 in MWh/a.....	456
Abb. 211: Flächenspezifischer Stromverbrauch je Baublock in kWh/(m ² a)	456
Abb. 212: Aufteilung des Wärmeverbrauchs nach Gebäudenutzung	457
Abb. 213: Spezifischer Endenergieverbrauch der Wohngebäude für Wärme nach Baualtersklassen.....	458
Abb. 214: Energieverbrauch des Wohngebäudebestands (entnommen aus [dena 2018], Quellen: [BMWl 2017] sowie eigene Berechnungen der dena)	459
Abb. 215: Absoluter geschätzter Wärmeverbrauch je Baublock in MWh/a	460
Abb. 216: Flächenspezifischer geschätzter Wärmeverbrauch je Baublock in kWh/(m ² a).....	460
Abb. 217: Endenergiebilanz von Sossenheim im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	461
Abb. 218: Treibhausgas-Bilanz von Sossenheim im Ist-Zustand nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	462
Abb. 219: Energetische Sanierungsmaßnahmen am Gebäude (Grafik KfW, eigene Bearbeitung)	464
Abb. 220: Auszug aus dem Hessischen Solar-Kataster mit der Darstellung der Dachflächen im Gebiet und ihrer Eignung für eine solarenergetische Nutzung [HMWEVL 2016]	469
Abb. 221: Auszug aus dem Hessischen Solar-Kataster mit der Darstellung aller Flächen im Gebiet und ihrer Eignung für eine solarenergetische Nutzung [HMWEVL 2016]	470
Abb. 222: Auszug aus dem Abwärmekataster Frankfurt für Sossenheim (Quelle: Energiereferat Frankfurt a. M.)	471
Abb. 223: Endenergiebilanz von Sossenheim für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	473
Abb. 224: Treibhausgas-Bilanz von Sossenheim für das Zielszenario nach Verbrauchssektoren, Energieträgern und Nutzungen.....	474



Abb. 225: Prognostizierte Autarkiegrade für unterschiedliche Szenarien der Nutzung lokaler (erneuerbarer) Energieträger zur Wärme-, Kälte und Stromversorgung urbaner Gebiete.482

Abb. 226: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Varianten der Energieversorgung mit Wärme, Kälte und Strom in städtischen Gebieten.487

Abb. 227: Klimaschutzmanagement-Kreislauf und Controlling (Quelle: [difu 2018]).....515



Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Primärenergiefaktoren ausgewählter Energieträgern nach [DIN V 18599 1-10:2016]	9
Tab. 2:	THG-Emissionsfaktoren für Endenergie Wärme in CO ₂ -Äquivalenten nach [EnRef FfM 2017]	10
Tab. 3:	Annahmen zu zukünftigen THG-Emissionsfaktoren für Endenergie Strom aus dem lokalen Stromnetz mit deutschem Kraftwerksmix inklusive Netzverluste in CO ₂ -Äquivalenten nach [IBP 05/2015]	11
Tab. 4:	Annahmen zu zukünftigen THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme aus dem Netz der Mainova AG in CO ₂ -Äquivalenten	11
Tab. 5:	Kommunaler Anteil Investitions- und Betriebskosten von Maßnahmengruppen nach [iöw 2010]	17
Tab. 6:	Zusammensetzung Gaspreis nach Bundesnetzagentur, [bmwi 2019]	18
Tab. 7:	Zusammensetzung Strompreis 2018 nach BDEW, [bdew 2018]	19
Tab. 8:	Zusammensetzung Heizölbezugspreis 2018 nach Mineralölwirtschaftsverband, [MWV 2018]	19
Tab. 9:	Kommunaler Anteil Investitions- und Betriebskosten von Maßnahmengruppen, nach [iöw 2010]	20
Tab. 10:	Angesetzte Löhne und benötigte Umsätze pro Arbeitsplatz	21
Tab. 11:	Angesetzten Steuersätze für die kommunale Wertschöpfung	22
Tab. 12:	Für die Beispielrechnung angesetzten kommunale Umsatzanteile	23
Tab. 13:	Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumheizung für Wohngebäude	26
Tab. 14:	Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Trinkwarmwasser-Bereitung für Wohngebäude	27
Tab. 15:	Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumwärme für Nichtwohngebäude	27
Tab. 16:	Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Trinkwarmwasser-Bereitung für Nichtwohngebäude	28
Tab. 17:	Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend EnEV. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.	29
Tab. 18:	Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW-EH 55. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.	29
Tab. 19:	Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW-EH 40. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.	30
Tab. 20:	Kennwerte für den Haushaltsstrom in Wohngebäuden entsprechend der Verbrauchsklasse B des Stromspiegels 2017 [Strom 2017]. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.	31

Tab. 21:	Strombedarfs-Kennwerte von Nichtwohngebäuden nach [BMVBS 2015]. Bezugsgröße ist die beheizte Nettogrundfläche.	31
Tab. 22:	Auswertung Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen (Quelle: nach Spritmonitor.de, abgerufen am 23.02.2018)	34
Tab. 23:	Vorgaben Stellplatzanzahl bei Gebäudetypen ([Stellplatzsatzung 2016])	36
Tab. 24:	Zonen der Erschließung des ÖV ([Stellplatzsatzung 2016])	36
Tab. 25:	Anteil Stellplätze mit Ladestationen von öffentlichen Stellplätzen.....	37
Tab. 26:	Aufwandszahlen und Jahresnutzungsgrade von dezentralen Wärmeerzeugern	38
Tab. 27:	Kalkulationskosten für Vorkonzepte von Wärmenetzen.....	39
Tab. 28:	Den Mehrkosten für die Gebäudehülle zugrunde liegenden U-Werte der Bauteile.....	40
Tab. 29:	Mehrkosten gegenüber den Mindestanforderungen nach EnEV für unterschiedliche Dämmstandards im Wohnungsneubau.....	40
Tab. 30:	Charakteristische Daten für die Witterungsverhältnisse in Frankfurt.....	41
Tab. 31:	Jahressummen der Bestrahlung auf unterschiedliche Ebenen zur Abschätzung des Solarenergie-Potenzials in Baugebieten im Stadtgebiet Frankfurt.....	42
Tab. 32:	Gesamtpotenziale der Bioenergieerzeugung für Frankfurt, den Regierungsbezirk Darmstadt und Hessen insgesamt [HMUELV2009].	45
Tab. 33:	Mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmekollektoren für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten [VDI 4640].	49
Tab. 34:	Anhaltswerte für Entzugsleistungen eines Erdwärmekorbs der Fa. Uponor für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten bei 1.800 Jahresbetriebsstunden [Fa. Uponor].	50
Tab. 35:	Allgemeine Richtwerte für mögliche spezifische Entzugsleistungen von Erdwärmesonden kleiner Anlagen für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten [VDI 4640]......	52
Tab. 36:	Angenommenes Verhältnis von Netto- zu Bruttofläche für unterschiedliche Flächen zur Solarenergienutzung.	68
Tab. 37:	Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.....	101
Tab. 38:	Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	103
Tab. 39:	Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	104
Tab. 40:	Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	104
Tab. 41:	Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	105

Tab. 42: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	105
Tab. 43: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	109
Tab. 44: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr.	111
Tab. 45: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstr. (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).	113
Tab. 46: Anforderungen für den Passivhaus-Standard nach [PHI-Kriterien 2016]	124
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.	128
Tab. 48: Zusammenstellung des prognostizierten Energiebedarfs für die Ausführung im EnEV- und im Passivhaus-Standard	136
Tab. 49: Ergebnisse der Berechnung des Strom-Erzeugungspotenzials mit PV-Anlagen	138
Tab. 50: Ergebnisse der Berechnung des Wärme-Erzeugungspotenzials mit Solarthermie-Anlagen	138
Tab. 51: Betriebsweisen und Kennwerte im Wärmepumpenbetrieb bei Wärmequelle Mainwasser.....	140
Tab. 52: Jahres-Endenergiebilanz der vier untersuchten Varianten	141
Tab. 53: Gesamt-Energieeinsatz und Anteile aus lokalen (erneuerbaren) Energien	142
Tab. 54: Treibhausgasbilanz der vier untersuchten Varianten.....	143
Tab. 55: Prognostizierte Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten für unterschiedliche Bezugsjahre	143
Tab. 56: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Günthersburghöfe.	147
Tab. 57: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.....	155
Tab. 58: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet Günthersburghöfe bei Ausführung der Neubauten im Frankfurter Mix.....	156
Tab. 59: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.....	156
Tab. 60: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Günthersburghöfe.....	157
Tab. 61: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Günthersburghöfe.....	158

Tab. 62:	Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Günthersburghöfe.	158
Tab. 63:	Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Günthersburghöfe.....	165
Tab. 64:	Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Günthersburghöfe.	169
Tab. 65:	Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Günthersburghöfe (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	171
Tab. 66:	Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Am Römerhof.	179
Tab. 67:	Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.	183
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.....	184
Tab. 69:	Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.	184
Tab. 70:	Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das Gebiet Am Römerhof.....	184
Tab. 71:	Übersicht des prognostizierten Strombedarfs (summiert für Neubauten und Bestand) für das Gebiet Am Römerhof.	186
Tab. 72:	Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Am Römerhof.....	186
Tab. 73:	Angenommene Eingangsgrößen und Ergebnisse der Berechnung der möglichen Entzugsleistungen zur Abwasserwärmenutzung für Heizzwecke.....	190
Tab. 74:	Angenommene Eingangsgrößen und Ergebnisse der Berechnung der maximal möglichen Entzugsleistungen und -wärmemengen aus der Erdwärmenutzung für Heizzwecke.....	193
Tab. 75:	Ergebnisse der Berechnung der Strom-Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen für das geplante Quartier „Am Römerhof“.	194
Tab. 76:	Ergebnisse der Berechnung der Wärme-Erzeugungspotenziale mit Solarthermie-Anlagen für das geplante Quartier „Am Römerhof“.	195
Tab. 77:	Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Am Römerhof.	195
Tab. 78:	Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW1“.	198
Tab. 79:	Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW2“.	199
Tab. 80:	Übersicht der abgeschätzten Energiemengen und Leistungen der zentralen Erzeuger der Variante „NahW3“.	199

Tab. 81: Übersicht der abgeschätzten Gesamt-Energiemengen und -Leistungen der zentralen und dezentralen Erzeuger der Variante „NahW4“	200
Tab. 82: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Am Römerhof.....	201
Tab. 83: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Am Römerhof (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	203
Tab. 84: Gewichteter, gemittelter regionaler Umsatzanteil Wertschöpfung für das Gebiet Am Römerhof	207
Tab. 85: Kommunale Wertschöpfung für das Gebiet Am Römerhof pro investierte Million EUR.....	207
Tab. 86: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet An der Sandelmühle.....	213
Tab. 87: Für die Prüfung des Passivhaus-Standards angesetzten U-Werte für die Reihenhäuser.....	214
Tab. 88: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.	216
Tab. 89: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet An der Sandelmühle bei Ausführung der Neubauten im Quartier-Mix.....	217
Tab. 90: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.	217
Tab. 91: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet An der Sandelmühle.	218
Tab. 92: Aufteilung des prognostizierter Strombedarfs für Nutzung (Haushalte, Kita etc.) und E-Mobilität für das Gebiet An der Sandelmühle.	218
Tab. 93: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet An der Sandelmühle.	219
Tab. 94: Übersicht der betrachteten Versorgungsvarianten für das Gebiet An der Sandelmühle.....	224
Tab. 95: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets An der Sandelmühle.....	229
Tab. 96: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet An der Sandelmühle (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	231
Tab. 97: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	241

Tab. 98: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	244
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.)	245
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.)	245
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.)	247
Tab. 102: Aufteilung des prognostizierten Strombedarfs für gebäudenaher Nutzung und E-Mobilität für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	247
Tab. 103: Abgeschätzte Flächen für die Errichtung von Erdwärmesonden zur monovalenten Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	249
Tab. 104: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung.	252
Tab. 105: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung.	256
Tab. 106: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Nordöstl. der Anne-Frank-Siedlung (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).	258
Tab. 107: Kenndaten von Griesheim-Mitte (Quelle: [Freischlad+Holz 2019], eigene Berechnungen).....	270
Tab. 108: Gebäude in Griesheim-Mitte nach Nutzungsart (Daten aus GIS Frankfurt a.M.)	271
Tab. 109: Wohngebäudebestand in Griesheim-Mitte nach Gebäudetyp (Datenquelle: infas360, mit eigenen Korrekturen)	272
Tab. 110: Wohngebäudebestand in Griesheim-Mitte nach Baualtersklasse (Datenquelle: infas360, mit eigenen Korrekturen)	272
Tab. 111: Absoluter und flächenspezifischer Stromverbrauch der Nichtwohngebäude nach Gebäudenutzung (ohne Rechenzentren).....	278
Tab. 112: Angesetzte Reduktionsfaktoren für den Wärmeverbrauch aufgrund energetischer Sanierungen	292
Tab. 113: Abschätzung der solarenergetisch nutzbaren Dachflächen im Gebiet und des möglichen Potentials zur PV-Stromerzeugung.....	296
Tab. 114: Flächen der konzipierten Bebauung sowie deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Nutzungsarten für das Gebiet Süd. Am Riedsteg.....	312
Tab. 115: Typische Gebäudetypen des städtebaulichen Entwurfs mit idealtypischen A/V-Verhältnissen	314

Tab. 116: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	317
Tab. 117: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	318
Tab. 118: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	318
Tab. 119: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	319
Tab. 120: Aufteilung des prognostizierter Strombedarfs für Nutzung (Haushalte, Kita etc.) und E-Mobilität für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	319
Tab. 121: Geschätzte Generatorflächen und Strom-Erzeugungspotenziale mit Photovoltaik-Anlagen für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	324
Tab. 122: Abgeschätzte Sonnenkollektor- und PV-Modul-Flächen sowie die entsprechenden Wärme- und Strom-Erzeugungspotenziale mit Solarthermie-Anlagen zur Trinkwassererwärmung und zusätzlich Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.	324
Tab. 123: Übersicht der gebäude-/blockzentralen Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	325
Tab. 124: Übersicht der gebietszentralen Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Südl. Am Riedsteg.....	325
Tab. 125: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Südl. Am Riedsteg.	331
Tab. 126: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Südl. Am Riedsteg (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	333
Tab. 127: Gewichteter, gemittelter regionaler Umsatzanteil Wertschöpfung Am Riedsteg	338
Tab. 128: Kommunale Wertschöpfung Am Riedsteg pro investierte Million	339
Tab. 129: Flächen der konzipierten Bebauung für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.	344
Tab. 130: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.	347
Tab. 131: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet N.-E.-Am Hollerbusch bei Ausführung der Neubauten im Frankfurter Mix.....	347
Tab. 132: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.	348
Tab. 133: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.	348

Tab. 134: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet N.-E.- Am Hollerbusch.....	349
Tab. 135: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet N.-E.-Am Hollerbusch.	355
Tab. 136: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets N.-E. Am Hollerbusch.....	360
Tab. 137: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet N.-E. Am Hollerbusch (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	361
Tab. 138: Flächen der konzipierten Bebauung für das Gebiet Nieder- Eschbach Süd.....	373
Tab. 139: Übersicht des prognostizierten Energiebedarfs für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd.	377
Tab. 140: Aufteilung des gesamten Energiebedarfs nach Nutzungen für das Gebiet N.-E.-Süd bei Ausführung der Neubauten im Frankfurter Mix.	378
Tab. 141: Übersicht des prognostizierten Wärmebedarfs für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf der vorherigen Seite.).....	378
Tab. 142: Prognostizierte Wärmeabgabe an Gebäude sowie die entsprechende Wärmeleistung für das für das Gebiet Nieder- Eschbach Süd. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf der vorherigen Seite.)	379
Tab. 143: Aufteilung des prognostizierter Strombedarfs für Nutzung (Haushalte, Kita etc.) und E-Mobilität für das Gebiet Nieder- Eschbach Süd.....	379
Tab. 144: Übersicht des prognostizierten Strombedarfs für das Gebiet Nieder- Eschbach Süd. (Erläuterungen zu Begriffen u. Abkürzungen finden sich auf den vorherigen Seiten.).....	380
Tab. 145: Übersicht der betrachteten Varianten der Wärmeversorgung für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd.....	385
Tab. 146: Prognose der endenergiebasierten Territorialbilanz von Energieeinsatz und Endenergie für Wärme-, Kälte-, und Stromversorgung des Gebiets Nieder-Eschbach Süd.	388
Tab. 147: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Bezugsjahre für das Gebiet Nieder-Eschbach Süd (basierend auf endenergiebasierter Territorialbilanz).....	390
Tab. 148: Kenndaten von Nied	406
Tab. 149: Gebäude in Nied nach Nutzungsart (Daten aus GIS-Frankfurt a. M.)....	407
Tab. 150: Wohngebäudebestand in Nied nach Gebäudetyp (Datenquelle: infas360, mit eigenen Korrekturen)	408
Tab. 151: Wohngebäudebestand in Nied nach Baualtersklasse (Datenquelle: infas360, mit eigenen Korrekturen)	409
Tab. 152: Abschätzung der solarenergetisch nutzbaren Dachflächen im Gebiet und des möglichen Potentials zur PV-Stromerzeugung.....	426

Tab. 153: Kenndaten von Sossenheim	440
Tab. 154: Gebäude in Sossenheim nach Nutzungsart (Daten aus GIS Frankfurt a. M.)	442
Tab. 155: Gebäudebestand in Sossenheim nach Gebäudetyp (Datenquelle: inf360, mit eigenen Korrekturen)	443
Tab. 156: Wohngebäudebestand in Sossenheim nach Baualtersklasse (Datenquelle: inf360, mit eigenen Korrekturen)	444
Tab. 157: Abschätzung der solarenergetisch nutzbaren Dachflächen im Gebiet und des möglichen Potentials zur PV-Stromerzeugung, gerundet	468

Vorbemerkung

Bei der vorliegenden Veröffentlichung handelt es sich um eine im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative geförderte Potenzialstudie für die Versorgung von 9 Neubau- und 3 Sanierungsgebieten mit erneuerbaren Energien und/oder Abwärme. Im Rahmen der Untersuchung wurden vom Ingenieurbüro ebök aus Tübingen exemplarisch untersucht inwieweit sich die jeweiligen Gebiete mit erneuerbarem Strom und Wärme versorgen lassen könnten. Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden Möglichkeiten ab, die von den Bauherr:innen genutzt werden könnten. Es ist zu wünschen, dass möglichst viele der erneuerbaren Potenziale bei der Umsetzung der Maßnahmen genutzt werden. Die tatsächliche Realisierung ist jedoch auch immer abhängig von den erforderlichen Genehmigungen und dem Willen diese auch zu realisieren.

Januar 2021, Stadtplanungsamt, 61.O33, Energiereferat 79A.2 – Stadt Frankfurt am Main

Zusammenfassung

Kontext und Aufgabenstellung

Als eine von derzeit 41 „Masterplan-Kommunen“ (Stand November 2019) hat sich die Stadt Frankfurt a. M. das Ziel gesetzt, ihren Endenergieverbrauch im Verhältnis zum Jahr 2010 bis zum Jahr 2050 zu halbieren. Der verbleibende Energiebedarf soll vollständig durch Erneuerbare Energien gedeckt werden, sodass eine Treibhausgasemissionsminderung von 95 % erreicht wird. Das für die Stadt Frankfurt erstellte Generalkonzept „Masterplan 100 % Klimaschutz“ aus dem Jahr 2015 zeigt, wie diese Ziele erreicht werden können. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden elf ausgewählte Gebiete im Stadtgebiet untersucht. Abb. 30 zeigt eine Übersichtskarte der betrachteten Gebiete.

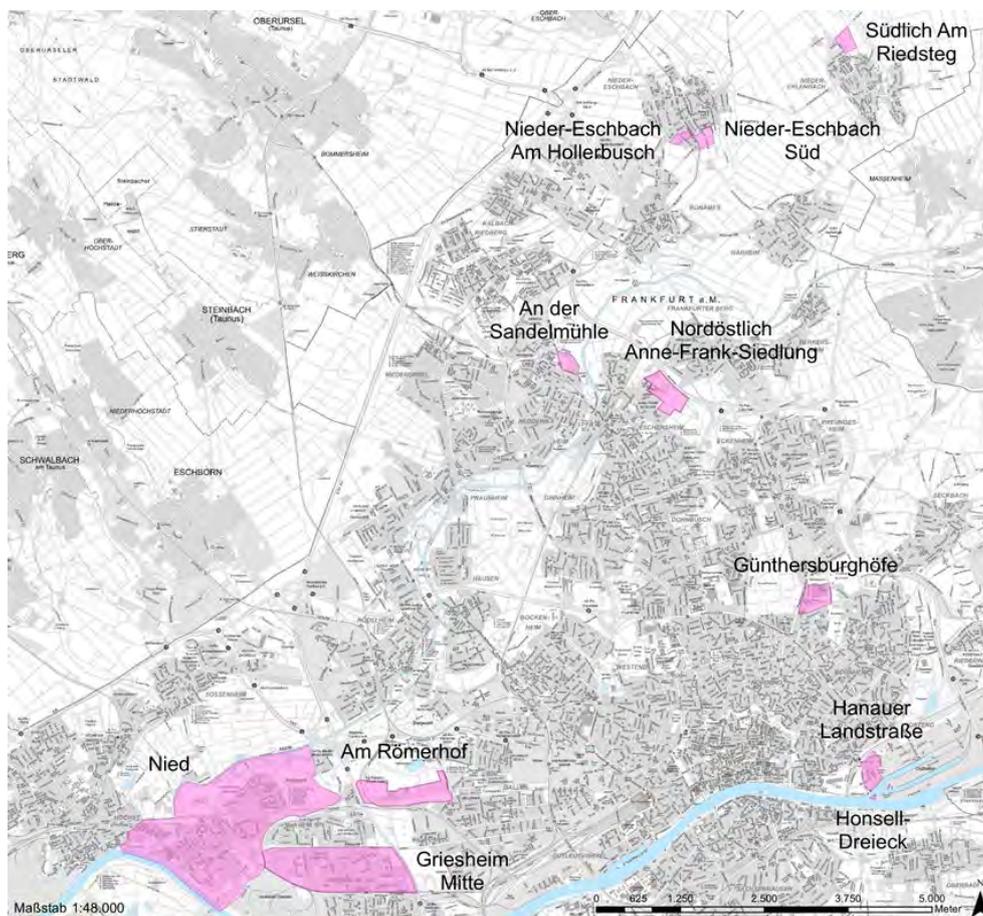


Abb. 1: Übersichtskarte mit den untersuchten Gebieten.
(Quelle der Karte: Stadtvermessungsamt Frankfurt a. M., eigene Bearbeitung)

Klimaschutzteilkonzepte für integrierte Wärmenutzung und erneuerbare Energien sollen helfen, für Baugebiete in Frankfurt Lösungen zur Versorgung mit erneuerbaren Energien und/oder Abwärme zu finden, die zu annähernd gleichen Kosten wie eine konventionelle Wärmeversorgung umgesetzt werden können. Die Konzepte sollen als Blaupause für künftige Baugebiete sowie für Sanierungsgebiete dienen und in das allgemeine Energiekonzept der Stadt Frankfurt am Main eingebunden werden. Ziel ist es – unter Berücksichtigung möglicher Energieeffizienzmaßnahmen bei den geplanten bzw. bestehenden Gebäuden und Einrichtungen – ein Konzept zur Entscheidungsfindung zu erarbeiten, um die Sicherung einer umweltverträglichen und wirtschaftlichen Energieversorgung zu erreichen.

Energieeffizienzmaßnahmen bei Gebäuden

Werden nur die für den Betrieb eines Wohngebäudes erforderlichen Energieanwendungen (Heizwärme, Warmwasser, Klimakälte, Beleuchtung, Hilfsenergie und Allgemeinstrom) betrachtet, wird die Bedeutung der Raumwärme und entsprechend des

Gebäude-Energiestandards bei Neubauten deutlich. In Abb. 29 wird dies am Beispiel eines mittelgroßen Mehrfamilienhauses dargestellt.

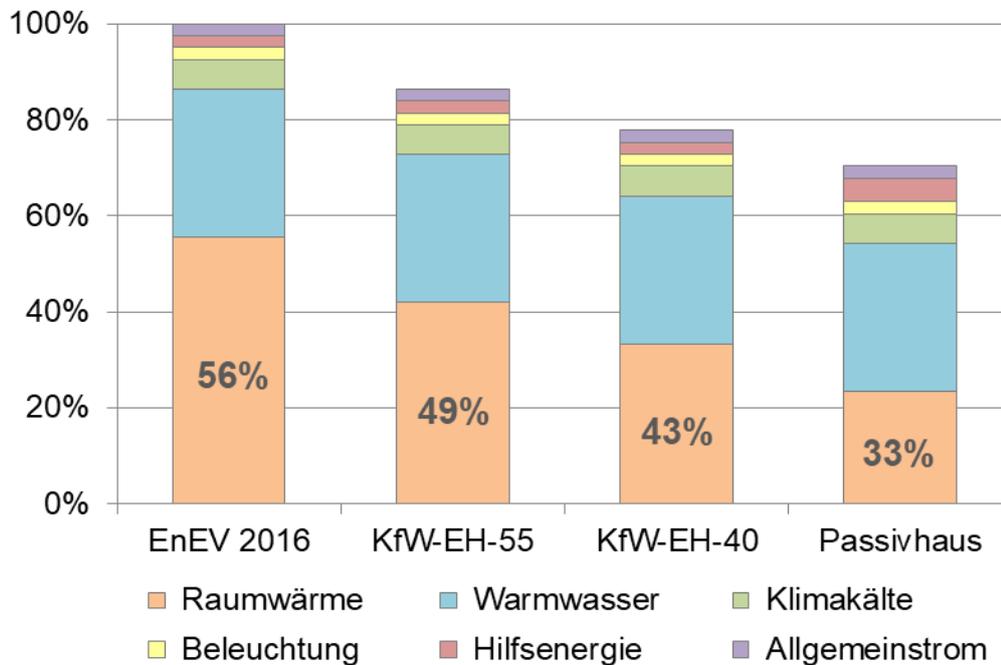


Abb. 2: Gebäudeenergiebedarf für einen mittelgroßen Mehrfamilienhaus-Neubau in Frankfurt a. M. in Abhängigkeit des Gebäude-Energiestandards (eigene Berechnungen)

Mit dem KfW-Effizienzhaus-55-Standard kann der Heizwärmebedarf um 16 % gegenüber dem EnEV-Standard gesenkt werden. Beim KfW-Effizienzhaus-40-Standard beträgt die Einsparung 22 % und beim Passivhaus-Standard sogar 30 %. Der Anteil der Heizwärme an der Summe der betrachteten Anwendungen sinkt dabei von 56 % auf 33 %. Neben einer thermisch hochwertigen Gebäudehülle trägt auch eine Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu einer deutlichen Senkung des Heizwärmebedarfs bei.

Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Kommunale Neubauvorhaben sollen im Passivhausstandard realisiert werden, wie dies weitgehend der derzeitigen Beschlusslage entspricht (siehe dazu den Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 28.01.2010).
- Die über das Frankfurter Programm für den Neubau von bezahlbaren Mietwohnungen geforderten Neubauten sollen im Passivhausstandard realisiert werden, wie dies weitgehend den derzeitigen Richtlinien entspricht (siehe [Stadt FfM 2017] und [Stadt FfM 2018]).

- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um bei Neubauprojekten von privaten Bauherr*innen oder Investoren, die nicht unter die beiden erstgenannten Punkte fallen, die Realisierung einer energetischen Qualität der Gebäudehülle, die über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgeht, zu erreichen. Für Einfamilienhäuser wird empfohlen, die Anforderungen für das KfW-Effizienzhaus-40 einzuhalten, für Mehrfamilienhäuser diejenigen für das KfW-Effizienzhaus-55.
- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um den vermehrten Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung in Neubauten zu fördern.

Die effiziente Einbindung und Nutzung von erneuerbaren Energien erfordert oft technische Voraussetzungen bei den gebäudeseitigen Haustechnik-Systemen. Meist geht es dabei um die Senkung der erforderlichen Betriebstemperaturen oder der Rücklauf-temperatur von Systemen, um die Bedingungen zur Nutzung von Ab-, Umwelt- und Solarwärme zu verbessern. Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um die Realisierung von Niedertemperatur-Heizungen in Neubaugebieten weitestgehend und wo immer möglich zum Standard werden zu lassen.
- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um den Einbau von Wohnungsübergabestationen mit dezentraler Warmwasserbereitung bei Mehrfamilienhäusern in Neubaugebieten zu fördern.

Bereits die Bauleitplanung, der städtebaulichen Entwurf und der Bebauungsplan legen Grundlagen für die Reduzierung des Energiebedarfs und eine effiziente Energienutzung. Dies betrifft die Reduzierung des Heizwärmebedarfs durch möglichst kompakte und sinnvoll platzierte und orientierte Baukörper, die Reduzierung des Kunstlichtbedarfs durch die geeignete Wahl der städtebaulichen Dichte und einer begrenzten Verschattung als auch die Reduzierung des Kühlbedarfs durch Berücksichtigung von ausreichender Durchlüftung, Grün- und Wasserflächen und Verschattungszonen. Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Bei der Planung von Neubaugebieten ist im Spannungsfeld zwischen möglichst großen kompakten Baukörpern und der noch vertretbaren städtebaulichen Dichte abzuwägen und ein auf möglichst günstige A/V-Verhältnisse hin optimierter Kompromiss zu finden. Tendenziell sind Mehrfamilienhäuser gegenüber Einfamilienhäusern zu bevorzugen, Reihenhäuser gegenüber freistehenden Häusern.
- Städtebauliche Entwürfe sollten anhand von Solarstudien hinsichtlich Verschattungssituation und Fassadenbesonnung untersucht und die Anordnung und Orientierung der Baukörper entsprechend optimiert werden.

- Bei der Planung von Neubaugebieten sind im Rahmen einer übergeordneten Klimaanpassungsstrategie insbesondere auch alle Maßnahmen anzuwenden, die lokale Überhitzungen in Quartieren mindern.

Energieversorgung mit lokalen (erneuerbaren) Energieträgern

Zur Quantifizierung der möglichen Vor-Ort-Nutzung der Potenziale lokaler¹ (erneuerbarer) Energieträger wurde **der Autarkiegrad** eingeführt.

- Der Autarkiegrad entspricht dem unter realistischen Randbedingungen erreichbaren Deckungsanteil der lokalen (erneuerbaren) Energieträger (bzw. der daraus gewonnenen Sekundär- bzw. Endenergie) am Gesamtenergieeinsatz für die Wärme-, Kälte- und Stromversorgung eines Gebiets. Exportierte Energiemengen werden nicht berücksichtigt.
- Die Prognose des erreichbaren Autarkiegrads erfolgt auf Basis der dynamischen Zeitverläufe von Energieerzeugung, Speicherung und Bedarf (wenn möglich stündlich, mindestens aber monatlich).

Die Untersuchungen der Gebiete haben gezeigt: bei bestmöglicher Nutzung der lokalen Potenziale erneuerbarer Energieträger (insbes. Solarenergie sowie Umweltwärme oder Abwärme) können auch in dicht besiedelten urbanen Gebieten Autarkiegrade von über 60 % der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung erreicht werden. Dazu sollten die nachfolgenden Hinweise und Empfehlungen beachtet werden.

Die **Solarenergie** ist der lokale erneuerbare Energieträger, der in nahezu allen Gebieten gleichermaßen verfügbar ist. Die Nutzung der Solarenergie ist alternativlos für die lokale erneuerbare Stromversorgung und kann einen wichtigen Beitrag zur lokalen erneuerbaren Wärme-/Kälteversorgung leisten.

- Unter den heutigen Randbedingungen kann in Neubaugebieten die maximal mögliche Nutzung von Solarenergie uneingeschränkt empfohlen werden. Die Einführung einer Nutzungspflicht oder zumindest die Aussprache einer dringenden Nutzungsempfehlung für Anlagen zur Solarenergiegewinnung (ggf. auch durch Dritte) sollte in Betracht gezogen werden.
- Der mittels Solarenergie erreichbare Autarkiegrad ist in erster Linie begrenzt durch die Verfügbarkeit solarenergetisch nutzbarer Flächen. Wenn ein Großteil der Dachflächen der Gebäude genutzt werden kann, liegt diese Grenze bei etwa 15 % bezogen auf den Gesamtenergieeinsatz für Wärme-, Kälte- und Stromversorgung in urbanen Gebieten und Kerngebieten bzw. bei etwa 20 % in

¹ „lokal“ bedeutet in diesem Kontext: innerhalb des betrachteten Gebiets oder in dessen unmittelbarer Umgebung.

für Stadtgebiete typischen Wohn- und Mischgebieten. Der erreichbare Autarkiegrad kann höher ausfallen für Gebiete mit einem niedrigeren Maß der baulichen Nutzung sowie durch die Nutzung zusätzlicher Flächen zur Solarenergiegewinnung.

- Es wird daher dringend empfohlen energetische und andere Belange frühzeitig abzuwägen und passende Flächennutzungspläne bzw. -konzepte (gerade auch für Dachflächen) zu erstellen. Alle städtischen Akteure sollten ein Augenmerk auf die Bereitstellung von zusätzlichen Flächen zur Solarenergiegewinnung (über Dächer und Fassaden hinaus) legen.
- Auf Grund der Vielzahl an Produkten und Einbaumöglichkeiten kann die Gewinnung von Solarenergie bei guter Vorplanung oft als Zweitnutzung von Flächen vorgesehen werden (bspw. bei sozialen oder ökologischen Ausgleichsflächen, Regenwasser-Retentionsflächen, Flächen zur intensiven Begrünung, landwirtschaftlichen Flächen, Verkehrsflächen u. v. m.).

Zwei weitere lokale Energieträger, die in vielen Gebieten ein großes Potenzial bieten, sind **Umweltwärme und Abwärme** (letztere ist technisch betrachtet meist nicht erneuerbar, aber i.d.R. mit keinen oder sehr niedrigen CO₂-Emissionen behaftet). Diese Energieträger erfordern meist den Einsatz von **Wärmepumpen** um zur Wärmeversorgung von Gebäuden genutzt zu werden. Dabei ist zu beachten:

- Wärmequellen mit einem höheren mittleren Temperaturniveau in der Heizperiode sind bevorzugt zu verwenden. In den meisten Fällen bedeutet das: Abwärme (z.B. aus Abwasser oder Prozessen), Erdwärme und Umweltwärme aus Grundwasser oder Oberflächengewässern sind aus energetischen und ökologischen Gesichtspunkten zu bevorzugen gegenüber Außenluft als Wärmequelle. Dies hat nicht nur Vorteile für das jeweilige Gebiet selbst, sondern reduziert auch unvorteilhafte Auswirkungen der Wärmeversorgung des Gebiets auf das städtische Stromnetz bzw. das regionale Übertragungsnetz. Ein Beispiel für solche negativen Auswirkungen sind Lastspitzen verursacht durch den gleichzeitigen Betrieb vieler Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Wintermonaten bei niedrigen Außentemperaturen.
- Die technische Gebäudeausrüstung ist so zu gestalten, dass möglichst niedrige verbraucherseitige Solltemperaturen erforderlich sind. Daraus folgt zum einen der Einsatz von Flächenheizungen zur Wärmeübergabe an die Räume, zum anderen der Einsatz von Wohnungsstationen in Mehrfamilienhäusern.
- Werden die oben genannten Voraussetzungen erfüllt, kann in städtischen Gebieten durch den effizienten Einsatz von Wärmepumpen ein Autarkiegrad von etwa 40 % bezogen auf den Gesamtenergieeinsatz für Wärme, Kälte und Stromversorgung erreicht werden.

Die Erschließung von energetisch und ökologisch günstigen Wärmequellen (siehe oben) zieht unweigerlich einen planerischen und finanziellen Mehraufwand nach sich, welcher als zentrale Herausforderung bei der Umsetzung solcher Projekte betrachtet werden muss. Sei es die zentrale Erschließung eines Abwasserkanals und das zur Verteilung notwendige Wärmenetz oder die Niederbringung und Anbindung zahlreicher Erdwärmesonden zur Versorgung eines urbanen Gebiets.

- Diese Herausforderung kann aber sollte nicht alleine den Investoren bzw. Bauherren überlassen werden. Anzustreben ist, dass die städtischen Akteure Strategien erarbeiten und Möglichkeiten finden, diese Erschließungsmaßnahmen zu unterstützen und zu begünstigen.
- Darüber sollte auch die Planung der Gebäude auf eine möglichst effektive Nutzung der begrenzt verfügbaren Wärmequellen abzielen. So sollten die von der Wärmepumpe zu erbringende maximale Heizleistung und damit die erforderliche maximale Quellenleistung möglichst niedrig ausfallen, um den Aufwand zur Erschließung der Wärmequelle zu begrenzen. Dies kann in erster Linie durch einen möglichst guten Gebäude-Energiestandard erreicht werden. Außerdem kann sich der Einsatz von großen Pufferspeichern günstig auswirken.

Neben dem erreichbaren Autarkiegrad wurden für jede Versorgungsvariante die **Treibhausgasemissionen** prognostiziert, die heute und in Zukunft durch die Energieversorgung des betrachteten Gebiets entstehen werden. Dies erfolgte in Anlehnung an die CO₂-Bilanzierungs-Systematik der Stadt Frankfurt mittels einer Verursacherbilanz [Ifeu 2017], in welcher der prognostizierte Bedarf aller eingesetzten Energieträger für die Wärme-, Kälte,- und Stromversorgung berücksichtigt wurde². In Abb. 226 ist eine Übersicht der Prognose-Ergebnisse gezeigt für unterschiedliche Grundvarianten der lokalen Energieversorgung der Gebiete.

² Es wurden während der Nutzung anfallende Energiemengen basierend auf den dynamischen Zeitverläufen von Energieerzeugung, Speicherung und Bedarf berücksichtigt, nicht aber der kumulierte Energieaufwand über den gesamten Lebenszyklus („graue Energie“).

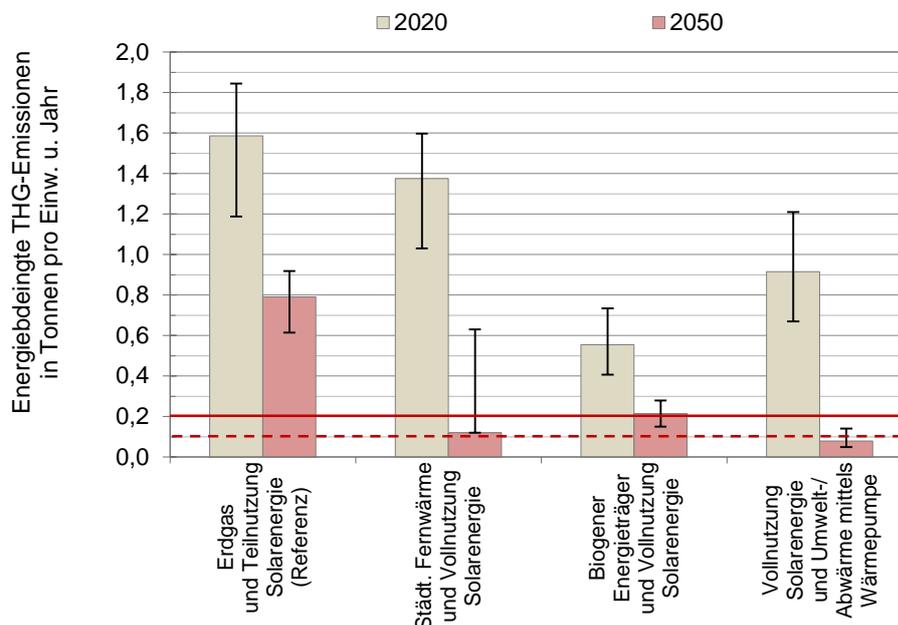


Abb. 3: Prognostizierte Treibhausgasemissionen für unterschiedliche Varianten der Energieversorgung mit Wärme, Kälte und Strom in städtischen Gebieten.

Zur Bewertung dieser Ergebnisse stellt sich die Frage, welche Maximalwerte der Emissionen nicht überschritten werden sollten um eine Erreichung der Klimaschutzziele bis 2050 zu gewährleisten. Basierend auf den derzeitigen Zielwerten des „Masterplans 100 % Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt sollten neue Quartiere mit überwiegender Wohnnutzung in 2050 nicht mehr als 0,1 t bis 0,2 t energiebedingte Treibhausgasemissionen pro Einwohner und Jahr verursachen. Diese Grenzwerte wurden ebenfalls in das Diagramm eingezeichnet. Dazu noch folgende Erläuterungen zum obigen Diagramm:

- Voraussetzung zur Erreichung der prognostizierten Werte für 2050 ist immer die erfolgreiche Reduktion der Treibhausgasemissionen der von außen zugeführten Energieträger entsprechend der heutigen Klimaschutz-Szenarien. Das betrifft den bundesweiten Strommix bei allen Varianten und die städtische Fernwärmeversorgung bei der Fernwärme-Variante. Für den Energieträger Erdgas wurde keine Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen angenommen.
- Die gezeigten Fehlerindikatoren sollen die Bandbreite der möglichen Ergebnisse aufzeigen, welche in erster Linie von Größe, baulicher Dichte und Nutzungsstruktur der Gebiete abhängig ist. Bei der Fernwärme-Variante zeigt der Fehlerindikator für 2050 die Emissionen an, die sich ergeben würden, wenn keine Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen der Fernwärme gegenüber heute erfolgt.

An Hand der Ergebnisse lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Mit der Referenz-Wärmeversorgung basierend auf Erdgas würden voraussichtlich energiebedingte Treibhausgasemissionen von etwa 0,8 t pro Einwohner und Jahr in 2050 erreicht. Damit ist die notwendige Reduktion der Treibhausgasemissionen nicht zu schaffen - auch bei Ausnutzung der lokalen Solarenergiepotenziale und bei erfolgreicher Dekarbonisierung des bundesweiten Strommix.
- Bei der Wärmeversorgung mittels städtischer Fernwärme und gleichzeitiger Ausnutzung der lokalen Solarenergiepotenziale könnten voraussichtlich energiebedingte Treibhausgasemissionen von etwa 0,1 t pro Einwohner und Jahr in 2050 erreicht werden. Voraussetzung dafür ist die konsequente Dekarbonisierung der Fernwärme. Es ist anzunehmen, dass bei dieser Herkulesaufgabe nur langsam Fortschritte erzielt werden. Für das kommende Jahrzehnt ist daher erst einmal nur eine geringfügige Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber der Erdgas-Variante zu erreichen.
- Mit einer Wärmeversorgung basierend auf biogenen Energieträgern (nicht lokal) und gleichzeitiger Ausnutzung der lokalen Solarenergiepotenziale könnten voraussichtlich energiebedingte Treibhausgasemissionen von etwa 0,2 t pro Einwohner und Jahr in 2050 erreicht werden. Da es sich um einen erneuerbaren Energieträger handelt, wird mit dieser Variante im Vergleich zu allen anderen Varianten die größte kurzfristige Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht. Problematisch ist allerdings die begrenzte Verfügbarkeit der biogenen Energieträger sowie lokalen die Immissionen im Gebiet, die ggf. entstehen.
- Bei bestmöglicher Nutzung lokaler (erneuerbarer) Energieträger – also Solar-energie kombiniert mit Umweltwärme oder Abwärme (mittels Wärmepumpen) – könnten voraussichtlich energiebedingte Treibhausgasemissionen von unter 0,1 t pro Einwohner und Jahr in 2050 erreicht werden. Durch die bereits vorangeschrittene Dekarbonisierung des bundesweiten Strommixes kann mit dieser Variante auch kurzfristig eine nennenswerte Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber der Referenz erreicht werden. Alle zukünftigen Reduktionen hängen bei dieser Variante stärker vom Fortschreiten der Dekarbonisierung des Strommixes ab als bei den anderen Varianten.

Die Rolle der Fernwärmeversorgung

Die Dekarbonisierung der städtischen Fernwärmeversorgung – also die Steigerung der Effizienz bei Wärmeerzeugung und -verteilung bei gleichzeitiger Einbindung lokaler (erneuerbarer) Energieträger – wird eine Schlüsselrolle bei der Erreichung der Klimaschutzziele für den Wärmesektor der Stadt Frankfurt spielen. Ein wichtiges Element kann dabei die strategische Erschließung und Einbindung von Wärmequellen sein, insbesondere die (Niedertemperatur-) Abwärme aus technischen Prozessen. Diese

Prozesse haben häufig einen sehr hohen Energiebedarf und bieten dem entsprechend ein enormes Potenzial zur Abwärmenutzung.

- Ein typisches Beispiel dafür sind die bestehenden und geplanten Rechenzentren im Stadtgebiet. Die Energiedichte dieser Prozesse ist häufig so hoch, dass eher ein ganzer Stadtteil als ein einzelnes Neubaugebiet mit Wärme versorgt werden könnte. Folglich sind für eine Nutzung dieser enormen Potenziale Strategien und Konzepte hilfreich, die über die Betrachtung eines einzelnen Neubaugebiets hinausgehen.
- Ein möglicher Ansatz ist zum Beispiel die Auskopplung der Abwärme ggf. mittels Wärmepumpen zur Einspeisung in ein Nahwärmenetz oder sogar in das städtische Fernwärmeverbundnetz. Zu beachten ist dabei, dass zur Einspeisung in Wärmenetze, insbesondere im Bestand, relativ hohe Vorlauf-temperaturen notwendig sind. Im besten Fall wird die Abwärme daher auf einem möglichst hohen Temperaturniveau zu Verfügung gestellt, so dass für die Wärmeversorgungsanwendungen kein oder nur noch ein geringer Temperaturhub notwendig ist.

Um dies zu erreichen ist ggf. eine frühzeitige Planung und Abstimmung aller beteiligten Akteure notwendig. Die kann ebenfalls am Beispiel der Rechenzentren erläutert werden: entscheidend für das Temperaturniveau der Abwärme ist hier die technische Ausführung und Auslegung der Kühlsysteme der Rechentechnik. Die höchsten Temperaturen zur Einspeisung der Abwärme in ein Wärmenetz können hier beim Einsatz von Flüssigkeitskühlung erzielt werden. Darauf sollte bereits bei der Genehmigung und Planung neuer Rechenzentren hingewirkt werden. Zudem können die Standorte der Rechenzentren auf die Wärmebedarfsdichte und ggf. auf die Verfügbarkeit von Wärmenetztrassen im Stadtgebiet abgestimmt werden.

Erkenntnisse für die energetische Bauleitplanung

Die Stadt Frankfurt a.M. nutzt die unterschiedlichen Instrumente der Bauleitplanung bereits zur Umsetzung ihrer klimapolitischen Zielsetzungen. Im Rahmen der Bearbeitung der Klimaschutzteilkonzepte sind allerdings hinsichtlich der Integration klimapolitischer Belange in der Bauleitplanung und ihrer Umsetzung bei Verhandlungen mit Investoren folgende Defizite aufgefallen:

- Der Informationsfluss, die Koordinierung von unterschiedlichen Belangen sowie die Klärung und Lösung von Zielkonflikten innerhalb der Verwaltung erschien oft langwierig und schwierig.
- Überlegungen und Festsetzungen zu energetischen Fragen, insbesondere zur Nutzung lokaler, erneuerbarer Energien erfolgten teilweise zu spät im Planungsprozess.

- Formulierungen in städtebaulichen Verträgen waren hinsichtlich der Festlegung von Gebäude-Energiestandards oder CO₂-Emissionszielen nicht eindeutig oder zielführend.
- Investoren oder Vorhabenträger erhielten teils unklare oder sogar widersprüchliche Empfehlungen oder Anforderungen.
- Von Seiten der Investoren war bei Gesprächen teilweise Unverständnis und teilweise auch Ärger zu spüren, über widersprüchliche Anforderungen, eine Vielzahl von Ansprechpartner*innen und ein kompliziertes und langwieriges Genehmigungsverfahren.

Eine Verbesserung dieser Punkte ist notwendig, um den Bauleitplanungsprozess zu optimieren, energetische und klimapolitische Belangen besser zu integrieren und die Ziele des Masterplans 100% Klimaschutz umsetzen zu können.

Grundlage für ein konsequentes und erfolgreiches Auftreten der Stadtverwaltung gegenüber Investoren oder Vorhabenträger ist die politische Rückendeckung und eine eindeutige Beschlusslage der politischen Gremien. Die Eckpunkte des gewünschten Verwaltungshandelns sollten durch Beschluss der Stadtverordnetenversammlung festgelegt werden.

Eine frühzeitige Abstimmung der Fachinteressen innerhalb der Stadtverwaltung ist eine weitere Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung. Zielkonflikte, die sich aus unterschiedlichen Belangen ergeben, müssen im Vorfeld zu Investorengesprächen verwaltungsintern geklärt und gelöst, Spielräume bzw. die Grenzen möglicher Kompromisse festgelegt werden.

Über die bisher praktizierte sogenannte „frühzeitige Ämterbeteiligung“ hinaus erscheint die Einrichtung eines ämterübergreifenden Gremiums für sinnvoll, in dem auch die Politik einbezogen ist. Dies könnte z.B. in Form eines Lenkungskreises „Klimaschutz in der Bauleitplanung“ erfolgen. Dort sollten aus Sicht des Klimaschutzes unter anderem folgende Themenfelder behandelt werden:

- Beachtung klimapolitischer Belange als ein Kriterium bei der Standortwahl für Baugebiete;
- Frühzeitige Prüfung und eventuelle Ausweisung von Flächen zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien;
- Eindeutige Anforderungen an Gebäude-Energiestandard in städtebaulichen Verträgen in Anlehnung an die Formulierungen in Grundstücks-Kaufverträgen von kommunalen Liegenschaften;
- Eindeutige Festlegungen bezüglich der Energieversorgung der Gebäude in städtebaulichen Verträgen;
- Festlegungen zur Nutzung von Dachflächen für Solarenergie unter Abwägung mit anderen Belangen.

Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, die Einbeziehung des Energiereferats bei bestimmten Vorgängen zu formalisieren, wie z.B.

- bei städtebaulichen Wettbewerbsverfahren,
- bei der Ausarbeitung energierelevanter Dokumente in allen Bebauungsplanverfahren durch das Stadtplanungsamt,
- bei der Festsetzung von klimarelevanten oder energetischen Anforderungen in städtebaulichen oder Erschließungsverträgen.

Gegenüber Investoren oder Vorhabenträger sollte eine „Ein-Schalter-Politik“ gelten, so dass sie eine*n Ansprechpartner*in bei der Stadtverwaltung haben (sinnvollerweise im Planungsamt), der die Anforderungen anderer Ämter mit koordiniert.

Es wird empfohlen, ein Überprüfungsverfahren einzuführen, das die Einhaltung der in Bebauungsplänen festgelegten oder in Verträgen vereinbarten Anforderungen zu klima- und energiepolitischen Zielsetzungen gewährleistet. Vertragsstrafen sind zwar als Umsetzungsanreiz wichtig, können das Controlling aber nicht ersetzen.

Konkrete Empfehlungen für die untersuchten Gebiete

1. Baugebiet Hanauer Landstr. / westl. Launhardtstraße (ehemaliges Mercedes-Areal)

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau im Passivhaus-Standard auszuführen. Entgegen der Planung der Investoren einen Teil der Neubauten im Gebäude-Energiestandard entsprechend EnEV 2014/16 auszuführen, wird angeraten alle privaten Neubauten mindestens als KfW-Effizienzgebäude 55 auszuführen. Der mögliche Tilgungszuschuss der KfW für Wohn- und gewerblich genutzte Nichtwohngebäude fällt voraussichtlich gleich hoch oder höher aus als die erforderliche Mehrinvestition. Gleichzeitig ist der Betrieb der Gebäude mit besserem Energiestandard ökonomisch und ökologisch günstiger.
- Der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem wird seitens der Investoren angestrebt. Aus ökonomischer Sicht ist dies empfehlenswert, aus ökologischer Sicht ebenfalls, sofern die Dekarbonisierung der Fernwärme möglichst bald beginnt und bis 2050 abgeschlossen wird.
- Die (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche Nutzung der Dachflächen zur solaren Stromerzeugung mittels Photovoltaikanlagen wird empfohlen. Die Umsetzung kann ggf. durch Dritte (Contractoren, spätere Eigentümer u.ä.) erfolgen. Während der Errichtung der Gebäude kostengünstig durchzuführende vorbereitende Maßnahmen zur späteren Installation der PV-Anlagen sollten in Betracht gezogen werden.

2. Neubau Hotelgebäude am Molenkopf Osthafen

- 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 teilweise Vorteile.
- 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.
- 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.

3. Baugebiet Günthersburghöfe

- Bei der weiteren Gebäudeplanung wird dringend geraten, die Gestaltung der Wohnungsgrundrisse sowie der Fensterflächen sorgfältig auf die Besonnung und natürliche Belichtung abzustimmen.
- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzgebäude 55 ausgeführt werden.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine möglichst monovalente Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Erdwärmesonden empfohlen. Das Genehmigungsverfahren sowie die notwendige Erkundung des Baugrunds sollte frühzeitig eingeleitet werden. Zur Bereithaltung ausreichender Flächen zur Niederbringung der Erdwärmesonden sollte ein Flächennutzungskonzept für das Gebiet erarbeitet werden.
- Weiterhin wird zur (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal möglichen solarenergetischen Nutzung der Dachflächen und Fassaden geraten. Dazu kann das bereits vorliegende Dachflächen-Nutzungskonzept umgesetzt werden. In Kombination mit der Wärmeversorgung durch Erdwärme sollte der Einsatz von photovoltaisch-thermischen Hybridkollektoren in Erwägung gezogen werden.

4. Baugebiet Am Römerhof

- Bei der weiteren Gebäudeplanung wird geraten, die Gestaltung der Wohnungsgrundrisse sowie der Fensterflächen auf die Besonnung und natürliche Belichtung abzustimmen.
Die Lage und Gestaltung der Innenhofbebauung sollte auf eine möglichst geringe Verschattung durch die umliegenden Bauten abzielen.
- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzgebäude 55 ausgeführt werden.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Abwasserwärme kombiniert mit Solarwärme aus thermischen Sonnenkollektoren empfohlen.
- Es ist eine (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche solar-energetische Nutzung aller Dachflächen und Fassaden anzustreben. Zusätzlich sollten weitere Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet und dessen Umgebung identifiziert und deren Erschließung eingeleitet werden (bspw. Freiflächen in direkter Nähe zu Verkehrswegen oder Überbauungen von Park- und Verkehrsflächen).

5. Baugebiet An der Sandelmühle

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten (sowohl Mehrfamilien- als auch Reihenhäuser) sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.
- Der Anschluss des Gebiets an das Fernwärmeverbundsystem wird seitens der Investoren angestrebt. Aus ökonomischer Sicht ist dies empfehlenswert, aus ökologischer Sicht ebenfalls, sofern die Dekarbonisierung der Fernwärme möglichst bald beginnt und bis 2050 abgeschlossen wird. Effizienzsteigernde Optionen zur Reduktion der Vor- und Rücklauf-temperaturen sowie der Anschluss des Gebiets an den Rücklauf der Fernwärme sollten in Betracht gezogen werden.
- Die (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche Nutzung der Dachflächen zur Solarenergiegewinnung ist anzustreben. Zusätzlich sollten weitere Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet und dessen Umgebung identifiziert und deren Erschließung eingeleitet werden (bspw. landwirtschaftliche Flächen – Stichwort „Agro-PV“).

6. Baugebiet Nordöstlich der Anne-Frank-Siedlung

- Bei der weiteren Gebäudeplanung wird geraten, die Gestaltung der Wohnungsgrundrisse sowie der Fensterflächen sorgfältig auf die Besonnung und natürliche Belichtung abzustimmen.
- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzgebäude 55 ausgeführt werden.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine möglichst monovalente Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Erdwärmesonden empfohlen. Das Genehmigungsverfahren sowie die notwendige Erkundung des Baugrunds sollte frühzeitig eingeleitet werden. Zur Bereithaltung ausreichender Flächen zur Niederbringung der Erdwärmesonden sollte ein Flächennutzungskonzept für das Gebiet erarbeitet werden.
- Weiterhin wird zur (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal möglichen solarenergetischen Nutzung der Dachflächen und Fassaden geraten. In Kombination mit der Wärmeversorgung durch Erdwärme sollte der Einsatz von photovoltaisch-thermischen Hybridkollektoren in Erwägung gezogen werden. Zusätzlich wird empfohlen weitere Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet und dessen Umgebung zu identifizieren und deren Erschließung einzuleiten (bspw. Freiflächen in direkter Nähe zu Verkehrswegen oder Überbauungen von Park- und Verkehrsflächen).

7. Stadtumbaugebiet Griesheim-Mitte

- Zur Förderung der energetischen Gebäudesanierung sollte eine Themenkampagne zur energetischen Sanierung im Quartier entwickelt und durchgeführt sowie ein Netzwerk für Wohnungseigentümergeinschaften und Hausverwaltungen zum Thema energetische Sanierung geschaffen werden.
- Um die PV-Flächen im Quartier signifikant zu erhöhen werden verschiedene Bausteine vorgeschlagen (z.B. Werbekonzeptes für PV-Anlagen; vereinfachte, bzw. standardisierte Mieterstrommodelle; Prüfung einer kommunalen Verpflichtung zur PV-Stromerzeugung auf Dächern).
- Das ISEK sollte durch ein integriertes Quartierskonzept und Sanierungsmanagement entsprechend dem KfW-Förderprogramm 432 „Energetische Stadtsanierung“ ergänzt werden.

8. Baugebiet Südlich Am Riedsteg

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten (sowohl Mehrfamilienhäuser als auch Reihen- und Doppelhäuser) sollten aus

ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.

- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine möglichst monovalente Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Erdwärme empfohlen. Die großflächige Erschließung von landwirtschaftlichen Flächen mittels Erdwärmekollektoren („Agrothermie“) und kaltem Nahwärmenetz stellt dazu eine attraktive Möglichkeit dar. Alternativ kommt eine gebäudeweise oder teilzentrale Versorgung mit Erdwärmekollektoren oder E Speichern (insbes. für Mehrfamilienhäuser) in Frage. Es wird empfohlen, möglichst frühzeitig die Voraussetzungen zur Genehmigung der Erdwärmegewinnung im Heilquellenschutzgebiet mit der Untere Wasser- und Bodenschutzbehörde zu klären und ein Flächennutzungskonzept zur Bereithaltung ausreichender Flächen zur Erdwärmegewinnung zu erarbeiten.
- Die (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche Nutzung der Dachflächen zur Solarenergiegewinnung ist anzustreben. Abhängig von der Ausgestaltung der Wärmeerzeugung ist eine Kombination aus thermischer und photovoltaischer Solarenergiegewinnung in Betracht zu ziehen. Es wird empfohlen zusätzliche Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet oder dessen Umgebung zu identifizieren und deren Erschließung einzuleiten (bspw. landwirtschaftliche Flächen – Stichwort „Agro-PV“).

9. Baugebiet Nieder-Eschbach - Am Hollerbusch

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten (sowohl Mehrfamilienhäuser als auch Reihen- und Doppelhäuser) sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine möglichst monovalente Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Erdwärme empfohlen. Die großflächige Erschließung von landwirtschaftlichen Flächen mittels Erdwärmekollektoren („Agrothermie“) und kaltem Nahwärmenetz stellt dazu eine attraktive Möglichkeit dar. Alternativ kommt eine gebäudeweise oder teilzentrale Versorgung mit Erdwärmekollektoren oder E Speichern (insbes. für Mehrfamilienhäuser) in Frage. Es wird empfohlen, möglichst frühzeitig die Voraussetzungen zur Genehmigung der Erdwärmegewinnung im Heilquellenschutzgebiet mit der Untere Wasser- und Bodenschutzbehörde zu klären und ein Flächennutzungskonzept zur Bereithaltung ausreichender Flächen zur Erdwärmegewinnung zu erarbeiten.
- Die (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche Nutzung der Dachflächen zur Solarenergiegewinnung ist anzustreben. Abhängig von der Ausgestaltung der Wärmeerzeugung ist eine Kombination aus thermischer und elektrischer Solarenergiegewinnung in Betracht zu ziehen. Es wird empfohlen

zusätzliche Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet oder dessen Umgebung zu identifizieren und deren Erschließung einzuleiten (bspw. landwirtschaftliche Flächen – Stichwort „Agro-PV“).

10. Baugebiet Nieder-Eschbach Süd

- Es wird empfohlen den geförderten Wohnungsbau sowie öffentliche Gebäude im Passivhaus-Standard auszuführen. Alle anderen privaten Neubauten (sowohl Mehrfamilien- als auch Reihenhäuser) sollten aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mindestens als KfW-Effizienzhaus 55 ausgeführt werden.
- Aus energetischer und ökologischer Sicht wird eine möglichst monovalente Wärmeversorgung mit Wärmepumpen gespeist aus Erdwärme empfohlen. Die großflächige Erschließung von landwirtschaftlichen Flächen mittels Erdwärmekollektoren („Agrothermie“) und kaltem Nahwärmenetz stellt dazu eine attraktive Möglichkeit dar. Alternativ kommt eine gebäudeweise oder teilzentrale Versorgung mit Erdwärmekollektoren oder Eispeichern (insbes. für Mehrfamilienhäuser) in Frage. Es wird empfohlen, möglichst frühzeitig die Voraussetzungen zur Genehmigung der Erdwärmegewinnung im Heilquellenschutzgebiet mit der Untere Wasser- und Bodenschutzbehörde zu klären und ein Flächennutzungskonzept zur Bereithaltung ausreichender Flächen zur Erdwärmegewinnung zu erarbeiten.
- Die (unter Berücksichtigung anderer Belange) maximal mögliche Nutzung der Dachflächen zur Solarenergiegewinnung ist anzustreben. Abhängig von der Ausgestaltung der Wärmeerzeugung ist eine Kombination aus thermischer und elektrischer Solarenergiegewinnung in Betracht zu ziehen. Es wird empfohlen zusätzliche Flächen zur Solarstromerzeugung im Plangebiet oder dessen Umgebung zu identifizieren und deren Erschließung einzuleiten (bspw. landwirtschaftliche Flächen – Stichwort „Agro-PV“).

11. Stadterneuerungsgebiet Nied

- Zur Förderung der energetischen Gebäudesanierung sollte eine Themenkampagne zur energetischen Sanierung im Quartier entwickelt und durchgeführt sowie ein Netzwerk für Wohnungseigentümergeinschaften und Hausverwaltungen zum Thema energetische Sanierung geschaffen werden.
- Um die PV-Flächen im Quartier signifikant zu erhöhen werden verschiedene Bausteine vorgeschlagen (z.B. Werbekonzeptes für PV-Anlagen; vereinfachte, bzw. standardisierte Mieterstrommodelle; Prüfung einer kommunalen Verpflichtung zur PV-Stromerzeugung auf Dächern).
- Das ISEK sollte durch ein integriertes Quartierskonzept und Sanierungsmanagement entsprechend dem KfW-Förderprogramm 432 „Energetische Stadtsanierung“ ergänzt werden.

Klimaschutz-Controlling bei Neubaugebiete

Für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaschutz-Teilkonzepten ist ein Controlling unerlässlich. Controlling wird dabei als Steuerungs- und Koordinierungsinstrument innerhalb des Umsetzungsprozesses verstanden, das Informationen zur Entscheidungsfindung und zielgerichteten Steuerung liefert.

Vor Beginn des Controllings sind die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten im Rahmen einer angepassten Management- und Organisationsstruktur festzulegen, sowie die notwendigen personellen und finanziellen Ressourcen zu kalkulieren und bereitzustellen.

Grundlage des Controllings sind dann die Festlegung und die zeitliche Fixierung von konkreten und überprüfbaren Zielen und Detailzielen, die sich aus den Konzepten ergeben. Für die Ziele müssen repräsentative Indikatoren festgelegt werden, die eine Rückkopplung der Zielerreichung ermöglichen. Diese sollen sich nicht nur auf physikalisch prüfbare Werte beschränken, sondern den Umsetzungsstand aller durchzuführenden Maßnahmen widerspiegeln können. Darüber hinaus sollten die tatsächlich aufgewendeten Kosten (Personalaufwand, Material- und Sachmittel) im Vergleich zur Planung und im Verhältnis zum erzielten Ergebnis analysiert werden. All diese Daten sind in einem kontinuierlichen Monitoringprozess zu erfassen und zu dokumentieren.

Die Supervision oder Evaluierung des Controlling-Prozesses durch externe Expert*innen kann hilfreich sein. Ein Austausch und Vergleich mit anderen Städten ähnlicher Struktur ist empfehlenswert. Auf alle Fälle sollten die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Controlling-Prozess mit den beteiligten Akteuren geteilt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Im Rahmen der Bauleitplanung und des Planungs- und Realisierungsprozesses von Neubaugebieten sollten konkrete Ziele festgelegt werden, wie z.B. Mindestanteile von hochwertigen, energetischen Gebäudestandards, einen Mindestwert für den Autarkiegrad lokaler, erneuerbarer Energien oder einen Maximalwert für die spezifischen Treibhausgas-Emissionen je Einwohner*in. Diese können auch als Anforderungen oder Vereinbarungen in städtebaulichen Verträgen oder Grundstücks-Kaufverträgen übernommen werden.

Für die Prüfung vertraglicher Anforderungserfüllung, das Monitoring und die Beantwortung der relevanten Fragestellungen müssen entsprechende Informationen und Daten erhoben werden. Die Bereitstellung der benötigten Informationen kann z.B. bereits in den städtebaulichen Verträgen und Grundstücks-Kaufverträgen vereinbart werden. Zur Überprüfung der Zielerreichung und zur Prüfung der Wirksamkeit nachgeschalteter Maßnahmen sollte ein energetisches Monitoring eingerichtet werden. Für die Datengrundlage wird empfohlen, auf die von den Netzbetreibern erfassten Verbrauchsdaten zurückzugreifen, die aus Datenschutzgründen auf Baublockgröße (GIS-

Blöcke) mit mindestens 5 Abnehmer*innen aggregiert werden sollten. Eine entsprechende Vereinbarung mit den Netzbetreibern sollte vom Energiereferat geprüft werden.

I. ALLGEMEINER TEIL

1 Einleitung

1.1 Klimapolitische Rahmenbedingungen

Von den ersten internationalen Kongressen zum Thema Klimaschutz wurde aus zunächst unverbindlichen Zielen ein immer komplexer werdendes System internationaler, nationaler und zunehmend auch regionaler sowie kommunaler Verpflichtungen und Ziele. So hat sich Deutschland eigene ehrgeizige Klimaschutzziele gesetzt, welche über die europäischen Ziele hinausgehen und dafür eigene nationale Gesetze und Verordnungen erlassen sowie Förderungen aufgestellt, um diese Ziele zu erreichen. Das Bundesland Hessen will darüber hinaus die deutschen Ziele noch übertreffen und mit eigenen Förderungen und Vorgaben dafür sorgen, dass sowohl die nationalen als auch die für Hessen gesetzten Ziele erreicht werden.

Im Rahmen des Förderprogramms „Masterplan 100 % Klimaschutz“ fördert das Bundesumweltministerium Kommunen, die bis 2050 ihre Treibhausgasemissionen um mindestens 95 % gegenüber 1990 und den Endenergieverbrauch um 50 % senken wollen. Als eine von derzeit 41 „Masterplan-Kommunen“ hat sich die Stadt Frankfurt a. M. das Ziel gesetzt, den **Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2050 zu halbieren** und den verbleibenden Energiebedarf **vollständig durch erneuerbare Energien zu decken**.

Das Folgende gibt eine Übersicht über die internationalen sowie nationalen und regionalen Ziele im Bereich des Klimaschutzes.

1.1.1 International

Mit der Weltklimakonferenz in Paris im Jahre 2015 (COP 21) wurde auf internationaler Ebene der Weg fortgeführt, den das Kyoto-Abkommen im Jahr 1997 eingeschlagen hat. Auf der Konferenz trafen sich 196 Länder der Welt, um über die Zukunft des weltweiten Treibhausgasausstoßes zu reden und die Frage zu klären, ob und wie die Erderwärmung durch den menschengemachten Klimawandel bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf unter 2 Grad Celsius, am besten auf unter 1,5 Grad Celsius begrenzt werden kann. Als Ergebnis der Konferenz wurde das Pariser Klimaschutzabkommen vereinbart [COP21], mit dessen Unterzeichnung sich jeder Staat verpflichtet hat, seine nationalen Anstrengungen für den Klimaschutz

auszuformulieren und bekannt zu geben. Diese Nationally Determined Contributions (NDCs) reichen jedoch nach Meinung von Experten nicht aus, um das 2-Grad-Ziel zu erreichen – derzeit würden bei vollständiger Umsetzung etwa 2,9 Grad Celsius erreicht werden. Durch den Ausstieg der USA aus dem Pariser Abkommen (am 01.06.2017 zum 4. November 2020) liegt das erreichbare Niveau laut der Organisation Climate Action Tracker (CAT) bei über 3,2 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau [CAT Thermometer 2019].

1.1.2 Europäische Union

Die Europäische Union, die als Staatengemeinschaft gemeinsame Ziele eingereicht hat, erließ drei Richtlinien, in denen sie ihre Klimaschutzziele verabschiedet hat. Die ersten Fassungen der Richtlinien galten bis 2020, derzeit werden die Richtlinien im Rahmen des Gesetzespaketes „Saubere Energie für alle Europäer“ neu verfasst, um den Zeitraum 2021–2030 abzudecken. Im Zuge dessen wurden einige Ziele überprüft und verschärft.

Die Neufassung der Energieeffizienzrichtlinie (EED) steigert das Ziel der Energieeffizienz für das Jahr 2030 von 27 % auf 32,5 %. Dazu wurde festgelegt, dass die Mitgliedstaaten eine reale Einsparung von 0,8 % pro Jahr erreichen müssen, nicht nur wie bisher lediglich Maßnahmen für Einsparungen definieren [EnergiewendeDirekt 2018].

Die Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) ist am 24. Dezember 2018 in Kraft getreten und erhöht das angestrebte Ziel für den Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch. Im Jahr 2030 soll der Anteil nun bei 32 % liegen, anstatt wie bisher bei 27 % [Richtlinie 2018/2001/EU].

Für die Reduktion der Treibhausgasemissionen gelten derzeit weiterhin die bisherigen Ziele. Bis zum Jahr 2030 sollen die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 % reduziert werden, bis zum Jahr 2050 soll eine Reduktion von 80–95 % erreicht werden.

Für den Gebäudebereich gibt die EU in ihrer Gebäudeenergie-Richtlinie 2010/31/EU vor, dass alle neuen Gebäude der öffentlichen Hand ab dem Jahr 2019 als Niedrigstenergiegebäude errichtet werden müssen. Ab 2021 wird diese Vorgabe auf alle anderen Neubauten ausgedehnt. Eine genaue Definition des Niedrigstenergiegebäude-Standards soll von den Mitgliedsstaaten selbst erfolgen [Richtlinie 2010/31/EU]. Die Umsetzung erfolgt in Deutschland mit dem Gebäude-Energie-Gesetz.

1.1.3 Bundesrepublik Deutschland

Als Mitglied der EU ist Deutschland verpflichtet, die Vorgaben der EU in nationale Vorgaben umzuwandeln. Deutschland geht jedoch in vielen Punkten noch darüber hinaus.

In ihrem Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung aus dem Jahr 2010 [Energiekonzept 2010] setzt sich die Bundesregierung das Ziel einer zukunftsfähigen Energieversorgung und beschließt eine langfristige Strategie.

Als Maß des effizienteren Umgangs mit Energieressourcen wird der Begriff der Energieproduktivität gewählt. Darunter versteht sich das Verhältnis von Bruttoinlandsprodukt und Energieverbrauch. Seit 1990 wurde dabei eine Steigerung der Energieproduktivität von über 60 % erreicht. Bis 2050 soll jedes Jahr eine weitere Steigerung von 2,1 % dazukommen [Energiekonzept 2010].

Bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen geht Deutschland über das EU-Ziel hinaus und hat sich für das Jahr 2030 eine Reduktion von 55 % bezogen auf das Jahr 1990 vorgenommen. Bis zum Jahr 2050 sollen 80–95 % Reduktion erreicht werden. Die deutsche Klimaschutzpolitik orientiert sich am Leitbild einer weitgehenden Treibhausgasneutralität bis 2050 [Klimaschutzplan 2050].

Für den Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch wird ein Ziel von 30 % bis zum Jahr 2030 genannt. Im Jahr 2050 sollen es 60 % sein [Klimaschutzplan 2050].

Um die Effizienz der Heizanlagen in Gebäuden zu erhöhen und den Energieverbrauch des Gebäudesektors zu senken, wurden die bestehenden Instrumente stetig weiterentwickelt:

Der gesetzliche Gebäude-Energiestandard ist bisher durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) geregelt. Die Anforderungen der derzeit gültigen EnEV 2014 wurden zuletzt im Jahr 2016 verschärft. Künftig soll beides abgelöst und im neuen Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) vereint werden. Hier wird auch die von der EU geforderte Definition des Niedrigstenergiegebäude-Standards erfolgen. Mit der Einführung des GEG wird (Stand November 2019) davon ausgegangen, dass die derzeit gültigen Anforderungen beibehalten werden [GEG Entwurf 2019].

Im Bereich der Mobilität setzt die Bundesregierung auf elektrische Antriebe mit dem Ziel, bis zum Jahr 2030 6 Millionen elektrische betriebene Fahrzeuge auf den Straßen zu haben [Elektromobilität 2011]. Zudem soll die Ladeinfrastruktur weiter ausgebaut und durch Marktanreizprogramme gefördert werden [Förderrichtlinie 2017].

1.1.4 Land Hessen

Um kurz- und mittelfristige Ziele zu formulieren, hat das Land Hessen den integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025 beschlossen [iKSP 2017]. Darin bekräftigt Hessen seine Einsatzbereitschaft, die europäischen sowie deutschen Ziele zu erfüllen und übertrifft diese in einigen Punkten noch. Anders als die anderen genannten Ebenen vertritt Hessen nicht nur quantitative Ziele, sondern nimmt sich auch qualitative Ziele, wie das Ziel der Klimaanpassung, vor.

Das Land unterstützt diverse Initiativen, wie zum Beispiel das Bündnis Hessen aktiv: die Klima-Kommunen (ehemals: 100 Kommunen für den Klimaschutz), das Kommunen bei der Umsetzung von Projekten und Maßnahmen unterstützt [iKSP 2017].

Im Bereich der Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 setzt sich Hessen eine kürzere Zeitspanne und möchte bis zum Jahr 2025 eine Reduktion von 40 % erreichen. Für das Jahr 2050 übertrifft es die europäischen und deutschen Ziele und möchte mindestens eine Reduktion von 90 % erreichen und damit nahezu klimaneutral werden [iKSP 2017].

1.1.5 Klimaschutz in Frankfurt am Main

Der Magistrat der Stadt Frankfurt a. M. hat sich bereits früh dem Thema Klimaschutz angenommen. Bereits 1983 wurde das Energiebüro im Hochbauamt Frankfurt gegründet, um eine zentrale Stelle für das Thema Energie und Wasser in städtischen Gebäuden zu haben. 1990 wurde daraus die Abteilung Energiemanagement für städtische Gebäude. Mit der Mitbegründung und dem Beitritt in das „Klimabündnis der Europäischen Städte mit den Völkern Amazoniens“ im Jahr 1990 beteiligt sich Frankfurt auch an internationalen Klimaschutzaktivitäten. Ziel des Bündnisses ist die internationale Vernetzung zur Förderung indigener Völker und Reduzierung aller treibhausrelevanter Gase im kommunalen Bereich [Klimabündnis 2014].

2012 folgte der Beschluss, am Bundesprogramm „Masterplan 100 % Klimaschutz“ teilzunehmen und sich damit ehrgeizige Ziele bis zum Jahre 2050 zu setzen.

Dank der steten Bemühungen und Weiterentwicklung im Bereich Klimaschutz konnte in Frankfurt von 1987 bis 2010 bereits eine Senkung der Treibhausgasemissionen 15 % erreicht werden. In den letzten Jahren wurde Frankfurt für seine Bemühungen und weiteren Ambitionen mit zahlreichen Preisen geehrt und im Jahr 2015 von ARCADIS zur international „nachhaltigsten Stadt“ gekürt – noch vor London und Kopenhagen. Die führende globale Planungs- und Beratungsgesellschaft für „natural and built assets“ – ARCADIS – erstellt jährlich den Sustainable Cities Index, um das nachhaltige Handeln von 50 Städten in 31 Ländern weltweit zu bewerten [ARCADIS 2015].

Als eine von derzeit 41 „Masterplan-Kommunen“ (Stand November 2019) hat sich die Stadt Frankfurt a. M. das Ziel gesetzt, ihren Endenergieverbrauch im Verhältnis zum Jahr 2010 bis zum Jahr 2050 zu halbieren. Der verbleibende Energiebedarf soll vollständig durch Erneuerbare Energien gedeckt werden, sodass eine Treibhausgasemissionsminderung von 95 % erreicht wird. Das für die Stadt Frankfurt erstellte Generalkonzept „Masterplan 100 % Klimaschutz“ aus dem Jahr 2015 zeigt, wie diese Ziele erreicht werden können [IBP 05/2015].

Grundlage dieses Ziels ist eine Steigerung der Effizienz und eine damit verbundene Einsparung an Energie bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 2010 von 50 % [IBP 05/2015].

Außerdem sollen die CO₂-Emissionen alle 5 Jahre um 10 % reduziert werden, sodass von bis 2030 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % (gegenüber 1990) ermöglicht wird. Zusammen mit der Umstellung von fossilen Energieträgern auf zunehmend erneuerbare Energieträger soll damit im Jahr 2050 eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 95 % erreicht werden.

Im Jahr 2050 soll die Umstellung auf erneuerbare Energien vollendet sein, sodass der noch verbleibende Energiebedarf zu 100 % durch erneuerbare Energien abgedeckt wird. Die eine Hälfte davon soll aus lokalen, die andere aus regionalen erneuerbaren Quellen kommen.

Um eine Einsparung des Energiebedarfs von 50 % im Gebäudesektor zu erreichen, macht die Stadt Frankfurt Vorgaben bezüglich der Energieeffizienz von neuen Gebäuden. Nach dem Magistratsbeschluss „Bausteine für den Klimaschutz“ gelten diese Vorgaben für alle neuen städtischen Gebäude oder Gebäude anderer Investoren, die auf städtischen Grundstücken erbaut werden [Beschluss § 2443, 2007].

Der angestrebte Energiestandard ist das Passivhaus (PH) des Passivhaus-Instituts und damit ein Heizwärmebedarf von kleiner/gleich 15 kWh/m². Aus nachgewiesenen wirtschaftlichen Gründen darf davon abgewichen werden, in dem Fall gilt die Vorgabe des Heizwärmebedarfs von 30 % kleiner als der Heizwärmebedarf des jeweiligen EnEV-Referenzgebäudes.

Sollten die Investoren der Gebäude städtische Fördermittel für ihre Vorhaben erhalten wollen, gelten hingegen andere Vorgaben: Für alle Förderprogramme gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn das Gebäude als Passivhaus oder als Effizienzhaus Plus nach Vorgaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) errichtet wird.

Im Förderprogramm zur sozialen Mietwohnungsbauförderung [SozWhgBau 2016] gibt es zusätzlich die Option des Frankfurter Aktivhauses mit folgenden Voraussetzungen:

- Das Gebäude darf mit den Passivhausanforderungen an Primärenergiebedarf und Luftdichtheit und einem geänderten Heizwärmebedarf von bis zu 30 kWh/m²a. errichtet werden, falls gilt:
 - Heizwärme (HW) + Trinkwarmwasserwärme (TWW) aus dem Rücklauf einer Fernwärme (FW) mit einem Primärenergiefaktor (f_p) von unter 0,3 oder
 - PV mit Eigenverbrauchsanteil > 50 % und einem Jahresertrag vom 2-fachen der Differenz des tatsächlich gebauten Standards zum Passivhausstandard (15 kWh/m²a) oder
 - HW + TWW erzeugt durch eine Wärmepumpe (WP) mit COP > 3,5 (Coefficient Of Performance = Leistungszahl).

Im Förderprogramm für den Neubau von bezahlbaren Mietwohnungen [MietWhgBau 2017] gibt es ebenfalls die Option des Frankfurter Aktivhauses mit folgenden abgeänderten Voraussetzungen:

- Das Gebäude darf mit den Passivhausanforderungen an Primärenergiebedarf und Luftdichtheit und einem geänderten Heizwärmebedarf von bis zu 30 kWh/m²a. errichtet werden, falls gilt:
 - HW + TWW vorwiegend aus Rücklauf FW mit $f_p = 0,65$ (dabei darf TWW aus Vorlauf kommen, falls Rücklauf zu kalt) oder
 - PV mit Eigenverbrauchsanteil > 50 % und Jahresertrag vom 2-fachen der Differenz des tatsächlich gebauten Standards zum Passivhausstandard (15 kWh/m²a) in Verbindung mit einer WP mit einem COP-Wert gemäß europäischem Umweltzeichen „Euroblume“.

Im Neubau soll zudem eine Solardachpflicht eingeführt werden. Diese soll sich über Grundstückskaufverträge der Stadt, städtebauliche Verträge und Bebauungspläne erstrecken. Hierbei soll eine Installation einer Photovoltaikanlage verpflichtend sein, soweit keine Solarthermieanlage die Pflichten des EEWärmeG vollständig erfüllt [Beschluss §3760, 2019].

Im Bereich der Mobilität gibt Frankfurt anders als die Bundesrepublik keine absoluten Zahlen als Ziel an. Stattdessen soll bis zum Jahr 2025 10 % des automobilen Verkehrsaufkommens elektrisch sein. Für den Bereich innerhalb des Frankfurter Anlagenrings setzt sich die Stadt sogar das Ziel, in 2025 bereits 50 % des gesamten Verkehrsaufkommens lärm- und emissionsarm zu gestalten [Green City 2016].

1.2 Aufgabenstellung

Die Stadt Frankfurt am Main hat sich im Rahmen des Masterplanes „100 % Klimaschutz“ das Ziel gesetzt, den verbleibenden Endenergiebedarf im Jahre 2050 ausschließlich mit erneuerbaren Energien zu decken. Klimaschutzteilkonzepte für integrierte Wärmenutzung und erneuerbare Energien sollen helfen, für Baugebiete in Frankfurt Lösungen zur Versorgung mit erneuerbaren Energien und/oder Abwärme zu finden, die zu annähernd gleichen Kosten wie eine konventionelle Wärmeversorgung umgesetzt werden können.

Das Energiereferat der Stadt Frankfurt am Main hat im Dezember 2017 die ebök Planung und Entwicklung GmbH mit der Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten für 11 Baugebiete beauftragt. Die Konzepte sollen als Blaupause für künftige Baugebiete sowie für Sanierungsgebiete dienen und in das allgemeine Energiekonzept der Stadt Frankfurt am Main eingebunden werden. Ziel ist es – unter Berücksichtigung möglicher Energieeffizienzmaßnahmen bei den geplanten bzw. bestehenden Gebäuden und Einrichtungen – ein Konzept zur Entscheidungsfindung zu erstellen, um eine nachhaltige Sicherung einer umweltverträglichen und wirtschaftlichen Energieversorgung zu erreichen.

1.3 Vorgehensweise und Berichtsstruktur

Die Erarbeitung der Klimaschutzteilkonzepte teilt sich in vier Teile auf:

- einen allgemeinen Teil,
- einen auf die jeweiligen Baugebiete bezogenen Teil,
- einen Teil zur Kommunikationsstrategie und Öffentlichkeitsarbeit sowie
- einen Abschnitt über die Einordnung in die Frankfurter Klimaschutzstrategie und die Erfolgskontrolle

Der allgemeine Teil umfasst die Erarbeitung von Grundlagen in Form von Berechnungsparametern, eine Analyse der energetischen Versorgungsstrukturen im Stadtgebiet Frankfurt, die Ermittlung lokal und regional verfügbarer Potentiale an erneuerbarer Energie und die Beschreibung geeigneter Technologien zu deren Erschließung.

Der zweite Teil gliedert sich in die Bearbeitung der einzelnen Untersuchungsgebiete und beinhaltet die Beschreibung der Gebiete, der spezifischen Aufgabenstellungen und der beteiligten Akteure, die Analyse der spezifischen städtebaulichen Strukturen und energetischen Potentiale sowie die Darstellung eines Maßnahmenkatalogs mit Zielformulierungen, der Energie- und Treibhausgas-Bilanzen und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Die Analyse basiert auf der Abschätzung des benötigten Energiebedarfs für Wärme, Kälte und Strom für die Gebäudenutzung sowie des Strombedarfs für Elektromobilität im Quartier. Bei der Erstellung der Energiebedarfsprognosen werden drei verschiedene Gebäude-Energiestandards berücksichtigt: der derzeit geltende gesetzliche Mindeststandard nach EnEV 2014 [EnEV 2014], der Passivhaus-Standard nach den Richtlinien des Passivhaus-Instituts Darmstadt [PHI-Kriterien 2016] und der Standard nach den KfW-Förderrichtlinien für Effizienzhäuser 55 [KfW-153 2018].

Als Referenz für den Vergleich mit den vorgeschlagenen zentralen Wärmeversorgungssystemen sowie mit möglichen dezentralen Systemen wird eine Erdgasheizung mit Brennwertkessel verwendet.

Szenarien und Bilanzen verdeutlichen die Entwicklung des Primärenergieeinsatzes, der Treibhausgasemissionen und des Anteils erneuerbarer Energien an der Energieversorgung vor und nach Umsetzung der erarbeiteten energetischen Maßnahmen.

Lokale Akteure nehmen großen Anteil an der Umsetzung von Maßnahmen in einem Gebiet. Ein Beteiligungskonzept für den Umgang mit den wichtigsten Akteuren in den einzelnen Gebieten soll deren Beteiligung am Planungsprozess ermöglichen. Dabei werden insbesondere bestehende Hemmnisse und Umsetzungsstrategien diskutiert. Neben direkter Beteiligung soll auch eine Sensibilisierung und Aktivierung der Öffentlichkeit erreicht werden. Im dritten Teil des Berichts wird das Beteiligungskonzept beschrieben, die Einbindung der Akteure dokumentiert, die identifizierten Hemmnisse und entwickelten Umsetzungsstrategien dargestellt sowie die Kommunikationsstrategie und Öffentlichkeitsarbeit dokumentiert.

Der vierte Teil befasst sich mit der Integration der Ergebnisse in das allgemeine Energiekonzept der Stadt Frankfurt am Main und unterbreitet Vorschläge für die Erfolgskontrolle bei der Umsetzung der Konzepte.

2 Grundlagen

2.1 Parameter für die ökologische Bewertung

Die ökologische Bewertung unterschiedlicher Energieversorgungskonzepte erfolgt anhand der Indikatoren Primärenergiebedarf als Maß für den Ressourcenverbrauch und Treibhausgas(THG)-Emissionen als Maß für die Klimarelevanz. Zusätzlich wird jeweils der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergiebedarf angegeben.

2.1.1 Primärenergiefaktoren

Als **Primärenergie** bezeichnet man Energie in ihrer ursprünglichen Form als Energiequelle (Erdöl oder Erdgas im Boden, Holz im Wald etc.). Im Verhältnis zur Endenergie enthält sie zusätzlich alle Energieaufwendungen, die für die Förderung, Erzeugung, Umwandlung und den Transport bis zum Verbraucher benötigt wird.

In diesem Bericht wird als Primärenergiefaktor der nicht erneuerbare Anteil der Primärenergie je Energieträger angesetzt. Die Faktoren beziehen sich auf die dem Bilanzraum zugeführte Endenergie (Bezug auf H_i bei Brennstoffen). Es werden die Werte entsprechend der Tabelle A.1 aus der DIN V 18599 Teil 1 vom Oktober 2016 [DIN V 18599 1-10:2016] verwendet.

Tab. 1: Primärenergiefaktoren ausgewählter Energieträgern nach [DIN V 18599 1-10:2016]

Energieträger	Primärenergiefaktoren f_P	
	insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
dem Bilanzraum zugeführte Endenergie		
Fossile Brennstoffe (Heizöl, Erdgas...)	1,1	1,1
Biogene Brennstoffe (Biogas, Bioöl)	1,5	0,5
Biogene Brennstoffe (Holz)	1,2	0,2
Strom (allgemeiner Strommix)	2,8	1,8
innerhalb der Bilanzgrenzen nutzbar gemachte Endenergie		
Umweltenergie (Wärme, Kälte, Strom)	1,0	0,0
Abwärme (aus Prozessen)	1,0	0,0
aus dem Bilanzraum abgeführte Endenergie		
Verdrängungsstrommix für KWK	2,8	2,8
Verdrängungsstrommix für PV, WEA	2,8	1,8
Abwärme (aus Prozessen)	1,0	0,0

Die Fernwärmeversorgung in Frankfurt a. M. wird durch die Mainova AG sichergestellt. Die Fernwärme der Mainova hat einen vom Institut für Energietechnik der Technischen Universität Dresden zertifizierten Primärenergie-Faktor $f_{P,ne}$ von 0,29.

2.1.2 Treibhausgas-Emissionen

Treibhausgase (THG) sind Gase aus natürlichen oder anthropogenen Quellen, die zum Treibhauseffekt der Erdatmosphäre beitragen und somit einen Einfluss auf die Entwicklung des Klimas haben. Wichtigste THG sind Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid (CO₂). Es gibt aber noch zahlreiche andere THG (z. B. Methan, Lachgas etc.), die zum Teil eine deutlich höhere Klimawirksamkeit haben als z. B. CO₂. Um die Klimawirksamkeit der THG zusammenfassen und bewerten zu können, wird die Klimawirksamkeit eines jeden THG in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Dabei entspricht das **CO₂-Äquivalent** eines THG der Menge an CO₂, die die gleiche Klimawirksamkeit hat. THG-Faktoren stellen das Verhältnis zwischen emittierten CO₂-Äquivalenten und genutzter Endenergie dar. Sie beziehen sich bei Brennstoffen auf den Heizwert (H_i).

In der vorliegenden Studie werden für die wärmebasierte Endenergie die Emissionsfaktoren nach der CO₂-Bilanzierungssystematik der Stadt Frankfurt a. M., Stand Dezember 2017 verwendet [EnRef FfM 2017]. Davon abweichend wird für die Fernwärme der Mainova AG ein THG-Emissionsfaktor von 0,170 t/MWh verwendet.

Tab. 2: THG-Emissionsfaktoren für Endenergie Wärme in CO₂-Äquivalenten nach [EnRef FfM 2017]

Energieträger	Faktor [t/MWh]	Quelle	Prozessbezeichnung / Bemerkung
Erdgas	0,250	Gemis 4.94	Gas Heizung Brennwert DE (Endenergie)
Heizöl	0,320	Gemis 4.94	Öl-Heizung DE (Endenergie)
Biomasse	0,027	Gemis 4.94	Holz Pellet Holzwirt. Heizung 10kW (Endenergie)
Flüssiggas	0,267	Gemis 4.94	Flüssiggasheizung-DE (Endenergie)
Steinkohle	0,444	Gemis 4.94	Kohle Brikett Heizung DE (Endenergie)
Braunkohle	0,439	Gemis 4.94	Braunkohle Brikett Heizung DE (Mix Lausitz/rheinisch)
Solarthermie	0,025	Gemis 4.94	Solarkollektor Flach DE
Fernwärme in Frankfurt a.M.	0,170	Angaben Mainova	abweichend zu CO ₂ -Bilanzierungssystematik
Sonstige erneuerbare Energieträger	0,025	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar
Sonstige konventionelle Energieträger	0,330	ifeu (Annahme)	individuell veränderbar

Als THG-Emissionsfaktor für Strom aus dem deutschen Stromnetz (Bundesmix) wird der Wert aus dem ifeu-Strommaster für 2016 von 0,581 t/MWh verwendet. Ein aktuellerer Wert lag bis zur Endredaktion des Berichts nicht vor.

Für Strom aus lokalen PV-Anlagen, der direkt vor Ort genutzt wird und nicht in das öffentliche Netz eingespeist wird, wird ein CO₂-Äquivalent von 0,049 t/MWh³ verwendet.

Ein Nachweis über die spezifischen CO₂-Emissionen der Fernwärme der Mainova AG ist nicht verfügbar. Im Nachhaltigkeitsbericht 2016 von Mainova wird ein Wert von

³ Für polykristalline PV-Module nach [Gemis 4.95] mit Zeitbezug 2010

0,170 t CO₂/MWh angegeben. Dieser Wert wird in der vorliegenden Studie verwendet.

2.1.3 THG-Emissionen-Faktoren für Szenarien

Der Emissions-Faktor für Strom aus dem öffentlichen Stromnetz ändert sich entsprechend dem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung und der Zusammensetzung der Erzeugungsparks. Für die Erstellung von Szenarien müssen deshalb Annahmen für die zukünftige Entwicklung getroffen werden. Als Emissions-Faktoren für Strom werden vorläufig die Werte für die CO₂-Äquivalente aus der im Masterplan „100 % Klimaschutz“ verwendeten Zeitreihe angesetzt.

Tab. 3: Annahmen zu zukünftigen THG-Emissionsfaktoren für Endenergie Strom aus dem lokalen Stromnetz mit deutschem Kraftwerksmix inklusive Netzverluste in CO₂-Äquivalenten nach [IBP 05/2015]

Jahr	Faktor [t/MWh]	Quelle
2020	0,412	ifeu 2015
2030	0,222	ifeu 2015
2040	0,138	ifeu 2015
2050	0,030	ifeu 2015

Ähnlich wie beim Strom aus dem Stromnetz muss der THG-Emissionsfaktor der Fernwärme kontinuierlich verbessert werden. Die AGFW hat in ihrer Studie „Die 40/40-Strategie – Unser Konzept für die Energiewende“ für 2050 einen Zielwert für eine weitgehend dekarbonisierte Fernwärme im Großstadtszenario errechnet, mit dem die Klimaziele erreicht werden könnten. Im vorliegenden Bericht wird dieser Wert als Zielwert 2050 für die Fernwärme in Frankfurt verwendet und die Zwischenwerte für 2030 und 2040 linear zwischen diesem Wert und dem aktuellen Wert von 0,170 t CO₂/MWh interpoliert.

Tab. 4: Annahmen zu zukünftigen THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme aus dem Netz der Mainova AG in CO₂-Äquivalenten

Jahr	Faktor [t/MWh]	Quelle	Bemerkungen
2020	0,170	Mainova AG	Angaben Mainova für 2018
2030	0,119	Vorschlag ebök	lineare Interpolation zwischen 2020 und 2050
2040	0,069	Vorschlag ebök	lineare Interpolation zwischen 2020 und 2050
2050	0,018	AGFW 2018	nach 40/40-Strategie Szenario Großstadt / Dekarbonisierung

2.2 Kriterien für die energetische Bewertung von städtebaulichen Entwürfen

2.2.1 Kompaktheit der Baukörper

Kennzeichnend für die Kompaktheit von Gebäuden ist das **Außenflächen-Volumen-Verhältnis** (A/V-Verhältnis). Aufgrund des Bezugs der Energieeinsparverordnung (EnEV) auf ein Referenzgebäude mit derselben Geometrie erfordert der EnEV-Nachweis keine Optimierung des A/V-Verhältnisses. Gleichwohl benötigen gleich große Gebäude mit kleinerer Oberfläche bei gleicher Hüllqualität weniger Heizwärme als Gebäude mit ungünstigerem A/V-Verhältnis. Gute Kompaktheit wirkt sich nicht nur positiv auf den Energiebedarf, sondern außerdem auf Bau- und Unterhaltskosten aus.

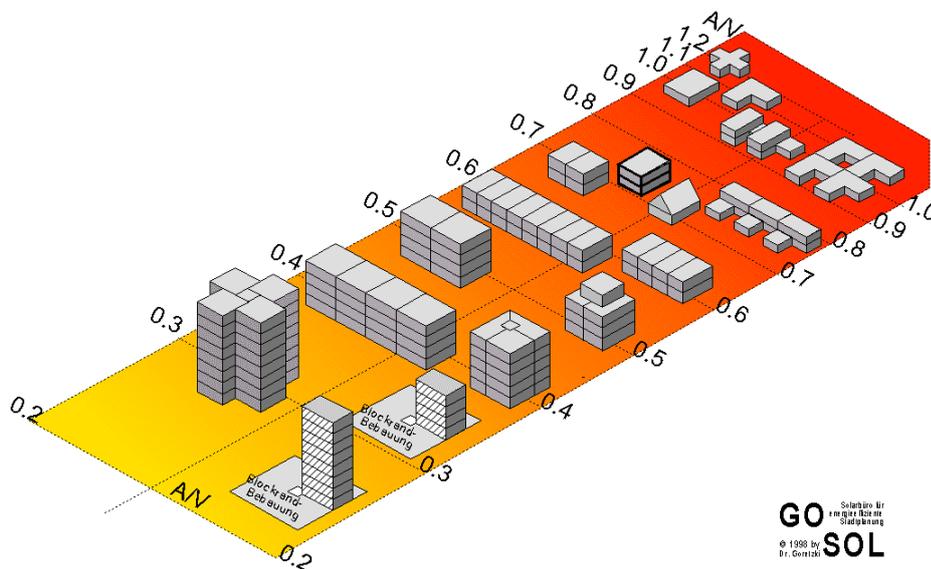


Abb. 4: Beispiele für das Außenflächen-Volumen-Verhältnis verschiedener Baukörper, Quelle: Institut für solare Stadtplanung Dr.-Ing. Peter Goretzki.

2.2.2 Passive Solarnutzung während Heizperiode

Bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs wird ein Teil der Wärmeverluste durch Solareinstrahlung über die Fenster kompensiert. Die Einstrahlungsgewinne hängen im Wesentlichen von der Ausrichtung der Hauptfassade⁴, der Verschattungssituation und der Fensterfläche und -qualität ab.

Im solar orientierten Städtebau ist daher eine **klare Präferenz für weitgehend südorientierte Gebäude** vorhanden, um möglichst allen Wohnungen die optimale

⁴ Als Hauptfassade wird hier die Fassade mit dem höchsten Fensterflächenanteil bezeichnet.

Nutzung der passiven Solargewinne zu ermöglichen. Je höher der energetische Standard eines Gebäudes (d.h. je größer der Einfluss der solaren Gewinne auf die Energiebilanz), umso stärker ist der Einfluss der Orientierung. Für Passivhäuser ist vor allem bei Einfamilienhäusern die optimale Orientierung unverzichtbar, mit zunehmender Größe und Kompaktheit des Baukörpers nimmt die Bedeutung ab.

Eine **Minimierung der gegenseitigen Verschattung** der Gebäude ist sinnvoll, vollständige Verschattungsfreiheit ist vor allem bei dichten Bebauungsstrukturen nicht möglich.

Laubabwerfende Bäume mit einer kurzen Belaubungszeit sind gut geeignet, die winterliche Verschattung gering zu halten. In der Übergangszeit (März / September) lässt sich durch solare Gewinne die Heizperiode massiv verkürzen, was die Jahresbilanz des Gebäudes entscheidend verbessert. Hocheffizienzgebäude haben in der Regel eine auf ca. drei bis vier Monate verkürzte Heizperiode.

Beim solaren Städtebau sollte die Hauptfassade von Wohngebäuden nach Süden ($\pm 30^\circ$) orientiert und der mittlere Verschattungsfaktor der Fenster (Eigenverschattung und Umgebungsverschattung) während des Winterhalbjahrs kleiner als 25% sein.

2.2.3 Besonnungsdauer im Winter

Vor allem für Wohnräume ist ein Mindestmaß an Besonnung ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Die [DIN EN 17037:2019] beschreibt Kriterien und nennt Empfehlungen für die Besonnungsdauer von Räumen. Die Norm erschien im März 2019. Die vorliegende Untersuchung stützte sich noch auf die [DIN 5034-1:2011]. Diese regelt die Mindestanforderungen an die Besonnungsdauer im Winter. Diese ist als wohnhygienische Mindestanforderung zu sehen und stellt somit eine Minimalanforderung dar. Eine Wohnung gilt nach der Norm als ausreichend besonnt, wenn die Besonnungsdauer zumindest eines Aufenthaltsraums der Wohnung **am 17. Januar mindestens eine Stunde** beträgt.

Um im Geschosswohnungsbau auch im Kernwinter eine Besonnung der Erdgeschosse zu erreichen, wären sehr große Gebäudeabstände nötig. Diese sind in der Praxis kaum zu erreichen und stehen auch im Widerspruch zum flächensparenden, verdichteten Bauen. Bei einer Blockrandbebauung gibt es zwangsläufig im Blockinnenbereich an den Gebäudeecken unvermeidbare Verschattungspunkte.

2.2.4 Grundrisstypen für Wohnungen

Passive Solarnutzung und Besonnungsdauer von Wohnungen im Geschosswohnungsbau sind immer auch im Zusammenhang mit den Wohnungsgrundrissen und -orientierungen zu sehen. Diese sind im städtebaulichen Entwurf noch nicht bekannt und können deshalb im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt

werden. Bei der weiteren Ausgestaltung und Planung der einzelnen Gebäude sollten jedoch folgende Prinzipien berücksichtigt werden:

- Zwei- oder dreiseitig belichtete Wohnungen haben i.d.R. eine bessere Besonnung und mehr Möglichkeiten zur passiven Solarnutzung als einseitig orientierte Wohnungen.
- Insbesondere Durchwohnen (Wohnungen mit Fenstern an zwei gegenüberliegenden Fassaden) haben Vorteile beim Schutz vor Überhitzung im Sommer. Sie haben i.d.R. kühlere Räume auf der nicht sonnenbeschienenen Fassadenseite und können nachts durch effektives Querlüften besser gekühlt werden.
- Einseitig orientierte Wohnungen sollten nicht nach Norden orientiert sein oder an stark verschatteten Fassaden liegen.

2.2.5 Sommerlicher Außenkomfort

In Zeiten des Klimawandels und steigenden Temperaturen gewinnt die Berücksichtigung des sommerlichen Außenklimas in Siedlungen und Stadtquartieren zunehmend an Bedeutung. Bereits in der Stadtplanung sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, die das sommerliche Außenklima lokal positiv beeinflussen. Hierzu gehören u.a.:

- großzügiger Einsatz von Bepflanzung und Grünflächen im Quartier;
- Dachbegrünungen vorsehen oder fördern;
- vor allem auf Plätzen Verschattungszonen durch Bepflanzung oder architektonische Elemente schaffen;
- sinnvollen Einsatz von Wasser planen (Brunnen, Teiche, Verdunstungsbereiche durch Wassersprüher oder befeuchtete Oberflächen...);
- dunkle und stark absorbierende Oberflächen im Außenbereich vermeiden;
- die geplante Bebauung anhand der sommerlichen Windrichtungen auf eine gute Luftdurchströmung im Sommer prüfen.

2.3 Bewertung der Auswirkungen auf die kommunale Wertschöpfung

2.3.1 Erläuterung der Methodik

Unter dem Begriff kommunale Wertschöpfung wird die Schaffung von ökonomischem Mehrwert innerhalb einer Kommune durch Investitionen in diese Kommune verstanden.

Die kommunale Wertschöpfung im Zusammenhang dieser Arbeit beschreibt, wie viel der Investitions- und Betriebskosten der vorgeschlagenen Maßnahmen der Region zugutekommt. Errechnet wird sie aus den erzielten Gewinnen (nach Steuer) der an den Maßnahmen beteiligten Unternehmen, den Steuerzahlungen an die Kommune, sowie den Nettoeinkommen der beteiligten Beschäftigten innerhalb der Kommune.

Es soll damit der unterschiedliche Einfluss einer nachhaltigen regionalen Versorgung der Gebiete gegenüber einer herkömmlichen Versorgung auf die kommunale Wertschöpfung untersucht werden. Dazu werden unterschiedliche Maßnahmen- bzw. Versorgungsvarianten in den Untersuchungsgebieten miteinander verglichen.



Abb. 5: Wertschöpfungskette kommunaler Wertschöpfung; [iöw 2010]

Der Einfluss einer angesetzten Maßnahmenvariante auf die kommunale Wertschöpfung kann als Geldsumme in Euro angegeben werden. Dies ist der Teil der Investitionssumme, welcher über die oben genannten und in Abb. 5 dargestellten Wege in der Kommune verbleiben. Der Rest der Investitionssumme fließt in die überregionalen Bereiche Land, Bund und Ausland ab. Dazu kommt der Einfluss auf die Beschäftigung in der Kommune. Werden Maßnahmen gewählt, welche vornehmlich von regionalen Betrieben durchgeführt werden können, werden dadurch Arbeitsplätze in der Region erhalten oder geschaffen. Dieser Einfluss kann in Arbeitsplatzäquivalenten angegeben werden.

Die Investition und der Betrieb einer Maßnahme generieren zunächst einen Umsatz. Je nachdem wie viele der an der Maßnahme beteiligten Unternehmen aus der Kommune kommen, verbleibt ein unterschiedlich hoher Anteil des Umsatzes in der Kommune (siehe Tab. 5). Von dem kommunalen Umsatzanteil fließen daraufhin diverse Steuerabgaben ab (vgl. Abb. 5 und siehe Tab. 6). Zum Schluss verbleiben davon in der Kommune: der kommunale Anteil der Gewerbesteuer der beteiligten Unternehmen, der kommunale Anteil der Einkommenssteuer der Beschäftigten in diesen Unternehmen, die Gewinne nach Steuern der beteiligten Unternehmen sowie das Nettoeinkommen der Beschäftigten dieser Unternehmen.

Für die Betrachtung der kommunalen Wertschöpfung wird zwischen der einmaligen Investition und den laufenden jährlichen Betriebskosten unterschieden. Eine einmalige Investition hat lediglich einen einmaligen Effekt auf die kommunale Wertschöpfung, während die jährlichen Betriebskosten einen Langzeiteffekt bewirken.

Das Ziel dieser Betrachtung ist es, zu zeigen, dass unterschiedliche Maßnahmenvarianten im gleichen Untersuchungsgebietes, unterschiedlich hohen Einfluss auf die lokale Wertschöpfung haben. Diese Differenz kann als zusätzliches Kriterium für die Bewertung einer Maßnahme dienen.

2.3.2 Darstellung der verwendeten Randbedingungen und Parameter

2.3.2.1 Randbedingungen für den kommunalen Umsatzanteil an den Investitionskosten im energetischen Bereich

In der nachfolgenden Tab. 5 wird eingeteilt in Maßnahmengruppen der kommunale Umsatzanteil an den Investitionen und den Betriebskosten dargestellt.

Bei einer Maßnahmengruppe mit hohem kommunalem Anteil bei den Investitionskosten wird davon ausgegangen, dass ein Großteil der anfallenden Arbeiten in dieser Maßnahmengruppe von lokal ansässigen Unternehmen durchgeführt wird und auch die dafür benötigten Komponenten größtenteils lokal bezogen werden.

Tab. 5: Kommunaler Anteil Investitions- und Betriebskosten von Maßnahmengruppen nach [iöw 2010]

Maßnahmengruppen	Kommunaler Umsatzanteil an	
	Investitionen	Betriebskosten
TGA-Installation Wohngebäude	70%	100%
Gebäudesanierung Nichtwohngebäude	70%	100%
Solarthermie	90%	100%
Biomassekessel	70%	100%
Wärmepumpen	90%	34%
Biogasanlagen mit BHKW	70%	100%
BHKW	70%	20%
Biomasseheizkraftwerke	70%	100%
Geothermische Heizkraftwerke	60%	34%
Wärmenetze	70%	70%
Biomassebereitstellung	90%	100%
Wasserkraft	60%	100%
Windkraftanlagen	60%	70%
PV-Anlagen	60%	100%
Gas-Netz	70%	70%
Gas-Brennwert	70%	20%
Öl-Brennwert	70%	6%
Hilfsenergiebereitstellung	–	34%
Wartung	–	100%

2.3.2.2 Randbedingungen für den kommunalen Umsatzanteil der Betriebskosten im energetischen Bereich

Zu den laufenden Betriebskosten gehören Wartung, Reparatur, Verwaltung und Energiekosten. Hierbei wird davon ausgegangen, dass kleinere Wartungs- und Reparaturarbeiten von lokal ansässigen Unternehmen durchgeführt werden. Benötigte Komponenten werden dabei teilweise aus dem überregionalen Raum bezogen. Für die Verwaltung wird davon ausgegangen, dass größere Anlagen zumeist von den lokalen Stadtwerken verwaltet werden und der kommunale Anteil deshalb höher angesetzt werden kann.

Der in der Kommune verbleibende Anteil der Energiekosten variiert stark je nach Energieträger.

Bei Erdgasbezug aus dem öffentlichen Netz

Für die Ermittlung des in der Kommune verbleibenden Kostenanteils der Gasbezugskosten (siehe Tab. 5) wird in Tab. 6 die Zusammensetzung des durch-

schnittlichen Erdgaspreises für Endkunden mit einer Abnahme von 5.556 kWh/a und 55.556 kWh/a betrachtet [bmwi 2019].

Tab. 6: Zusammensetzung Gaspreis nach Bundesnetzagentur, [bmwi 2019]

Energiebeschaffung, Vertrieb und Marge	48,8 %
Netzentgelt	23,4 %
Steuern (Gas- und Umsatzsteuer)	25 %
Messung und Messtellenbetrieb	1,5 %
Konzession	1,3 %

Der Großteil der bezahlten Gasbezugskosten wird vom lokalen Gasversorger an überregionale Vorlieferanten weitergegeben, da innerhalb Frankfurts keine eigene Gasförderung existiert. Ein Teil des Preises (Teile von Vertrieb und Marge) verbleiben in der Region. Zudem verbleibt ein Teil des Netzentgelts in der Region – zur Unterhaltung des regionalen Netzes. Der Großteil fließt in die überregionalen Netze ab. Die Steuern fließen an den Bund ab. Die Kosten für Messung, Messstellenbetrieb und Konzessionsabgaben (Zahlungen für Wegenutzungsrechte) verbleiben voll in der Kommune, da diese Maßnahmen von den Stadtwerken selbst durchgeführt werden.

Somit verbleiben etwa 20 % des Gaspreises in der Region: Etwa 17 % für den kommunalen Anteil von Vertrieb, Marge und Netzentgelt und etwa 3 % für Messung, Messstellenbetrieb und Konzessionsabgaben.

Bei Fernwärmebezug aus dem Netz der Mainova AG

Die in Frankfurt a.M. verfügbare Fernwärme wird vollständig vom kommunalen Energieversorger Mainova bereitgestellt. Die Fernwärme wird größtenteils in den eigenen Kraftwerken über Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt (KWK-Anteil 88 %) [NachhBericht Mainova 2018]. Die Brennstoffe werden dabei also nicht nur für die Wärmeerzeugung, sondern für Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Einen kommunalen Umsatzanteil abzuschätzen gestaltet sich deshalb als schwierig.

Aufgrund des KWK-, Müllverbrennungs- und Biomasseanteils in der Fernwärme wird für die Abschätzung der kommunalen Wertschöpfung ein kommunaler Umsatzanteil von 70 % festgelegt. Dabei handelt es sich um einen Schätzwert. Um eine genauere Bewertung der kommunalen Wertschöpfung durch Fernwärme zu erhalten, sollte die Mainova direkt miteinbezogen werden.

Bei Strombezug aus dem öffentlichen Netz

Für die Ermittlung des in der Kommune verbleibenden Kostenanteils der Strombezugskosten (siehe Tab. 5) wird in Tab. 7 die Zusammensetzung des durchschnittlichen Strombezugspreises für Endkunden mit einer exemplarischen Abnahme von 3.500 kWh/a betrachtet [bdew 2018].

Tab. 7: Zusammensetzung Strompreis 2018 nach BDEW, [bdew 2018]

Energiebeschaffung, Vertrieb, Marge	21,1%
Netzentgelt	23,7%
Steuern und Abgaben (Strom-, Umsatzsteuer, EEG-, KWKG- § 19 StromNEV- Offshore-Haftungsumlage und Umlage abschaltbare Lasten)	54,2%
Messung und Messstellenbetrieb	1,0%
Konzessionsabgaben	5,6%

Der Großteil der bezahlten Strombezugskosten wird vom lokalen Stromversorger an überregionale Vorlieferanten weitergegeben. Ein Teil der Energiebeschaffungskosten verbleibt in der Kommune, da die Stadtwerke einen Teil des vertriebenen Stroms selbst erzeugt (Vergleiche [GeschBericht Mainova 2018]). Auch für Vertrieb und Marge verbleibt ein Teil des Geldes in der Kommune. Zudem verbleibt ein Teil des Netzentgelts in der Region – zur Unterhaltung des regionalen Netzes. Der Großteil fließt in die überregionalen Netze ab. Die Steuern fließen an den Bund ab. Die Kosten für Messung und Messstellenbetrieb sowie die Konzessionsabgaben (Zahlungen für Wegenutzungsrechte) verbleiben voll in der Kommune.

Es wird ein kommunaler Anteil von etwa 34,1 % des Strompreises festgesetzt: Etwa 17 % für den kommunalen Anteil des Netzentgelts, etwa 10,5 % für Energiebeschaffung, Vertrieb und Marge sowie etwa 6,6 % für Messung, Messstellenbetrieb und Konzessionsabgaben.

Bei Heizölbezug

Für die Ermittlung des in der Kommune verbleibenden Kostenanteils der Heizölbezugskosten (siehe Tab. 5) wird in Tab. 8 die Zusammensetzung des durchschnittlichen Heizölbezugspreises für Endkunden im Jahr 2018 laut Mineralölwirtschaftsverband [MWV 2018] dargestellt.

Tab. 8: Zusammensetzung Heizölbezugspreis 2018 nach Mineralölwirtschaftsverband, [MWV 2018]

Produkteinkaufskosten	69,2%
Mineralölsteuer	8,9%
Mehrwertsteuer	16,0%
Transport, Verwaltung, Vertrieb und Marge	5,9%

Der Großteil der bezahlten Heizölbezugskosten wird vom Heizöllieferanten an überregionale Vorlieferanten weitergegeben. Da in Frankfurt keine eigene Ölförderung existiert werden die Produkteinkaufskosten für das Öl vom Lieferanten vollständig weitergegeben. Auch die Mineralöl- und Mehrwertsteuer fließen vollständig auf der Kommune ab. Wenn davon ausgegangen wird, dass als Heizöllieferant ein lokal

ansässiges Unternehmen gewählt wird verbleiben die Kosten für Transport, Verwaltung, Vertrieb und Marge in der Kommune.

Es wird deshalb ein kommunaler Anteil von etwa 5,9 % des Heizölbezugspreises verwendet.

Bei Biomassebezug

Der Begriff der Biomasse wird stellvertretend für Energieträger aus fester Biomasse (z. B. Holz) und gasförmiger Biomasse (lokal erzeugtes Biogas) verwendet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sämtliche Biomasse regional verfügbar ist und von regionalen Unternehmen angebaut, geerntet und weiterverarbeitet wird.

Daher wird der kommunale Anteil der Biomassebezugskosten von 100 % angesetzt.

In Tab. 9 sind die angesetzten kommunal verbleibenden Anteile der Energiekosten nach Energieträger aufgelistet.

Tab. 9: Kommunalen Anteil Investitions- und Betriebskosten von Maßnahmengruppen, nach [jöv 2010]

Energieträger	kommunaler Kostenanteil
Gas	20%
Strom	34%
Öl	6%
Biomasse	100%
Fernwärme	70%

2.3.2.3 Randbedingungen für die Auswirkung der kommunalen Wertschöpfung auf die Beschäftigung

Für die Auswirkung der kommunalen Wertschöpfung auf die Beschäftigung in der Region werden folgende nach Maßnahmengruppen aufgeteilte Löhne und benötigte Umsätze pro Arbeitsplatzäquivalent angesetzt.

Tab. 10: Angesetzte Löhne und benötigte Umsätze pro Arbeitsplatz

Maßnahmengruppen	Bruttolohn Arbeitnehmer	Umsatz je Arbeitsplatz
	EUR/a	EUR/a
Gebäudesanierung Wohngebäude	41.300	70.000
Gebäudesanierung Nichtwohngebäude	41.300	70.000
Solarthermie	50.470	103.000
Biomassekessel	50.470	103.000
Wärmepumpen	50.470	103.000
Biogasanlagen mit BHKW	50.470	103.000
BHKW	50.470	103.000
Biomasseheizkraftwerke	50.470	103.000
Geothermische Heizkraftwerke	50.470	103.000
Wärmenetze	41.300	70.000
Biomassebereitstellung	27.000	50.000
Wasserkraft	50.470	103.000
Windkraftanlagen	50.470	103.000
PV-Anlagen	50.470	103.000
Gas-Netz	34.300	70.000
Gas-Brennwert	50.470	103.000
Öl-Brennwert	50.470	103.000
Hilfsenergiebereitstellung	34.300	70.000
Wartung	34.300	70.000

2.3.2.4 Angesetzten Steuersätze und regionale Steueranteile

Der in der Region erzielte Umsatz muss versteuert werden. Viele der Steuern fließen aus der Region ab, nur Teile verbleiben im Gebiet. In Tab. 11 **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** werden die angesetzten Steuersätze und kommunalen Anteile aufgelistet.

Tab. 11: Angesetzten Steuersätze für die kommunale Wertschöpfung

Rechengrundlagen	Werte
Gewinnanteil pauschal	10%
Umsatzsteuer	30%
Gewerbsteuer	15%
Arbeitnehmer: Versicherungen	21%
mittlerer Einkommensst.-Satz	21%
komm. Anteil Einkommensst.	15%
komm. Anteil GewStr.	45%
Gemeinkostenanteil	30%
SozVers. Arbeitgeber	21%

Dabei wird von folgenden Ausnahmen ausgegangen:

- mittlerer Einkommenssteuer-Satz Biomasse: 16 %
- Gemeinkostenanteil Biomasse: 25 %
- Gemeinkostenanteil Wärmenetze: 20 %
- Gemeinkostenanteil Gebäudesanierung: 20 %

2.3.3 Erläuterung anhand eines Beispiels

Am Beispiel der Beheizung von Wohngebäuden in einem Neubaugebiet sollen die Auswirkungen zweier Maßnahmenvarianten auf die kommunale Wertschöpfung verdeutlicht werden:

- 1) **Variante 1:** Erdgas-basierte Wärmeerzeugung zur Beheizung der Gebäude
- 2) **Variante 2:** Beheizen der Gebäude über das lokale Fernwärmenetz

Für die Varianten werden die kommunale Umsatzanteile der Investitions- und Betriebskostenkosten wie in Tab. 5 dargestellt angesetzt.

Die Werte des kommunalen Umsatzanteils der Investitionskosten von jeweils 70 % ergeben sich aus der Annahme, dass der Großteil der Arbeiten von kommunal-ansässigen Unternehmen verrichtet wird. Nur für den Bau benötigte Komponenten werden teilweise überregional bezogen.

Für die Betriebskosten wird für die gasbeheizten Gebäude (Variante 1) ein kommunaler Umsatzanteil von 20 % angesetzt (vgl. I. 2.3.2.2). Da es sich um individuell beheizte Gebäude mit jeweils eigenen Heizanlagen handelt, wird die Betriebskostensumme dem Feld „Gas-Brennwert-Betriebskosten“ zugeordnet.

Für die Betriebskosten wird für die fernwärmebeheizten Gebäude (Variante 2) ein kommunaler Umsatzanteil von 70 % angesetzt (vgl. I. 2.3.2.2). Da es sich hierbei um

eine zentrale Wärmeerzeugung über Fernwärme handelt, wird die Betriebskostensumme dem Feld „Wärmenetz-Betriebskosten“ zugeordnet.

Bei dieser vereinfachten beispielhaften Betrachtung werden die Kosten für Wartung und Betrieb der Heizanlagen (in Variante 1) bzw. der Übergabestationen (in Variante 2) sowie der beiden Netze außen vor gelassen.

Tab. 12: Für die Beispielrechnung angesetzten kommunale Umsatzanteile

Maßnahmengruppen	Komm. Umsatzanteil Variante 1		Komm. Umsatzanteil Variante 2	
	Investitionen	Betriebskosten	Investitionen	Betriebskosten
TGA-Installation Wohngebäude			70%	
Wärmenetze			70%	70%
Gas-Netz	70%			
Gas-Brennwert	70%	20%		

Beim Vergleich von Variante 1 und Variante 2 wird deutlich, dass die kommunalen Anteile bei den Investitionskosten gleich hoch sind. Lediglich bei den Betriebskosten ergibt sich eine Differenz von 50 % zwischen dem kommunalen Anteil der Betriebskosten der fernwärmebeheizten Gebäude von 70 % zu dem kommunalen Anteil der Betriebskosten der gasbeheizten Gebäude von 20 %.

Bei einer Kostenbetrachtung der Investitionskosten von Variante 1 und 2 ergeben sich somit keine nennenswerten Unterschiede bei der kommunalen Wertschöpfung.

Anders bei den jährlichen Betriebskosten: Bei einer Höhe der Betriebskosten von einer Million EUR sowohl bei Variante 1, als auch bei Variante 2 aus, wird bei Variante 1 eine kommunale Umsatzhöhe von 200.000 EUR generiert, während bei Variante 2 700.000 EUR Umsatz generiert wird. Die Wahl für Variante 2 als Versorgungsszenario für das Neubaugebiet würde also einen erhöhten kommunalen Umsatz von 500.000 EUR gegenüber Variante 1 erzeugen.

Werden die generierten Umsätze anschließend mit den Werten aus Tab. 11 versteuert, verbleibt bei Variante 1 eine Summe von **78.500 EUR** in Form von Gewinnen (nach Steuer) der an den Maßnahmen beteiligten Unternehmen, von Steuerzahlungen an die Kommune, sowie von Nettoeinkommen der beteiligten Beschäftigten innerhalb der Kommune. Bei Variante 2 verbleiben nach Versteuerung des Umsatzes noch **315.300 EUR** als kommunale Wertschöpfung in der Kommune. Die Wahl für Variante 2, der Beheizung des Neubaugebietes über Fernwärme, würde somit allein durch die jährlichen Betriebskosten eine erhöhte kommunale Wertschöpfung von **236.800 EUR** gegenüber Variante 1 bewirken (bei einer Million Betriebskosten jährlich).

Nachfolgend kann zudem der Einfluss der kommunalen Wertschöpfung auf die Beschäftigung in der Region ermittelt werden. Dazu werden die pro Arbeitsplatzäquivalente benötigten kommunalen Umsätze der Maßnahmengruppe

„Gas-Brennwert“ (Variante 1) und die der Gruppe „Wärmenetze“ mit den generierten kommunalen Umsatzhöhen der beiden Varianten verrechnet.

Die durch die jährlichen Betriebskosten zusätzlich generierte kommunale Wertschöpfung von Variante 2 gegenüber Variante 1 bewirkt acht zusätzliche Arbeitsplatzäquivalente in der Kommune.

2.4 Energiebedarfs-Kennwerte

Die Energiebedarfsprognose der Untersuchungsgebiete wird anhand von Energiebedarfsberechnungen für typische Mustergebäude im Gebiet ermittelt. Dabei wird von zu erwartenden Energieverbräuchen ausgegangen, die die lokalen Klimabedingungen und ein mittleres Nutzerverhalten berücksichtigen. Als Ergebnis werden Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers (siehe Abb. 6), die für die Raumheizung bzw. für die Trinkwarmwasserbereitung erforderlich ist, verwendet.

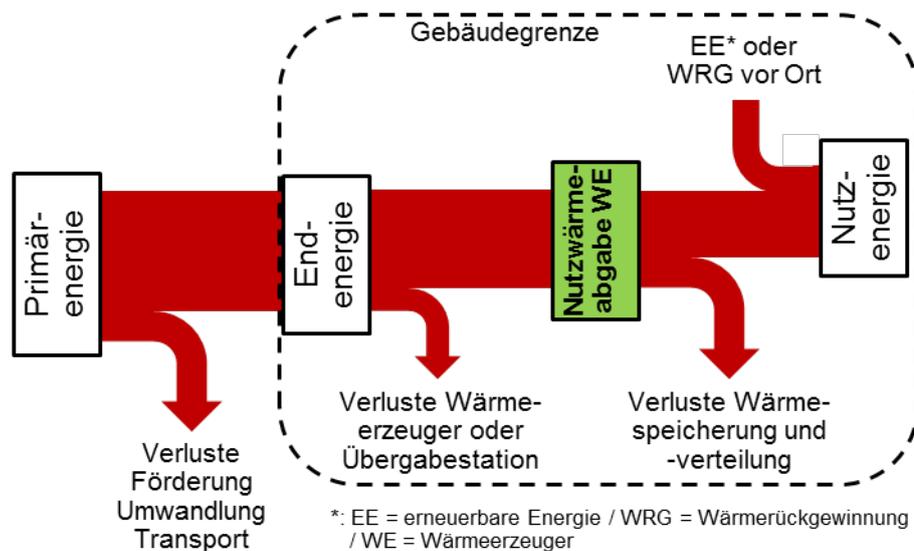


Abb. 6: Prinzipschema des Energieflusses bei der Wärmeversorgung und Definition der Nutzwärmeabgabe Wärmeerzeuger

Die Werte enthalten damit den Nutzwärmebedarf und die Verluste für Speicherung und Verteilung im Gebäude, jedoch nicht die Verluste des Wärmeerzeugers. Die entsprechenden Kennwerte beziehen sich auf die beheizte Wohnfläche bzw. die beheizte Nettogeschossfläche bei Nichtwohngebäuden. Die Ergebnisse werden aufgeteilt nach Sektoren bzw. Anwendungsbereichen dargestellt, entsprechend der Empfehlungen im Praxisleitfaden „Klimaschutz in Kommunen“.

2.4.1 Wärmebedarfskennwerte von Wohngebäuden

Für die Ermittlung von Wärmebedarfskennwerten von Wohngebäuden wurden 9 Mustergebäude unterschiedlicher Größe und mit entsprechenden A/V-Verhältnissen mit dem Rechenverfahren nach [DIN V 18599 1-11 2016] unter angepassten Randbedingungen berechnet.

Für die Berechnungen wurden folgende Randbedingungen angesetzt:

- Klimadaten nach Klimaregion 12 (Mannheim) nach DIN V 18599, gültig für Frankfurt am Main;
- Ausrichtung der Hauptfassade nach Süden und mittlere Verschattungssituation;
- Passivhaus-Standard mit Lüftungsanlage mit WRG, alle anderen Standards mit Abluftanlage;
- Mittlerer Luftwechsel der Lüftungsanlage 0,30 1/h (EFH) bzw. 0,40 1/h (MFH) zuzüglich 0,05 1/h für zusätzliche Fensterlüftung;
- Mittlere Raumtemperatur 21°C;
- Trinkwarmwasser-Nutzwärmebedarf von 600 kWh/(Person*Jahr) und folgender mittlerer Belegung:
 - Einfamilienhaus 50 m²/Person
 - Geschosswohnungsbau: 40 m²/Person
 - Sozialer Mietwohnungsbau: 30 m²/Person
- Wärmeverluste der Trinkwarmwasser-Speicherung und Verteilung bezogen auf die Nutzwärme:
 - Einfamilienhaus 83%
 - Geschosswohnungsbau: 53%
 - Sozialer Mietwohnungsbau: 50%
- Für thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung wurde ein solarer Deckungsanteil von 55 % bei Einfamilienhäusern und von 40 % bei Mehrfamilienhäusern angesetzt.

Mit diesen Randbedingungen ergeben sich folgende Kennwerte:

Tab. 13: Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumheizung für Wohngebäude

Gebäudetyp (Beispiele)	beheizte Wohnfläche	AV-Verhältnis	EnEV 2016	KfW-EH-55	KfW-EH-40	Passivhaus
			kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Freistehendes EFH	ca. 140 m ²	0,75	78	58	44	19
Freistehendes EFH	ca. 200 m ²	0,68	69	49	35	19
EF-Reihen-Endhaus	ca. 180 m ²	0,58	55	40	30	19
EF-Reihen-Mittelhaus	ca. 180 m ²	0,41	43	31	23	19
Freistehendes MFH, klein	ca. 600 m ²	0,52	54	41	33	19
Freistehendes MFH, mittel	ca. 1.700 m ²	0,40	45	34	27	19
MFH, Blockrand, 2-seitig, mittel	ca. 1.400 m ²	0,34	40	31	24	19
MFH, Blockrand, 2-seitig, groß	ca. 2.000 m ²	0,30	38	30	23	19
Freistehendes MFH, sehr groß	ca. 2.700 m ²	0,27	36	28	22	19

Tab. 14: Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Trinkwarmwasser-Bereitung für Wohngebäude

	ohne therm. Solaranlage	mit therm. Solaranlage
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Einfamilienhaus	22	10
Geschosswohnungsbau	23	14
Sozialer Mietwohnungsbau	30	18

2.4.2 Wärmebedarfskennwerte von Nichtwohngebäuden

Für die Bestimmung der Wärmebedarfskennwerte für Nichtwohngebäude wurde eine Unterscheidung nach Nutzungsarten gewählt und von den statistisch ermittelten Verbrauchswerten bestehender Gebäude nach [ages 2005] ausgegangen. Für den Energiestandard nach EnEV 2014 wurde ein Wert angesetzt, der 20 % unter dem jeweils unteren Quartalsmittel nach [ages 2005] liegt. Für den Gebäude-Energiestandard nach KfW-EH55 wurden von diesem Wert weitere 25 % abgezogen und für den KfW-EH40-Standard 40 %. Für Gebäude im Passivhaus-Standard wurde pauschal von einem Wert von 20 kWh/(m² a) ausgegangen.

Daraus ergeben sich folgende Kennwerte:

Tab. 15: Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Raumwärme für Nichtwohngebäude

Nutzungsart	EnEV 2016	KfW-EH-55	KfW-EH-40	Passivhaus
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Verwaltungsgebäude	49	37	29	20
Schulen	55	41	33	20
Kindergärten / Kitas	67	50	40	20
Sport- / Mehrzweckhallen	56	42	34	20
Gaststätten	80	60	48	20
Verkaufsstätten	79	59	47	20
Hotels	55	41	33	20
Werkstätten	46	35	28	20

Für die Trinkwarmwasserbereitung wurden folgende Annahmen getroffen:

Tab. 16: Kennwerte für die Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für Trinkwarmwasser-Bereitung für Nichtwohngebäude

Nutzungsart	Annahme für TWW
	kWh/(m²a)
Verwaltungsgebäude	2
Schulen	3
Kindergärten / Kitas	5
Sport- / Mehrzweckhallen	10
Gaststätten	15
Verkaufsstätten	2
Hotels	30
Werkstätten	5

2.4.3 Wärmebedarfskennwerte bei Bestandgebäuden

Bei im Untersuchungsgebiet vorhandenen Bestandsgebäuden wird unter der Verwendung von gebäudetypologischen Energiekennwerten (Baualterklassen) und einer Abschätzung bereits durchgeführter Maßnahmen der Wärmebedarf abgeschätzt.

2.4.4 Strombedarfskennwerte von Wohngebäuden

Hilfsstrom für TGA-Anlagen

Die Abschätzung des vermutlichen Hilfsstrombedarfs für die TGA-Anlagen in den Gebäuden erfolgte anhand von Berechnungen nach DIN V 18599 für unterschiedliche Gebäude-Dämmstandards und technische Ausstattungsvarianten. Als TGA-Anlagen wurden verschiedene Wärmeerzeuger sowie eine mechanische Abluftanlage (Abluft), eine mechanische Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und eine thermische Solaranlage (Solar) in unterschiedlichen Kombinationen berücksichtigt.

Tab. 17: Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend EnEV. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.

	Standard Gebäudehülle	$H'_T = H'_{T,ref}$ (EnEV)			
	Technikausstattung	Abluft - 0	WRG - 0	Abluft+Solar	WRG+Solar
	Wärmeerzeugung	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Einfamilienhaus	Fernwärme / Nahwärme	3,1	6,1	3,8	6,8
	Gas-BW-Kessel	3,7	6,6	4,3	7,3
	S/W-WP, Erdsonden	3,7	6,6	4,3	7,3
	Pelletkessel	3,8	6,7	4,4	7,3
	Kompaktaggregat				
Mehrfamilienhaus <1.000 m ²	Fernwärme / Nahwärme	1,8	4,3	2,3	4,8
	Gas-BW-Kessel	2,3	4,8	2,7	5,1
	S/W-WP, Erdsonden	2,3	4,8	2,7	5,1
	Pelletkessel	2,4	4,8	2,8	5,2
	Gas-BHKW+Kessel	2,2	4,6	2,6	5,0
Mehrfamilienhaus >1.000 m ²	Fernwärme / Nahwärme	1,4	4,2	2,0	4,8
	Gas-BW-Kessel	1,9	4,6	2,4	5,1
	S/W-WP, Erdsonden	1,9	4,6	2,4	5,1
	Pelletkessel	1,9	4,6	2,5	5,2
	Gas-BHKW+Kessel	1,7	4,4	2,3	5,0

Tab. 18: Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW-EH 55. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.

	Standard Gebäudehülle	$H'_T = 0,7 \times H'_{T,ref}$ (KfW-EH 55)			
	Technikausstattung	Abluft - 0	WRG - 0	Abluft+Solar	WRG+Solar
	Wärmeerzeugung	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Einfamilienhaus	Fernwärme / Nahwärme	2,8	5,8	3,5	6,6
	Gas-BW-Kessel	3,3	6,2	3,9	6,8
	S/W-WP, Erdsonden	3,3	6,2	3,9	6,8
	Pelletkessel	3,3	6,3	4,0	6,9
	Kompaktaggregat		5,7		6,5
Mehrfamilienhaus <1.000 m ²	Fernwärme / Nahwärme	1,7	4,2	2,2	4,7
	Gas-BW-Kessel	2,1	4,6	2,6	5,0
	S/W-WP, Erdsonden	2,1	4,6	2,6	5,0
	Pelletkessel	2,2	4,6	2,7	5,1
	Gas-BHKW+Kessel	2,0	4,4	2,5	4,9
Mehrfamilienhaus >1.000 m ²	Fernwärme / Nahwärme	1,3	4,2	2,0	4,8
	Gas-BW-Kessel	1,7	4,5	2,3	5,0
	S/W-WP, Erdsonden	1,7	4,5	2,3	5,0
	Pelletkessel	1,8	4,5	2,3	5,0
	Gas-BHKW+Kessel	1,6	4,4	2,2	4,9

Tab. 19: Kennwerte für den Hilfsstrom für TGA-Anlagen für Gebäude mit einer Gebäudehülle entsprechend KfW-EH 40. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.

Standard Gebäudehülle	$H'_T = 0,55 \times H'_{T,ref}$ (KfW-EH 40)				
	Abluft - 0	WRG - 0	Abluft+Solar	WRG+Solar	
Technikausstattung	Wärmeerzeugung				
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	
Einfamilienhaus	Fernwärme / Nahwärme	2,7	5,7	3,4	6,4
	Gas-BW-Kessel	3,1	6,0	3,7	6,6
	S/W-WP, Erdsonden	3,1	6,0	3,7	6,6
	Pelletkessel	3,1	6,1	3,7	6,7
	Kompaktaggregat		5,6		6,4
Mehrfamilienhaus <1.000 m²	Fernwärme / Nahwärme	1,6	4,1	2,1	4,6
	Gas-BW-Kessel	2,0	4,4	2,4	4,9
	S/W-WP, Erdsonden	2,0	4,4	2,4	4,9
	Pelletkessel	2,0	4,5	2,5	4,9
	Gas-BHKW+Kessel	1,8	4,3	2,3	4,8
Mehrfamilienhaus >1.000 m²	Fernwärme / Nahwärme	1,3	4,1	1,9	4,8
	Gas-BW-Kessel	1,7	4,4	2,2	4,9
	S/W-WP, Erdsonden	1,7	4,4	2,2	4,9
	Pelletkessel	1,7	4,4	2,3	5,0
	Gas-BHKW+Kessel	1,6	4,3	2,1	4,9

Die Werte für den Passivhausstandard ergeben sich aus der Kombination der erforderlichen Qualität der Gebäudehülle mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) sowie dem entsprechenden Wärmeerzeuger.

Haushaltsstrom

Die Abschätzung des Haushaltsstromverbrauchs erfolgte anhand des Stromspiegels 2017 [Strom 2017]. Dabei wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- für Neubauten wird der obere Stromverbrauchswert der Verbrauchsklasse B des Stromspiegels 2017 verwendet,
- in den Werten ist kein Strom für Heizung, Warmwasserbereitung oder Hilfsenergie HLS einberechnet,
- Einfamilienhaus (EFH): 1 Haushalt, 50 m²/Person,
- Geschosswohnungsbau: Durchschnittliche Wohnfläche einer Wohneinheit = 90 m² / 40 m²/Person / im Mittel 2,25 Personen/Haushalt,
- Sozialer Mietwohnungsbau: durchschnittliche Wohnfläche einer Wohneinheit = 80 m² / 30 m²/Person / im Mittel 2,7 Personen/Haushalt.

Daraus ergeben sich folgende Strombedarfs-Kennwerte:

Tab. 20: Kennwerte für den Haushaltsstrom in Wohngebäuden entsprechend der Verbrauchsklasse B des Stromspiegels 2017 [Strom 2017]. Bezugsgröße ist die beheizte Wohnfläche.

	Kennwerte kWh/(m²a)	Mittlerer Jahresstrombedarf pro Haushalt	
		m² pro WE	kWh/a
Einfamilienhaus 100 - 145 m²	23,1	120	2.770
Einfamilienhaus 145 - 190 m²	18,9	170	3.210
Einfamilienhaus >190 m²	16,6	210	3.490
Geschosswohnungsbau	19,6	90	1.760
Sozialer Mietwohnungsbau	24,2	80	1.940

2.4.5 Strombedarfskennwerte von Nichtwohngebäuden

Als Strombedarfskennwerte für Nichtwohngebäude wurden die Werte nach Nutzungsarten nach [BMVBS 2015] verwendet. In diesen Werten ist neben den nutzungsspezifischen Verbräuchen auch der Stromverbrauch für TGA-Anlagen enthalten.

Tab. 21: Strombedarfs-Kennwerte von Nichtwohngebäuden nach [BMVBS 2015]. Bezugsgröße ist die beheizte Nettogrundfläche.

Nr	Nutzungsart	Kennwerte	Quelle [BMVBS 2015]
		kWh/(m²a)	
1	Verwaltungsgebäude	35,0	Tab. 2.2 Bürogebäude, nur beheizt
2	Schulen	10,0	Tab. 2.1 Allgemeinbildende Schulen
3	Kindergärten / Kitas	20,0	Tab. 2.1 Kindertagesstätten
4	Sport- / Mehrzweckhallen	37,5	Tab. 2.2 Mittelwert Sporthallen / MZH
5	Gaststätten	95,0	Tab. 2.2 Speisegaststätte / Restaurant
6	Verkaufsstätten	67,5	Tab. 2.2 Mittelwert mehrerer Nutzungen
7	Hotels	60,0	Tab. 2.2 Hotels mit 3 Sternen
8	Werkstätten	20,0	Tab. 2.1 Produktion, Lager bis 3500 m²

2.5 Elektromobilität

E-PKW-Dichte in den Untersuchungsgebieten

Für die Betrachtung der Elektromobilität in den Untersuchungsgebieten wurden vier E-Mobilitäts-Szenarien mit unterschiedlichen PKW-Dichten (Anzahl PKW pro 1.000 Einwohner) gewählt, um die Auswirkung der unterschiedlichen Durchdringungsraten (Anzahl Elektroautos pro Gesamtanzahl PKW) bis zum Jahr 2050 untersuchen zu können. Die Annahmen zur E-PKW-Dichte sind an die Szenarien im Masterplan „100 % Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt am Main angelehnt [IBP 05/2015] und sollen einen möglichst großen Bereich abdecken.

Das Maßnahmenzenario des Masterplans geht davon aus, dass aufgrund stadtplanerischer Optimierungen, der Förderung von Fußgänger- und Fahrradmobilität sowie dem Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) die PKW-Dichte bis 2050 auf etwa 50 % der Dichte von 2010 sinkt. Das Szenario geht gleichzeitig davon aus, dass der E-PKW-Anteil durch entsprechende Förderung bis 2030 auf 78 E-PKWs/1.000 EW (Durchdringungsrate von ca. 25 %) und bis 2040 auf 122 E-PKWs/1.000 EW (Durchdringungsrate von ca. 50 %) gesteigert werden kann (vgl. [IBP 05/2015]).

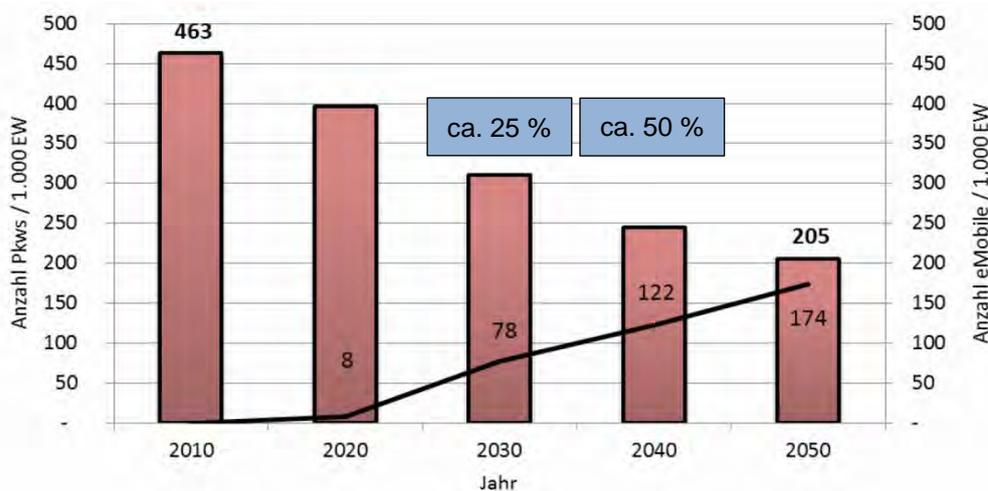


Abb. 7: Entwicklung der PKW und E-PKW-Dichte in Frankfurt am Main bis 2050 (Maßnahmenszenario) [IBP 05/2015]

Im Referenzszenario des Masterplans wird davon ausgegangen, dass sich der Anteil des mobilen Individualverkehrs (MIV) bis 2050 gegenüber 2010 nur geringfügig ändert. Die Elektromobilität steigt aufgrund von geringerer Förderung erst bis 2050 auf eine Durchdringungsrate von etwa 50 %, was dann 225 E-PKWs/1.000 EW entsprechen würde (vgl. Abb. 8).

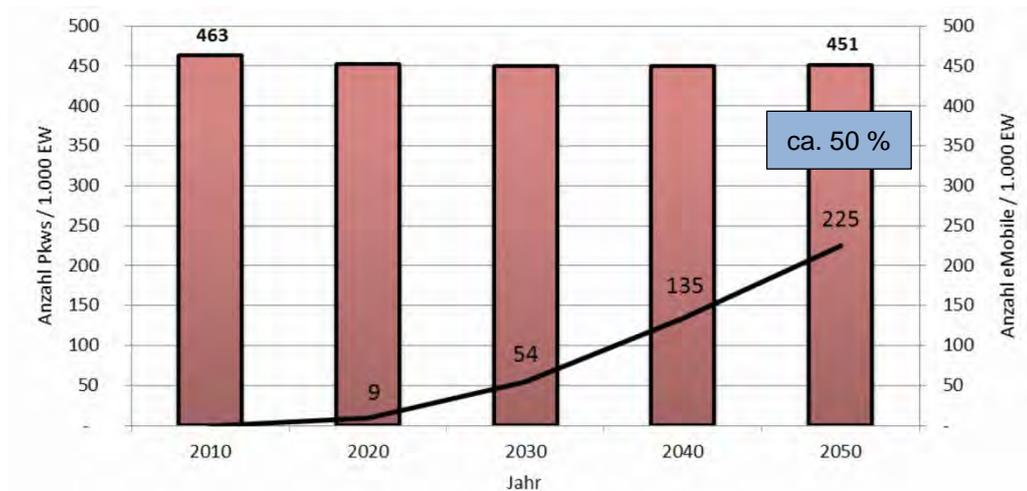


Abb. 8: Entwicklung der PKW und E-PKW-Dichte in Frankfurt am Main bis 2050 (Referenzszenario) [IBP 05/2015]

Um einen möglichst großen Variationsbereich abzudecken, wurde für die vorliegende Studie folgende Dichte von Elektromobilen in den Baugebieten angenommen:

E-Mobilitäts-Szenario 1:	78 E-PKWs/1.000 EW
E-Mobilitäts-Szenario 2:	122 E-PKWs/1.000 EW
E-Mobilitäts-Szenario 3:	225 E-PKWs/1.000 EW
E-Mobilitäts-Szenario 4:	451 E-PKWs/1.000 EW

Für das E-Mobilitäts-Szenario 1 wurde der Wert aus dem Maßnahmenszenario für 2030 verwendet, der die untere Grenze für den Strombedarf für E-Mobilität darstellt. Die beiden mittleren Werte der Szenarien 2 und 3 entsprechen dem Wert aus dem Maßnahmenszenario für 2040 bzw. dem Referenzszenario für 2050. Für den Maximalwert im Szenario 4 wurde angenommen, dass die PKW-Dichte entsprechend dem Referenzszenario bis 2050 nur geringfügig zurückgeht, der Anteil der E-PKW hierbei allerdings bei 100 % liegt.

Energiebedarf für E-Mobilität

Um den Energieverbrauch der Elektromobilität zu untersuchen, wird die durchschnittliche Fahrleistung eines Haushalts-PKW in Frankfurt betrachtet. Dabei wird die Annahme getroffen, dass nur der Energiebedarf für den Binnenverkehr auch im Gebiet geladen wird und Pendler den größeren Energiebedarf außerhalb des Gebietes laden.

Über eine Umfrage der TU-Dresden bezüglich des Stadtverkehrs in Frankfurt am Main wurde die durchschnittliche Fahrleistung der Haushalts-PKW im Binnenverkehr für 2013 ermittelt [TU Dresden 2016]. Daraus lässt sich eine mittlere, tägliche PKW-Fahrleistung von rund 30 km/(PKW*d) ableiten, die in dieser Studie verwendet wird.

Tägliche Fahrten:	ca. 2,7
Fahrtdauer:	ca. 21 Minuten
Entfernung:	ca. 11 Kilometern
Tägliche Einsatzzeit:	ca. 1 Stunde
Tägliche PKW-Fahrtleistung:	ca. 30 km/(PKW*d)

Mithilfe einer Auswertung der Website Spritmonitor.de wurde am 23.02.2018 der durchschnittliche Verbrauch von heutigen Elektroautos ermittelt (vgl. Tab. 22). Zur Berechnung wurden nur repräsentative Eintragungen herangezogen. Eine Gesamtheit von 408 untersuchten E-PKWs ergab einen **durchschnittlichen Verbrauchswert von 16,5 kWh/100 km**. Der Wert versteht sich inklusive Ladeverluste.

Tab. 22: Auswertung Stromverbrauch von Elektrofahrzeugen (Quelle: nach Spritmonitor.de, abgerufen am 23.02.2018)

Modell	kWh / 100 km
Hyundai IONIQ (43)	13,8
Mitsubishi i-MiEV (14)	14,3
BMW i3 (34)	14,9
Citroen C-Zero (12)	14,9
Peugeot iOn (11)	15,0
Opel Ampera (11)	15,6
Smart Fortwo (28)	16,0
Volkswagen Golf (28)	16,1
Nissan Leaf (43)	16,6
Renault ZOE (110)	16,7
Kia Soul (14)	17,4
Tesla Motors Model S (60)	20,7

Sowohl im Masterplan 100 % Klimaschutz [IBP 05/2015] als auch in der Studie Green City Frankfurt vom Dezernat Umwelt und Gesundheit der Stadt Frankfurt a. M. [Green City 2016] werden diverse Maßnahmen beschrieben und angekündigt, um das Fahrrad als Verkehrsmittel zu stärken. Im Hinblick auf Emissionen und Energiebedarf ist dabei eine eventuelle Umwandlung des derzeitigen konventionellen Fahrradpools in E-Bikes von Bedeutung. Dafür wurden folgende Annahmen von der Informationswebsite Stromissimo.de von den Stadtwerken Güstrow GmbH angesetzt (abgerufen am 12.06.2018 unter <https://stromissimo.de/stromverbrauch-e-bike/>):

Durchschnittliche Akku-Kapazität:	0,3 kWh
Durchschnittliche Fahrstrecke pro Ladung:	50 km / Akku-Ladung
Strombedarf:	0,6 kWh/100 km

Bei einer Fahrleistung von 1000 km pro Jahr entspricht dies einem Strombedarf von 6 kWh/a 1,75 EUR /Jahr (bei einem Strompreis von 0,29 EUR/kWh). Aufgrund dieser geringen Werte wird der Strombedarf der E-Bikes als vom Haushaltsstrom abgedeckt angesehen und nicht weiter betrachtet.

Ladeinfrastruktur

Für die Auswirkung der Elektromobilität auf das Stromnetz sind vor allem die Ladeleistungen der E-PKWs von Bedeutung, da die Netzauslegung anhand der maximal auftretenden Leistung stattfindet. Im Bereich der Elektromobilität gibt es derzeit eine Vielzahl an Ladestationstechnologien und damit verbunden die unterschiedlichsten Ladeleistungen.

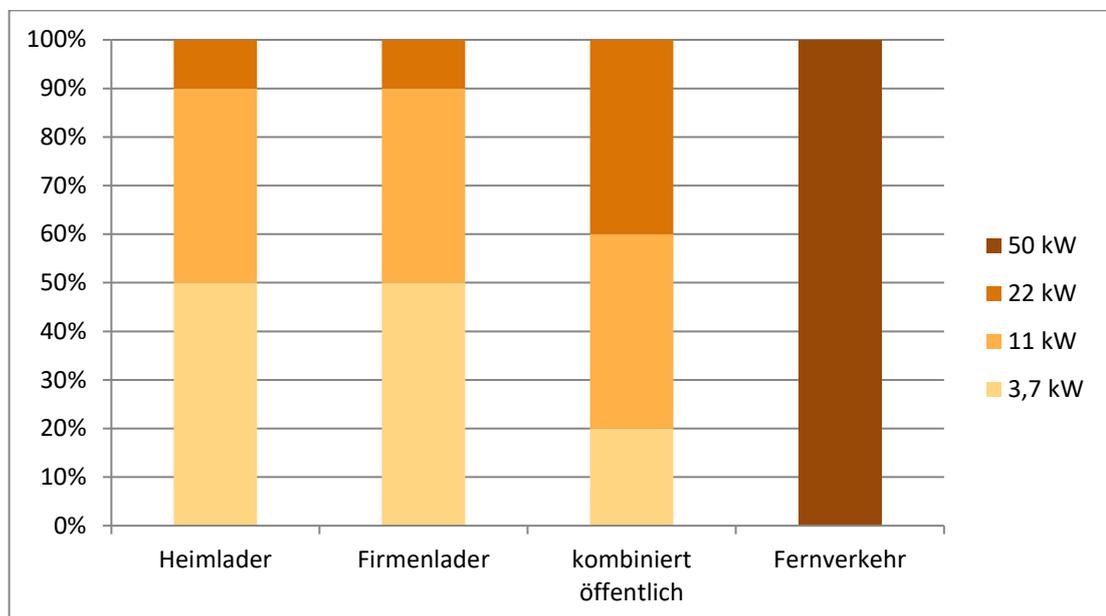


Abb. 9: Ladeleistungen bei verschiedenen Ladepunkt-Kategorien in 2034 (eigene Darstellung nach [BearingPoint 2018])

Für die Untersuchungen wurden vier Ladeleistungen definiert und angenommen. Die kleinste angenommene Ladeleistung von 3,7 kW orientiert sich an der Leistung einer E-PKW-Ladestation für den Privathaushalt und entspricht der maximalen, einphasigen Leistung eines gewöhnlichen Hausanschlusses. In Gebäuden mit Leistungserhöhung sind Ladestationen mit dreiphasigen Steckern und damit verbundenen Leistungen von 11 kW und 22 kW möglich. Diese Leistungen finden sich derzeit bereits häufig bei öffentlichen, bzw. halböffentlichen Ladestationen (Ladestationen bei Gewerbe-, Handel- oder Dienstleistungsunternehmen oder in Parkhäusern). Die größte angenommene Ladeleistung findet sich zumeist nur in schnellladefähigen Ladestationen und beläuft sich auf 50 kW. Für die Berechnung wird davon ausgegangen, dass sich in der Zukunft ein Trend zu höheren

Ladeleistungen abbilden wird [BearingPoint 2018]. Aus **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird die angenommene Verteilung der Ladeleistungen auf die unterschiedlichen Ladepunkte ersichtlich.

Stellplatzanzahl

Für eine möglichst genaue Abschätzung der Stellplätze mit Ladestationen, wird die Gesamtstellplatzanzahl bei bereits bestehenden Gebäuden oder solchen, bei denen nähere Informationen existieren, individuell ermittelt. Ansonsten findet die Ermittlung der Gesamtstellplatzanzahl in Anlehnung an die Stellplatzsatzung Frankfurt in der aktuell gültigen Fassung statt (vgl. Tab. 23) [Stellplatzsatzung 2016].

Tab. 23: Vorgaben Stellplatzanzahl bei Gebäudetypen ([Stellplatzsatzung 2016])

Gebäudetyp	Anzahl Stellplätze
Mehrfamilienhäuser	
Zone –	1,1 / 100 m ² BGF
Zone I	1,0 / 100 m ² BGF
Zone II	0,8 / 100 m ² BGF
Zone III	0,8 / 100 m ² BGF
Zone IV	0 / 100 m ² BGF
Büro und Verwaltungsräume	1 / 50m ² BGF
Einzelhandel bis 1750 m ² BGF	1 / 50 m ² BGF
Einzelhandel über 1750 m ² BGF	1 / 25 m ² BGF
Grundschulen	1 / 50 Schüler
Allgemeinbildende / Berufsschulen	1 / 25 Schüler
Hochschulen	1 / 10 Studierende
Kindergärten	1 / 15 Kinder

Die Stellplatzsatzung verweist auf Zonen, in die die Baugebiete in Abhängigkeit von ihrer Anbindung an den öffentlichen Verkehr (ÖV) einzuteilen sind. Für Gebiete mit guter Anbindung darf danach auf die minimale Anzahl an Stellplätzen reduziert werden. Die Einteilung in Zonen verläuft dabei nach eigenem Ermessen in Abhängigkeit der Entfernung zu schienengebundenen Verkehrsmitteln. Falls in Tab. 23 nicht anders angegeben, gelten folgende Zonen (Tab. 24):

Tab. 24: Zonen der Erschließung des ÖV ([Stellplatzsatzung 2016])

Zone	Beschränkung der Stellplatzvorgaben auf
– Stadtgebiet ohne ÖV-Erschließung	100 %
I Gebiete mit einfacher Erschließung	70 %
II Sondergebiet Kaiserlei	50 %

III Gebiete mit guter Erschließung	30 %
IV Gebiete mit sehr guter Erschließung	15 %

Die in Tab. 25 angenommenen Anteile der Stellplätze mit Ladestationen an allen öffentlichen Stellplätzen für die untersuchten vier E-Mobilitäts-Szenarien orientiert sich an den Szenarien aus dem Masterplan 100 % Klimaschutz der Stadt Frankfurt. Für die Bedarfsabschätzung wird dabei von durchschnittlich 3 Vollbetriebsstunden (Inanspruchnahme der vollen Ladeleistung) pro Tag ausgegangen.

Tab. 25: Anteil Stellplätze mit Ladestationen von öffentlichen Stellplätzen

E-Mobilitäts-Szenario	Anteil der Stellplätze mit Ladestation
E-Mobilitäts-Szenario 1	10 %
E-Mobilitäts-Szenario 2	20 %
E-Mobilitäts-Szenario 3	20 %
E-Mobilitäts-Szenario 4	40 %

2.6 Aufwandszahlen von dezentralen Wärmeerzeugern

Zur Abschätzung des Endenergiebedarfs bei dezentralen Wärmeerzeugern werden Jahresnutzungsgrade und Aufwandszahlen verwendet, die auf Erfahrungswerten des IB ebök beruhen. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um mittlere, typische Werte, die in der Praxis anzutreffen sind. Bei der Verwendung von effizienten Geräten, bei fachgerechter Auslegung und planmäßigem Betrieb können bessere Werte erreicht werden. Die Aufwandszahlen werden mit der erforderlichen Nutzwärmeabgabe des Wärmeerzeugers für das betreffende Gebäude multipliziert. Im Fall von Mustergebäuden sind dabei noch keine Verluste eines Pufferspeichers berücksichtigt. Bei Systemen, bei denen üblicherweise ein Pufferspeicher verwendet wird, wurden die zusätzlichen Verluste in die Aufwandszahl eingerechnet. Bei Brennstoffen sind die Kennwerte auf den Heizwert bezogen (H_i)

Tab. 26: Aufwandszahlen und Jahresnutzungsgrade von dezentralen Wärmeerzeugern

Wärmeerzeuger	Aufwandszahl		Jahresnutzungsgrad* / JAZ		Bemerkungen
	Heizung	TWW	Heizung	TWW	
Fernwärme	1,02	1,02	0,98	0,98	
Gas-BW-Kessel	1,00	1,06	1,00	0,94	
S/W-WP, Erdsonden	0,22	0,40	4,50	2,50	incl. zusätzliche Verluste Pufferspeicher
L/W-WP	0,33	0,44	3,00	2,25	incl. zusätzliche Verluste Pufferspeicher
Kompaktaggregat	0,31	0,37	3,20	2,70	
Pelletkessel	1,18	1,25	0,85	0,80	incl. zusätzliche Verluste Pufferspeicher
Gas-BHKW+Kessel	1,03	1,08	0,97	0,93	incl. zusätzliche Verluste Pufferspeicher
Heizöl-BW-Kessel	1,05	1,11	0,95	0,90	

2.7 Kennwerte für Investitionen

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden Kennwerte für die erforderlichen Investitionen festgelegt. Die Kosten wurden auf Grundlage von Ausschreibungen und Erfahrungswerten des IB ebök erstellt und auf den Kostenstand Januar 2018 und den Standort Frankfurt angepasst. Es handelt sich um Nettokosten ohne Mehrwertsteuer.

2.7.1 Kalkulationskosten für Vorkonzepte von Wärmenetzen

Die genannten Kosten sind Netto-Kosten inkl. Material und Formstücke sowie Tiefbau, Verlegung und Montage, inklusive etwa 20% Nebenkosten. Es wird von einer qualitativ hochwertigen Erstellung des Wärmenetzes ausgegangen, u.a. inkl. Prüfung aller Schweißnähte etc.

Tab. 27: Kalkulationskosten für Vorkonzepte von Wärmenetzen

Beschreibung des Wärmenetzes				
Rohrsystem	KMR Einzelrohr	KMR Einzelrohr	KMR Einzelrohr	-
Anzahl der Leiter	zwei	zwei	zwei	-
Art der Verlegung	erdverlegt	erdverlegt	erdverlegt	erdverlegt mit anderen Medien
Oberfläche Ausgangszustand	unbefestigt	befestigt mit Oberfläche	befestigt mit Oberfläche	-
Oberfläche Endzustand	unbefestigt	befestigt mit Oberfläche	befestigt mit Oberfläche	-
Bauliche Erschwernisse	keine	Straßenraum mit geringer Dichte und Komplexität	Straßenraum mit mittlerer Dichte und Komplexität	-
Nennweiten-Bereich	Kosten in EUR/Trm	Kosten in EUR/Trm	Kosten in EUR/Trm	Kostenersparnis in EUR/Trm
DN 20 / DN 25	540	710	880	-50
DN 32 / DN 40	570	740	920	-50
DN 50 / DN 65	630	810	990	-50
DN 80 / DN 100	790	990	1180	-50
DN 125 / DN 150	950	1160	1370	-50
DN 200 / DN 250	1260	1500	1750	-50

2.7.2 Mehrkosten von unterschiedlichen Gebäude-Dämmstandards

Baukosten unterliegen starken Schwankungen, abhängig von der Region, der Größe des Projekts, den Randbedingungen der Ausschreibung etc. Hinzu kommt, dass die Preisunterschiede abhängig sind vom Bausystem, von der Fassadenart, von den verwendeten Baustoffen etc., z.B. sind die Preisunterschiede verschiedener energetischer Qualitäten bei Kunststofffenster viel kleiner als bei Metallfenstern. Die genannten Mehrkosten stellen somit nur grobe Anhaltswerte als Mittelwerte über unterschiedliche Ausführungsvarianten und Projektgrößen dar.

Bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden zusätzlich die durch höhere Baukosten verursachten höheren Planungshonorare berücksichtigt (Annahme +20% bezogen auf Baukosten).

Der Flächenbezug bei Bauteilen der Gebäudehülle ist die entsprechende Fläche nach EnEV-Berechnung. Die Mehrkosten für die Wärmebrückenreduzierung und den höheren Planungsaufwand bei besseren Energiestandards sind auf die beheizte Wohnfläche bezogen.

Die Unterscheidung nach Energiestandard bezieht sich auf die jeweilige Mindestanforderung an die Gebäudehülle, die sich auf den H'_T -Wert der Gebäudehülle bezieht. Zur Vereinfachung wurde von typischen U-Werten für die einzelnen Bauteile ausgegangen, mit denen üblicherweise der dem jeweiligen Energiestandard entsprechende H'_T -Wert erreicht wird.

Tab. 28: Den Mehrkosten für die Gebäudehülle zugrunde liegenden U-Werte der Bauteile

	Referenz EnEV	KfW EH 55	KfW EH 40	PH EFH
Zugrunde gelegte U-Werte				
Bauteil	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
Außenwand	0,28	0,18	0,13	0,10
Außenwand gg. Erdreich	0,35	0,25	0,20	0,14
Flachdach, Decke oben	0,20	0,13	0,10	0,09
Steildach	0,20	0,13	0,10	0,09
Boden gg. Erdreich	0,35	0,25	0,20	0,14
Boden gg. unbeheizt / Außenluft / TG	0,35	0,25	0,20	0,14
Fensterflächen	1,30	0,95	0,80	0,74
Eingangstüre	1,80	1,20	1,00	1,00
Wärmebrückenzuschlag	0,05	0,05	0,03	0,00

Die Mehrkosten werden gegenüber der Mindestanforderung nach EnEV für Neubauten angegeben.

Tab. 29: Mehrkosten gegenüber den Mindestanforderungen nach EnEV für unterschiedliche Dämmstandards im Wohnungsneubau

	Referenz EnEV	KfW EH 55	KfW EH 40	PH EFH
Mehrkosten gegenüber EnEV-Referenzgebäude				
Bauteil	EUR/m ²	EUR/m ²	EUR/m ²	EUR/m ²
Außenwand	0,00	20,00	36,00	52,00
Außenwand gg. Erdreich	0,00	3,00	9,00	18,00
Flachdach, Decke oben	0,00	21,00	37,00	54,00
Steildach	0,00	29,00	44,00	65,00
Boden gg. Erdreich	0,00	8,00	16,00	28,00
Boden gg. unbeheizt / Außenluft / TG	0,00	12,00	26,00	46,00
Fensterflächen	0,00	81,00	136,00	163,00
Eingangstüre	0,00	77,00	105,00	105,00
Reduzierung Wärmebrücken	0,00	0,00	13,00	17,00
Zuschlag Planung Energiestandard	0,00	7,00	17,00	25,00

2.7.3 Annahmen zu Investitionskosten von TGA-Anlagen

Zur Abschätzung der Investitionskosten dezentraler Wärmeversorgungs-, Lüftungs- und Solaranlagen wurden anhand mehrerer Mustergebäude die erforderlichen Investitionen für mehrere Energiestandards ermittelt.

Bei den Mustergebäuden handelt es sich um:

- Einfamilienhaus mit 160 m² Wohnfläche
- Mehrfamilienhaus mit 600 m² Wohnfläche
- Mehrfamilienhaus mit 1.200 m² Wohnfläche
- Mehrfamilienhaus mit 2.000 m² Wohnfläche
- Parzelle in Blockrandbebauung mit 9.000 m² Wohnfläche mit gemeinsamer Heizzentrale

Die Kosten schließen nicht alle Komponenten der TGA-Anlagen ein. Berücksichtigt sind überwiegend die Komponenten, die zu Kostenunterschieden zwischen den Varianten führen. So ist z.B. die Trinkwarmwasserverteilung nicht enthalten, da angenommen wird, dass sie bei allen Varianten identisch ist. Die Zahlen eignen sich deshalb nicht für eine Kostenschätzung von TGA-Anlagen.

Die verwendeten Werte sind im Anhang dokumentiert.

2.8 Klimatische Randbedingungen für Frankfurt a.M.

Sowohl für die Prognose des Wärmebedarfs von Gebäuden zur Berechnung heizungs-, raumluft- und klimatechnischer Anlagen als auch für die Abschätzung der Potenziale verschiedener erneuerbarer Energieträger spielen die typischen Witterungsverhältnisse am betrachteten Standort eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) 2016 im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) die so genannten Testreferenzjahre (abgekürzt TRJ oder TRY) er- bzw. überarbeitet. Dabei handelt es sich um meteorologische Datensätze zu jeder Stunde eines Jahres, die für jeden km² Deutschlands einen „mittleren, aber für das Jahr typischen Witterungsverlauf repräsentieren“ [DWD 2017]. Aus den TRY-Datensätzen für Frankfurt a. M. wurden charakteristische Daten für die Potenzialabschätzung bestimmt, die in Tab. 30 aufgelistet sind. Es sei angemerkt, dass es sich bei den Angaben nicht um eine Zukunftsprognose handelt, sondern um gemittelte Werte basierend auf den Jahren 1995 bis 2012. Diese stimmen in etwa mit den in der [ISE-Studie] verwendeten Werten überein. Sofern weitere Daten zur Potenzialabschätzung aus anderen Quellen verwendet wurden, wird dies in den jeweiligen Unterabschnitten erläutert.

Tab. 30: Charakteristische Daten für die Witterungsverhältnisse in Frankfurt.

Beschreibung	Wert
Höhe über NN	ca. 100 m
Mittlere Temperatur Jahr	ca. 11,5 °C
Mittlere Temperatur Okt.–Mrz.	ca. 5,7 °C
Summe Globalstrahlung ges. Jahr	ca. 1.100 kWh/(m ² a)

Solarstrahlung

Auf eine horizontale Fläche am Standort Frankfurt beträgt die jährliche, solare Globalstrahlung etwa 1.100 kWh/(m² a). Die daraus abgeschätzten Jahressummen der Bestrahlung auf unterschiedliche Ebenen sind in Tab. 31 aufgeführt. Diese entsprechen in etwa den in der [ISE-Studie] verwendeten Werten, liegen jedoch etwas höher als die in der [KEEA-Studie] verwendeten Werte, da diese auf älteren Wetterdaten basierte.

Tab. 31: Jahressummen der Bestrahlung auf unterschiedliche Ebenen zur Abschätzung des Solarenergie-Potenzials in Baugebieten im Stadtgebiet Frankfurt.

Orientierung	Neigung	Jahressumme der Bestrahlung in kWh
Süd	45°	1.218
	90°	854
Süd-Ost	45°	1.204
	90°	875
Süd-West	45°	1.086
	90°	743
Ost	45°	1.031
	90°	733
West	45°	881
	90°	582
Nord-West	45°	681
	90°	425
Nord-Ost	45°	782
	90°	508
Nord	45°	627
	90°	369

3 Erneuerbare Energien in Frankfurt und Umgebung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und Randbedingungen zusammengefasst, die für die Potenzialabschätzungen der (lokalen) Nutzung erneuerbarer Energien in den untersuchten Stadtgebieten vorausgesetzt werden. Die Angaben basieren auf den jeweils genannten Quellen und eigenen Abschätzungen entsprechend dem aktuellen Stand der Technik. Die detaillierte Analyse zur Einbindung erneuerbarer Energien in die Energieversorgung der einzelnen Stadtgebiete ist in den entsprechenden Unterkapiteln der Gebiete zu finden.

Des Weiteren wird in diesem Kapitel ein Überblick der Potenziale erneuerbarer Energien für die Stadt Frankfurt, die Region um Frankfurt sowie falls verfügbar für das Bundesland Hessen insgesamt gegeben. Dies ermöglicht eine Einordnung der später folgenden Detailanalysen der Stadtgebiete in die stadtweiten, regionalen und landesweiten Zusammenhänge. Der Regionalverband FrankfurtRheinMain veröffentlicht hierzu auf seiner Webseite im „Klima-Energie-Portal“ sog. kommunale Energiesteckbriefe, die eine Übersicht energetischer Kennzahlen (Bezugsjahr 2015) u. a. zur aktuellen Nutzung und zu den geschätzten Gesamtpotenzialen erneuerbarer Energien enthalten [Klima-Energie-Portal]. Die Angaben zu den Potenzialen erneuerbarer Energien entstammen der [KEEA-Studie], die teilweise als Grundlage für den Masterplan „100 % Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt [IBP 05/2015] sowie für die zugehörige [ISE-Studie] diente.

Im Energiesteckbrief für die Stadt Frankfurt wird das Gesamtpotenzial erneuerbarer Energien auf 2.316 GWh/a für die Wärmeerzeugung und 1.469 GWh/a für die Stromerzeugung geschätzt. 2015 waren ca. 14 % des Gesamtpotenzials erschlossen. Im gesamten Regionalverband FrankfurtRheinMain beträgt das Potenzial 10.859 GWh/a für Wärme und 8.267 GWh/a für Strom, von denen 2015 nur ca. 8 % erschlossen waren. In Abb. 10 sind die geschätzten Potenziale der einzelnen erneuerbaren Energieträger für der Strom- und Wärmeerzeugung der Stadt Frankfurt gezeigt. Bei den Angaben handelt es sich meist um technische Erzeugungspotenziale, zum Teil jedoch auch um Prognosen der zukünftigen Entwicklung der Nutzung einer Technologie.

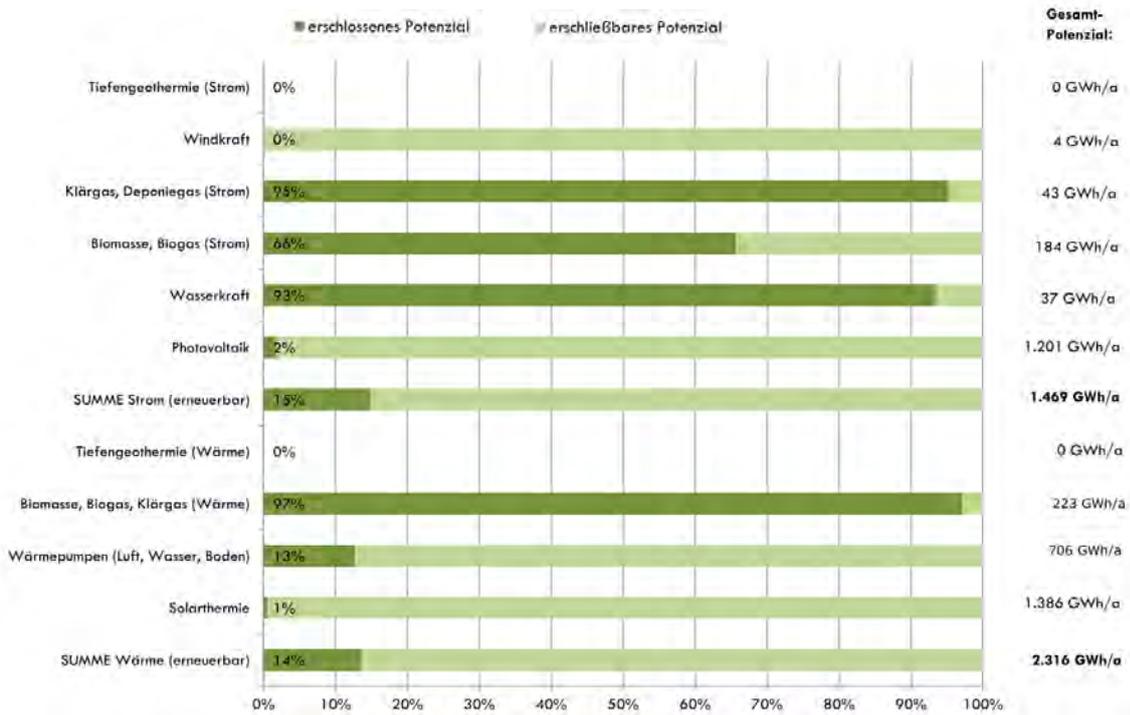


Abb. 10: Gesamtpotenzial erneuerbarer Energie und Stand der Erschließung 2015 für die Stadt Frankfurt am Main [Klima-Energie-Portal].

3.1 Biomasse

3.1.1 Verfügbarkeit und Potenzial

Die Potenziale der Energieerzeugung aus Biomasse in Hessen wurden 2008 in einer Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) untersucht [HMUELV2009]. Demnach beläuft sich das technische Gesamtpotenzial in Hessen auf etwa 13.400 GWh/a. Der größte Anteil davon entfällt mit etwa 10.000 GWh/a auf die feuerungstechnische Nutzung von biogenen Festbrennstoffen, von dem 2008 ca. 60 % genutzt wurden. Dabei identifiziert die Studie die größten ungenutzten Potenziale in der Nutzung von Waldholz sowie von Holz aus Grünabfall, aus der Landschaftspflege, von Straßenbegleithölzern und, sofern geeignete Rahmenbedingungen geschaffen würden, auch von Kurzumtriebshölzern. Des Weiteren bietet die Nutzung von Brennstoffen wie Stroh und Miscanthus in zentralen Feuerungsanlagen große ungenutzte Potenziale, die dazu notwendige technische Weiterentwicklung vorausgesetzt. Neben den Festbrennstoffen stellt die Energieerzeugung aus biogenen Gasen mit etwa 2.700 GWh/a ebenfalls einen relevanten Anteil am Gesamtpotenzial dar, von dem 2008 ca. 20 % genutzt wurden. Das größte ungenutzte Potenzial wurde hier in der Nutzung von Energiepflanzen aus der

Landwirtschaft gesehen. Im Bereich der Nutzung von Biokraftstoffen wurden keine ungenutzten Potenziale gefunden. Während die genannten Potenziale in Höhe und Verteilung in den drei Regierungsbezirken und den meisten Flächenlandkreisen ähnlich waren, stellten die Autoren große Unterschiede in den Ballungsräumen bzw. kreisfreien Städten fest, in denen die ungenutzten Potenziale teilweise deutlich geringer ausfielen. Entsprechende Ergebnisse für Frankfurt, den Regierungsbezirk Darmstadt und Hessen insgesamt sind in Tab. 32 gezeigt. Ein ähnliches Bild zeigen die Zahlen der Energiesteckbriefe. Wie in Abb. 10 gezeigt, weist der Energiesteckbrief der Stadt Frankfurt ein technisches Gesamtpotenzial von Biomasse und biogenen Gasen von 223 GWh/a für Wärme und 227 GWh/a für Strom aus, von denen 2015 bereits 84 % genutzt wurden. Anders sieht es für den Regionalverband FrankfurtRheinMain aus, in dem ein technisches Gesamtpotenzial von Biomasse und biogenen Gasen von 1.322 GWh/a für Wärme und 1.099 GWh für Strom geschätzt wurde, von dem 2015 nur ca. 40 % genutzt wurden.

Tab. 32: Gesamtpotenziale der Bioenergieerzeugung für Frankfurt, den Regierungsbezirk Darmstadt und Hessen insgesamt [HMUELV2009].

	Biogene Festbrennstoffe		Biogas		Biokraftstoffe
	Gesamtpotenzial in GWh/a	davon 2008 genutzt	Gesamtpotenzial in GWh/a	davon 2008 genutzt	Gesamtpotenzial in GWh/a
Frankfurt	383	87%	60	67%	3*
RB Darmstadt	4.080	66%	985	30%	169*
Hessen	10.002	57%	2.763	22%	663*

* Potenzial 2008 bereits vollständig genutzt

Neben der Steigerung der Bioenergieerzeugung sieht die Studie des HMUELV auch in der Steigerung der Energieeffizienz der Biomasse-Wärmeerzeugungsanlagen einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse. Um eine vollständige Versorgung mit erneuerbaren Energie zu ermöglichen, sieht der Masterplan „100% Klimaschutz“ eine Priorisierung des Einsatzes von biogenen Brennstoffen in der Stadt Frankfurt für Anwendungen vor, in denen Temperaturen jenseits von 100 °C erreicht werden müssen. Biomasse soll daher nach Priorität absteigend eingesetzt werden für Industrieprozesse, Wärmenetze, in denen der Einsatz von Dampf erforderlich ist, dezentrale KWK-Nutzung und die Objektversorgung in peripherer Lage (Stadtrand).

3.1.2 Ökologische Kriterien für die Nutzung von Biomasse zur Wärmeversorgung im innerstädtischen Bereich

Emissionen und Feinstaubproblematik

Die Verbrennung von fester Biomasse (z. B. Holz) ist auch mit neuester Filtertechnik nicht emissionsfrei. Der Grenzwert der Staubemission für Kessel bis 1 MW liegt nach

der 1. BImSchV bei 20 mg/Nm^3 . Größere Kessel unterliegen der TA Luft, auch hier gilt ein Staubemissions-Grenzwert von 20 mg/Nm^3 . Die tatsächlichen Emissionen der Anlagen sind sehr stark von der verwendeten Filtertechnik abhängig. In der Regel kommt bei großen Anlagen ein mehrstufiges Filter- und Abscheidesystem aus Multizyklon, Elektroabscheider und ggf. Textilfilter zum Einsatz, mit dem Schadstoffemissionen für Feinstaub und Stickoxid erreicht werden, die deutlich unter den Grenzwerten der TA-Luft liegen. Im Vergleich mit Erdgaskesseln zeigen Holzkessel trotzdem sowohl bei Staub und Kohlenmonoxid als auch bei Stickoxyden (NO_x) höhere Emissionen auf.

In bereits stark durch Verkehr und Industrie belasteten Stadtgebieten sind zusätzliche Schadstoffemissionen, insbesondere Stickoxide und Feinstaub, durch die Wärmeerzeugung für die Gebäudebeheizung kritisch zu bewerten.

Erhöhung des innerstädtischen Verkehrsaufkommens

Bei Holzhackschnitzeln, die i. d. R. bei großen Feuerungsanlagen zum Einsatz kommen, hängt der Heizwert je Schüttraummeter (SRm) von Holzart und Wassergehalt ab. In erster Näherung kann von einem Gewicht von 200 bis 250 kg/SRm und einem Heizwert von 0,75 bis 1,0 MWh/SRm ausgegangen werden. Holzhackschnitzel werden meist mit LKW in Ladungen zwischen 60 und 100 SRm angeliefert.

Die Anlieferung des Brennstoffs Holz und der Abtransport der Asche verursacht LKW-Verkehr und damit verbundene Lärm- und Schadstoffbelastungen, die im innerstädtischen Bereich nicht erwünscht sind.

Großer Lagerbedarf bei knappen Flächenressourcen in der Stadt

Die im Verhältnis zu anderen Energieträgern relativ geringe Energiedichte von Holz sowie die Schüttdichte von Holzhackschnitzeln und Pellets führen zu einem großen Lagerbedarf. Die Verfeuerung von biogenen Festbrennstoffen in Heizzentralen erfordert großräumige Brennstofflager mit oftmals großflächigen Einbringöffnungen und befestigte Zufahrtswege für hohe Lasten. All dies belegt teuren und wertvollen Raum im innerstädtischen Bereich und kann im städtebaulichen Umfeld und im Kontext der Freiraumplanung problematisch sein.

3.2 Oberflächennahe Geothermie, Umweltwärme und Abwärme

Ein Potenzial zur Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien stellt die Nutzung von Wärme aus oberflächennahen Erdschichten, von Umweltwärme, z. B. aus Gewässern oder der Umgebungsluft sowie von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau, z. B. aus Siedlungs-Abwässern oder industriellen Prozessen, dar. Da die

Quellen-Temperaturen häufig nicht mehr als 20 °C betragen, ist eine Nutzung zur Beheizung von Gebäuden in der Regel nur in Kombination mit einer Wärmepumpe möglich. Die energetische Effizienz der Wärmepumpe hängt dabei stark vom Temperaturniveau der Wärmequelle ab. Für die Beheizung gilt: je größer die Differenz der Quelltemperatur zur gewünschten Raumtemperatur ist, umso niedriger ist die Effizienz. Die Erzeugung von Strom ist mit den genannten Wärmequellen auf Grund ihres niedrigen Exergieanteils⁵ nicht sinnvoll oder möglich. Manche Wärmequellen können auch als Wärmesenken zum Kühlen von Gebäuden dienen.

Laut Klima-Energie-Portal weist die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen mittels Wärmepumpen für die Stadt etwa 706 GWh (davon wurden 2015 ca. 13 % genutzt) und für den Regionalverband 2.235 GWh (davon wurden 2015 ca. 6 % genutzt) auf. Damit stellt sie sowohl das zweitgrößte Gesamtpotenzial als auch das zweitgrößte ungenutzte Potenzial zur Wärmeerzeugung hinter der Solarthermie dar.

Im Folgenden werden die technischen Potenziale der einzelnen Wärmequellen und die jeweiligen Randbedingungen für deren Nutzung näher analysiert.

3.2.1 Oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie (bis etwa 400 m Tiefe) bezeichnet die Nutzung von Wärme, die in den oberen Schichten des Untergrunds enthalten ist. Für die dort gespeicherte Wärmeenergie sowie deren Regeneration ausschlaggebend sind bis zu einer Tiefe von etwa 100 m in erster Linie die auf die Erdoberfläche auftreffende Solarstrahlung und das eindringende Regenwasser. Bis zu einer Tiefe von 10 m schwankt die Erdreichtemperatur mit den Jahreszeiten um die jahresmittlere Außenlufttemperatur am Standort (s. Abb. 11). Sofern Grundwasserleiter im Untergrund vorhanden sind, kann deren Wärmeabgabe ebenfalls eine Rolle spielen. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Einfluss des vom Erdinneren ausgehenden terrestrischen Wärmestroms zu. Ab etwa 100 m dominiert dieser Effekt die Temperatur des Erdreichs und führt zu einem kontinuierlichen Temperaturanstieg. Für die Wärmeentnahme stehen heute zahlreiche Varianten geschlossener Wärmetauscher-Systemen zur Auswahl (s. Abb. 12), die in der Regel eine Sole als Medium verwenden. Die Planung und Begleitung durch ein geologisches Planungsbüro ist für alle Varianten unerlässlich. Die vorliegenden Angaben beziehen sich auf den allgemeinen Kenntnisstand von Technik und Normen sowie die von der Unteren Wasserbehörde der Stadt Frankfurt und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zur Verfügung gestellten Informationen.

⁵ Exergie bezeichnet den Anteil der (inneren) Energie, der in der Lage ist, Arbeit zu leisten.

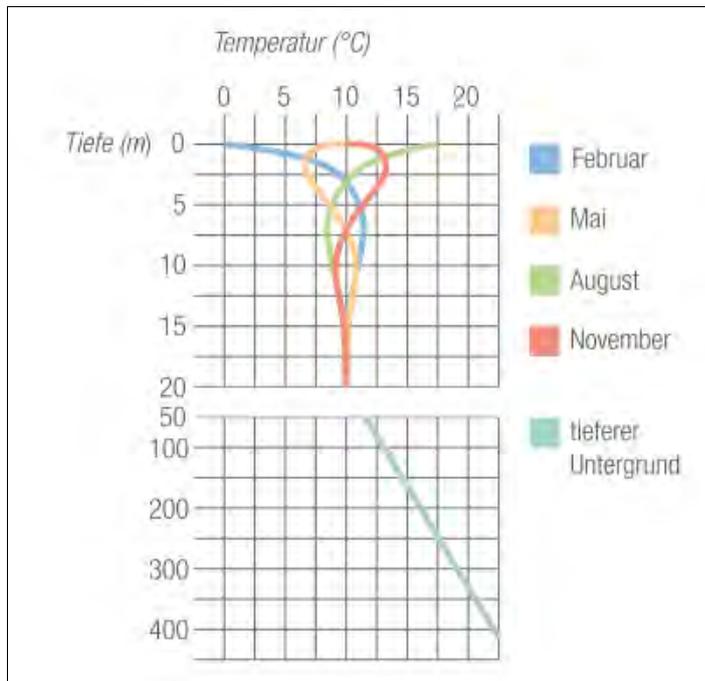


Abb. 11: Verlauf der Temperatur im Erdboden in Abhängigkeit der Tiefe für unterschiedliche Jahreszeiten. Quelle: REHAU

3.2.1.1 Erdwärmekollektoren

Für die Nutzung der Erdwärme in geringen Tiefen ab 1 m (bzw. möglichst unterhalb der Frostgrenze) bis zu 10 m eignen sich Erdwärmekollektoren in unterschiedlichsten Ausführungen wie Flächenkollektoren, Grabenkollektoren, Schnecken- und Spiralkollektoren, Erdwärmekörbe sowie erdberührende Betonbauteile. Die maximale Entzugsleistung bzw. der nutzbare Wärmeertrag sind erster Linie abhängig von der Beschaffenheit des Untergrunds, der Temperatur-Regeneration durch Solarstrahlung und Niederschlag und ggf. dem Einfluss des Grundwassers. Nicht überbaute Systeme lassen sich grundsätzlich überall einsetzen, wo ausreichend Freiflächen zur Einbringung zur Verfügung stehen, z. B. Parkflächen. Wegen der Abkühlung des Bodens durch die Wärmenahme sind die Auswirkungen auf geplante oder bestehende Bepflanzungen zu beachten. Sofern der Abstand zum höchsten Grundwasserstand mindestens 1 m beträgt und eine bestimmte Einbautiefe nicht überschritten wird, bedürfen die genannten Systeme keiner wasserrechtlichen Erlaubnis und können ggf. in wasserwirtschaftlich unzulässigen Gebieten (s. u.) zum Einsatz kommen [Leitfaden].

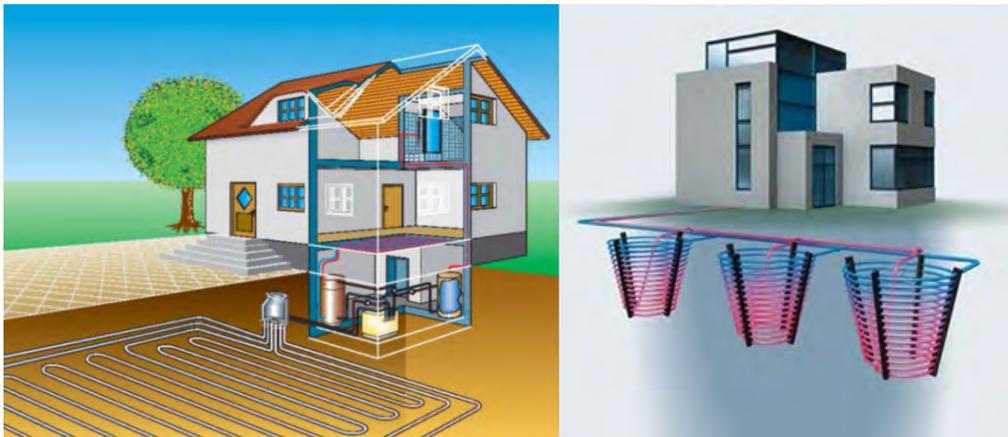


Abb. 12: Schematische Darstellungen von Erdwärmeflächenkollektoren (links, Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.) und Erdwärmekörben (rechts, Quelle: Uponor).

Erdwärmeflächenkollektoren (nicht überbaut)

Bei Erdwärmeflächenkollektoren werden mit Sole gefüllte Rohre horizontal flächig in einer Tiefe von 1,2 m bis 1,5 m verlegt. Sofern diese nur zur Beheizung oder Trinkwassererwärmung dienen und die Oberfläche über dem Erdwärmekollektor weder bebaut noch versiegelt ist, kann die Entzugsleistung nach [VDI 4640] in Abhängigkeit der Beschaffenheit des Untergrunds bestimmt werden, siehe Tab. 33.

Tab. 33: Mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmekollektoren für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten [VDI 4640].

Untergrund	Jahresbetriebsstunden	1.800 h/a	2.400 h/a
		spez. Entzugsleistung	spez. Entzugsleistung
Trockener, nicht bindiger Boden		10 W/m ²	8 W/m ²
Feuchter, bindiger Boden		20 W/m ² bis 30 W/m ²	16 W/m ² bis 24 W/m ²
Wassergesättigter Sand/Kies		40 W/m ²	32 W/m ²

Erdwärmekörbe (nicht überbaut)

Erdwärmekörbe sind eine Sonderbauform der Erdwärmekollektoren. Hierbei werden Solerohre konzentrisch gewickelt und in entsprechende Aushublöcher verbracht. Vorteile gegenüber Flächenkollektoren sind der leichtere Einbau und der geringere Flächenbedarf. Richtwerte für die Entzugsleistung von Erdwärmekörben der Firma Uponor sind in Tab. 34 gegeben. Die Körbe haben einen Durchmesser von 2,4 m und benötigen einen Abstand voneinander von 6,4 m (Mitte zu Mitte).

Tab. 34: Anhaltswerte für Entzugsleistungen eines Erdwärmekorbs der Fa. Uponor für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten bei 1.800 Jahresbetriebsstunden [Fa. Uponor].

Untergrund	Entzugsleistung pro Korb	Entzugsleistung pro Korb
	Typ 1 D = 2,4 m H = 2,0 m	Typ 2 D = 2,4 m H = 2,7 m
Trockener, nicht bindiger Boden	375 W	500 W
Trockener, bindiger Boden	750 W	1.000
Feuchter, bindiger Boden	1.125 W	1.500 W
Wassergesättigter Sand/Kies	1.500 W	2.000 W

3.2.1.2 Erdwärmesonden und Energiepfähle

Für die Nutzung der Erdwärme in tieferen Schichten sowie der Wärme im Grundwasser eignen sich Erdwärmesonden und Energiepfähle. Der Ertrag dieser Systeme ist grundsätzlich abhängig von der Tiefe der Bohrung, den hydrogeologischen und geothermischen Gegebenheiten sowie gegebenenfalls vorhandenen Wechselwirkungen mit anderen Anlagen bzw. geothermischen Effekten. Bohrungen in Tiefen von mehr als 100 m unterliegen der Bergaufsicht und sind entsprechend anzuzeigen. Die zuständige Bergbehörde kann die Aufstellung eines Betriebsplans fordern.

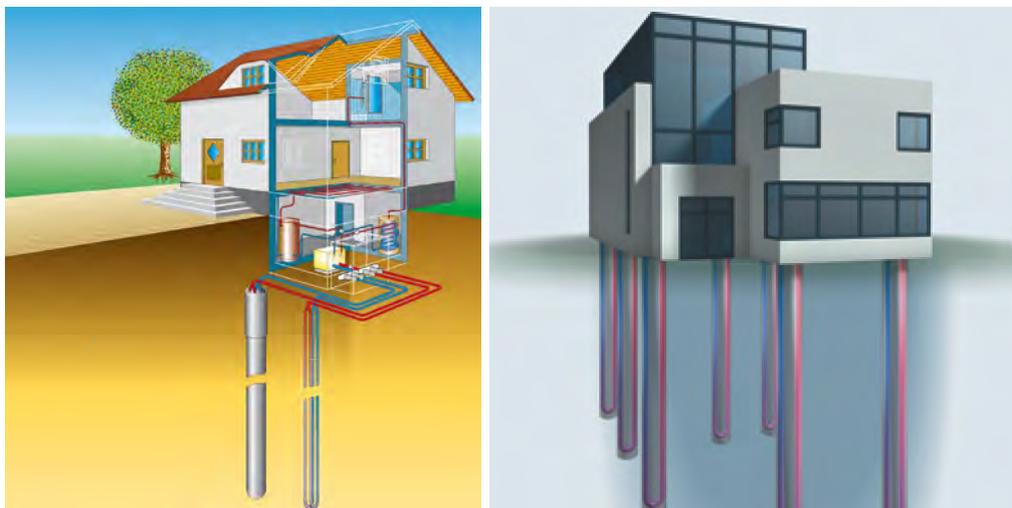


Abb. 13: Schematische Darstellungen von Erdwärmesonden (links, Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.) und Energiepfählen (rechts, Quelle: Uponor).

Da die genannten Systeme eine Benutzung des Grundwassers darstellen, bedürfen sie grundsätzlich einer wasserrechtlichen Erlaubnis. Maßgeblich für den Verlauf des wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens sind die standörtlichen Randbedingungen, die

durch das HLNUG bewertet werden. Es wird unterschieden zwischen hydrogeologisch günstigen und ungünstigen Gebieten sowie wasserwirtschaftlich günstigen, ungünstigen und unzulässigen Gebieten. In Abb. 14 sind die unterschiedlichen Gebiete der Standortbeurteilung zur Errichtung von Erdwärmesonden für das Stadtgebiet gezeigt.

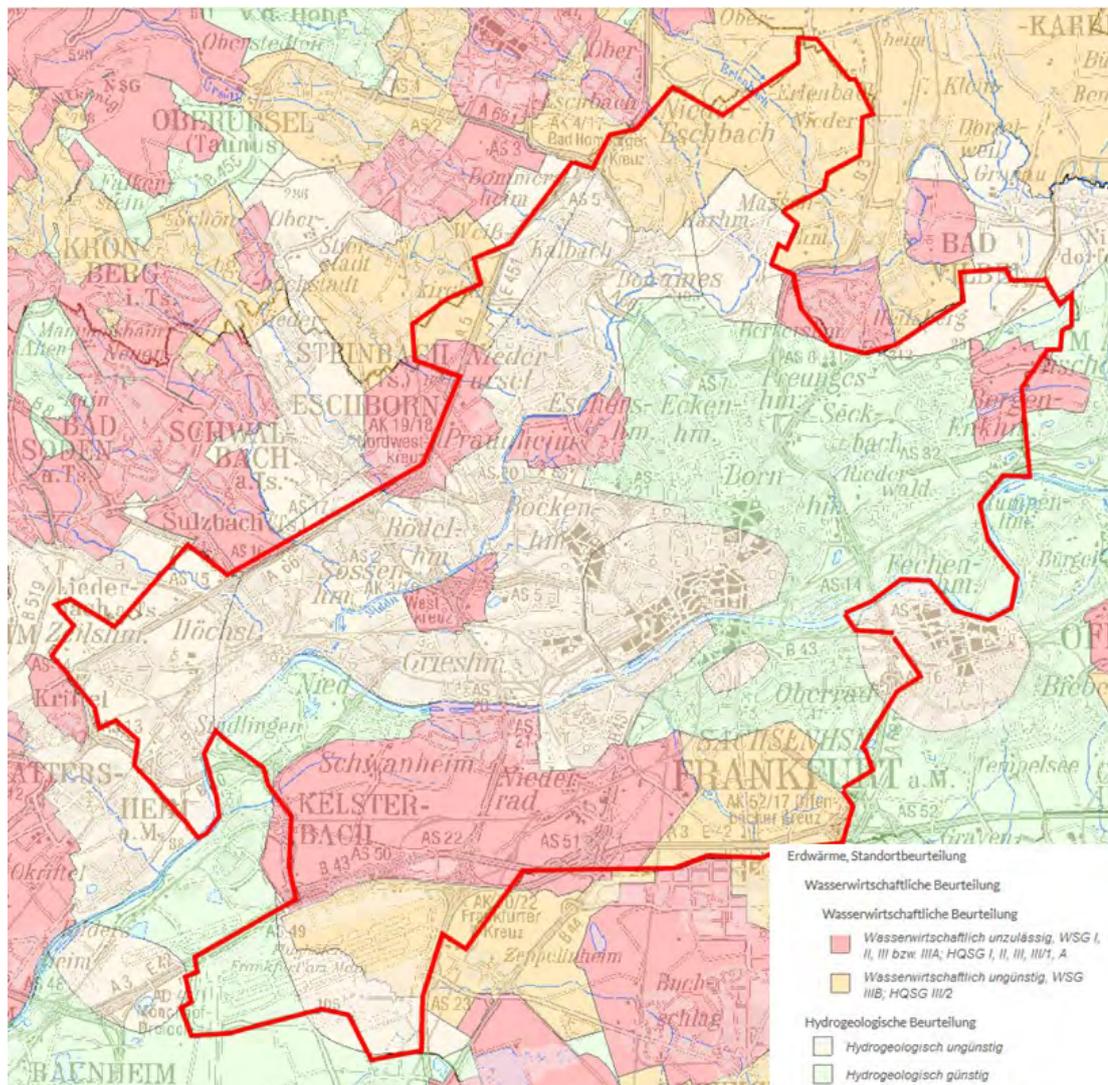


Abb. 14: Übersichtskarte des Stadtgebiets Frankfurt mit unterschiedlichen Gebieten der Standortbeurteilung zur Errichtung von Erdwärmesonden [HLNUG].

Wie in der Übersichtskarte des Stadtgebiets Frankfurt zu sehen ist, gibt es im östlichen Teil ein großes, günstig beurteiltes Gebiet. Der westliche Teil wird dagegen zum größten Teil als hydrogeologisch ungünstig beurteilt, u. a. wegen „Grundwasserstockwerksbau mit unterschiedlichen Druckpotenzialen und Beschaffenheiten sowie dem Vorhandensein artesisch gespannter Wässer“. Einige Gebiete, insbesondere im südlichen Teil, werden als wasserwirtschaftlich ungünstig oder

unzulässig beurteilt. In wasserwirtschaftlich unzulässigen Gebieten ist der Bau von Erdwärmesonden generell verboten.

Erdwärmesonden – kleine Anlagen

Nach [VDI 4640-2 (2001)] werden Anlagen mit Erdwärmesonden in „kleinere“ und „größere“ Anlagen unterteilt, wobei kleine Anlagen wie folgt abgegrenzt sind:

- Wärmepumpen-Heizleistung bis zu 30 kW,
- Jahresbetriebsstunden von bis zu 2.400 h/a,
- nur Wärmeentzug zur Beheizung und Trinkwassererwärmung,
- keine größere Anzahl kleiner Anlagen auf einem begrenzten Areal (z. B. in Neubaugebieten),
- Gesamtlänge aller Erdwärmesonden kleiner 750 m (Ergänzung des HLNUG).

Die Entzugsleistungen können gemäß Richtlinie VDI 4640-2:2001 abgeschätzt werden, vorausgesetzt die darin genannten Temperaturgrenzen und Randbedingungen zur Bestimmung der Entzugsleistung werden eingehalten und es besteht im Baugebiet keine Forderung nach frostfreiem Betrieb. Die Richtwerte für die mögliche Entzugsleistungen nach VDI 4640-2:2001 von Erdwärmesonden kleiner Anlagen mit Sondenlängen zw. 40 m und 100 m sind in Tab. 35 angegeben. Weitere Angaben für einzelne Gesteine und andere Randbedingungen sind der Richtlinie zu entnehmen.

Tab. 35: Allgemeine Richtwerte für mögliche spezifische Entzugsleistungen von Erdwärmesonden kleiner Anlagen für unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten [VDI 4640].

Untergrund	Jahresbetriebsstunden	1.800 h/a	2.400 h/a
		spez. Entzugsleistung	spez. Entzugsleistung
Schlechter Untergrund - trockenes Sediment, $\lambda < 1,5 \text{ W/(m K)}$		25 W/m	20 W/m
Normaler Festgesteins-Untergrund bzw. wassergesättigtes Sediment, $1,5 \text{ W/(m K)} \leq \lambda \leq 3,0 \text{ W/(m K)}$		60 W/m	50 W/m
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit, $\lambda > 3,0 \text{ W/(m K)}$		84 W/m	70 W/m

Erdwärmesonden – große Anlagen und Sonderfälle

Bei größeren Anlagen und solchen, die die im vorherigen Abschnitt genannten Voraussetzungen nicht erfüllen, muss die korrekte Dimensionierung der Erdwärmesonden durch Berechnung gemäß [VDI 4640-2 (2001)] nachgewiesen werden. Dies erfolgt heute meist durch Simulation mittels Spezialsoftware, gegebenenfalls kombiniert mit der Durchführung eines Thermal Response Tests (TRT), bei dem vor Ort

über einen Zeitraum von mindestens 50 Stunden Wärme in den Untergrund eingetragen wird und die „Temperatur-Antwort“ gemessen wird. Für diese Anlagen kann die Erteilung einer bergrechtlichen Gewinnungsberechtigung erforderlich sein, die zusätzliche Vorlaufzeit in der Planungsphase benötigt.

Energiepfähle

Energiepfähle werden ähnlich wie Erdsonden frei ins Erdreich gebohrt oder gerammt, die integrierten Kunststoffleitungen werden im Beton vergossen. Energiepfähle reichen weniger tief als Erdsonden. In der Regel werden sie als statisches Element mit der Gründung des Gebäudes kombiniert, wobei natürlich die Erfordernisse der Gebäudestatik zu beachten sind. Ganz besonders ist auf die Vermeidung von Frost durch den Wärmeentzug zu achten. Die spezifischen Entzugsleistungen sind vergleichbar mit denen von Erdwärmesonden.

3.2.1.3 Geothermische Brunnenanlagen

Grundwasserwärmenutzung stellt eine besondere Form der oberflächennahen Geothermie dar. Statt eines Erdwärmetauschers wird direkt Grundwasser über einen Brunnen aus dem Erdreich entnommen und der Wärmepumpe zugeführt, wo ihm über einen Wärmetauscher Wärme entzogen wird. Neben dem Förderbrunnen muss ein Schluckbrunnen eingerichtet werden, über den das Grundwasser wieder ins Erdreich eingebracht wird. Wirtschaftlich sinnvoll sind solche Anlagen gewöhnlich erst ab einer Mindestgröße (ca. 20 bis 25 kW Leistungsbedarf).

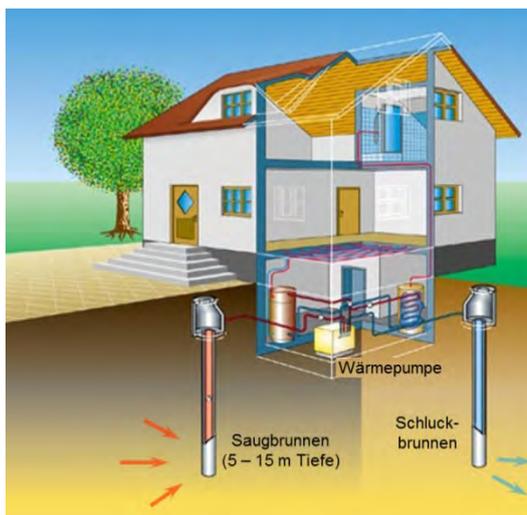


Abb. 15: Prinzip der Grundwasserwärmenutzung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Aufgrund der verhältnismäßig hohen Temperaturen und der hohen Wärmekapazität von Wasser stellt die Grundwassernutzung eine gute Möglichkeit der regenerativen Energieversorgung dar – vorausgesetzt es steht ausreichend nutzbares Grundwasser zur Verfügung. Zu beachten sind die wasserrechtlichen Genehmigungen, die Chemie des geförderten Wassers, die zur Verfügung stehenden Grundwasser-Quellstärken am Standort sowie eventuelle weitere Nutzer im Zu- oder Abstrom des Grundwassers. Für einen Wärmebedarf von größer als 50 KJ/s wird eine wasserrechtliches Verfahren erforderlich.

3.2.1.4 Abschätzung des Potenzials in einem geplanten Quartier

Für die Abschätzung des technischen Potenzials wurden folgende Annahmen / Vereinfachungen getroffen:

- Für die Nutzung der Erdwärme werden nur Erdwärmesonden betrachtet.
 - Erdwärmekollektoren oder -körbe mit einer geringen flächen-spezifischen Entzugsleistung, die zudem nicht überbaubar sind, kommen auf Grund der dichten Bebauung und des hohen Wärmebedarfs im geplanten Quartier nicht in Frage, um einen signifikanten Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs zu leisten.
 - Da laut Aussage des HLNUG das Stadtgebiet Frankfurt für die Nutzung von geothermischen Brunnenanlagen nicht als gut geeignet bezeichnet werden kann, wurde diese Anwendung nicht betrachtet.
- Da für die bereits bestehende Anlage Bohrungen mit einer Tiefe von ca. 100 m realisiert werden konnten, wird diese Tiefe auch für die Potenzialabschätzung angesetzt. Der Abstand zwischen den einzelnen Sonden eines Feldes wurde mit 10 m angenommen.
- Die Wechselwirkungen benachbarter Anlagen zur Erdwärmennutzung wurde nicht näher betrachtet, da hier insbesondere der Grundwasserfluss eine wichtige Rolle spielt, zu dem keine ausreichenden Informationen vorlagen. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Abstand von mindestens 50 m ausreicht, damit die Wechselwirkungen benachbarter Felder vernachlässigbar sind.
- Die maximal möglichen Entzugsleistungen der Erdwärmesonden wurden an Hand der Vorgaben für kleine Anlagen (< 30 kW) aus der Richtlinie VDI 4640-2:2001-09 berechnet. Die für große Anlagen empfohlenen detaillierten analytischen oder numerischen Auslegungs-Berechnungen konnten im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt werden. Bei einem Sondenfeld dieser Größe sinkt die mögliche spez. Entzugsleistung und entziehbare Wärmemenge über die Betriebsdauer höchstwahrscheinlich ab,

sofern das Erdreich nicht regeneriert wird. Diese Aspekte sollten bei der Planung unbedingt näher untersucht werden.

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. Zur Regeneration eignen sich insbesondere Anwendungen, die ohnehin eine Wärmesenke benötigen, oder erneuerbare Quellen bzw. deren Überschüsse, die ansonsten auf Grund eines zu niedrigen Temperaturniveaus oder einer fehlenden Überschneidung von Angebot und Nachfrage nicht genutzt werden könnten. 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 Prozessen / Kühlung

3.2.2 Umweltwärme

Umweltwärme umfasst die in der Umgebungsluft und in Oberflächen-Gewässern enthaltene Wärme.

3.2.2.1 Umgebungsluft

Die Wärme in der Umgebungsluft kann mittels Luft/Wasser-Wärmepumpen nutzbar gemacht werden. Für die Wärmeversorgung von Wohngebäuden, insbesondere wenn sie neben der Raumheizung auch die Warmwasserbereitung sicherstellen sollen, haben diese Wärmepumpen folgende Nachteile:

- Da Luft aufgrund der geringen Dichte nur einen geringen Energiegehalt hat, muss verhältnismäßig viel Luft über einen Wärmetauscher geführt werden, um die erforderlichen Wärmeleistungen zu erreichen. Da diese Wärmetauscher i.d.R. im Freien aufgestellt werden, können die Schallemissionen der Ventilatoren vor allem in Wohngebieten zu Lärmbelästigungen führen.
- An kalten Wintertagen, an denen die Wärmepumpe am meisten Wärme liefern soll, arbeitet die Luft/Wasser-Wärmepumpe am wenigsten effizient. Bei sehr kalten Außentemperaturen wird sie oftmals sogar abgeschaltet und es muss über einen elektrischen Heizstab geheizt werden. In der Praxis erreichen

Luft/Wasser-Wärmepumpe deshalb oft nur Jahresarbeitszahlen⁶ von 3 und weniger, während Wärmepumpen die Erdwärme oder Abwasser nutzen auf 4 und mehr kommen.

Das etwas wärmere Mikroklima im Stadtzentrum kann sich hier ggf. positiv auswirken. [IBP 05/2015]

3.2.2.2 Flusswasser

Für größere Anlagen kann die Nutzung des Flusswassers des Mains oder anderer Oberflächengewässer als Wärmequelle in Frage kommen. Für eine wirtschaftliche Nutzung ist eine geringe Entfernung zum Baugebiet von entscheidender Bedeutung. Des Weiteren ist für die Nutzung von Flusswasser ist eine wasserrechtliche Nutzungsgenehmigung notwendig.

3.2.3 Abwärmenutzung

Als Wärmequelle kann die Abwärme von Abwässern aus Siedlungen, Produktions- und Kühlprozessen genutzt werden (Hinweis: die Abwärmenutzung innerhalb der geplanten Gebäude, z.B. in Form von Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen, wird gesondert betrachtet). Das Energiereferat der Stadt Frankfurt hat 2017 begonnen, ein Abwärmekataster zu entwickeln, das eine Übersicht über die im Stadtgebiet verfügbaren Abwärmequellen bietet. Dazu zählen unter anderem industrielle Anlagen, Abwasser-Infrastruktur und Rechenzentren. Weiter Möglichkeiten mit einem weniger großen Potenzial zur Nutzung stellen Großbäckereien und -wäschereien sowie U-Bahn-Schächte dar. [IBP 05/2015] Wie schon bei der Nutzung von Erdwärme und von Umweltwärme aus Gewässern sind auch bei der Abwärmenutzung die Kosten für die Erschließung der Quelle entscheidend für die Wirtschaftlichkeit. Dabei müssen neben der räumlichen Nähe zwischen Abwärmequelle und Verbraucher bei der Nutzung von Abwärme aus Prozessen ggf. zusätzlich anfallende Kosten für die Wärmeabgabe beachtet werden

3.2.3.1 Siedlungs-Abwasser

Die Temperatur von Siedlungs-Abwasser (Regen- und Schmutzwasser) bleibt i.d.R. ganzjährig über einem bestimmten Mindestniveau und bewegt sich typischerweise zwischen 10°C und 15°C. Abwasser eignet sich daher gut als Wärmequelle für eine Wärmepumpe, mittels der die Temperatur auf ein zur Wärmeversorgung von Gebäuden nutzbares Niveau angehoben wird. Wie bei der oberflächennahen

⁶ Die Jahresarbeitszahl ist das Verhältnis von nutzbarer Wärme aus einer Wärmepumpe und dem dafür notwendigen Stromverbrauch für Verdichter, Ventilator usw.

Geothermie steht auch zur Wärmeentnahme aus dem Abwasser eine Vielzahl von Wärmetauscher-Systemen zur Auswahl:

- innerhalb der Kanalelementen (nachträglich) eingebaute Wärmetauscher im Abwasserstrom (hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanals muss ausreichend sein, aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen erst ab einem Mindestdurchmesser von DN 800 möglich),
- außerhalb der Kanalelemente angeordnete Wärmetauscher als Bypass zum Abwasserstrom,
- Wärmetauscher in Becken von Kläranlagen u. ä.,
- werkseitig in die Kanalelemente integrierte Wärmetauscher (Abwasserstrom wird nicht vom Wärmetauscher beeinflusst, siehe nachfolgenden Unterabschnitt)

Die Entzugsmenge/-leistung hängt von der Abwassermenge und dem mittleren Abwasserdurchfluss (bzw. deren jeweilige Tagesgänge) bei Trockenwetter, von der mittleren Temperatur des Abwassers sowie von der Übertragungsleistung des realisierbaren Wärmetauschers ab. Generell sollten zur Abwasserwärmenutzung folgende Voraussetzungen erfüllt sein [DWA-M 114]:

- die Abwasser-Durchflussmenge sollte im Tagesmittel mindestens 15 l/s betragen
- durch die Wärmeentnahme darf die Zulauftemperatur an der Kläranlage grundsätzlich nicht unter einen Mindestwert absinken (Anhaltswert: 10 °C)
→ Abstimmung von geplanten Maßnahmen mit dem Kläranlagenbetreiber.

Die Wärmeversorgung durch Abwasserwärmenutzung ist besonders wirtschaftlich, wenn die Wärmelast der Abnehmer einige hundert Kilowatt beträgt und wenn die räumliche Entfernung zwischen Abwasser-Wärmeentnahme und Wärmeabnehmer möglichst klein ist. In Abb. 15 ist das Prinzip eines zentralen Wärmeversorgungssystems mit Abwasserwärmenutzung schematisch dargestellt. Da die Temperatur des Abwassers im Winter oberhalb und im Sommer i. d. R. unterhalb der Temperatur der Umgebungsluft liegt, kann das Abwasser auch als Wärmesenke zur Kühlung genutzt werden.

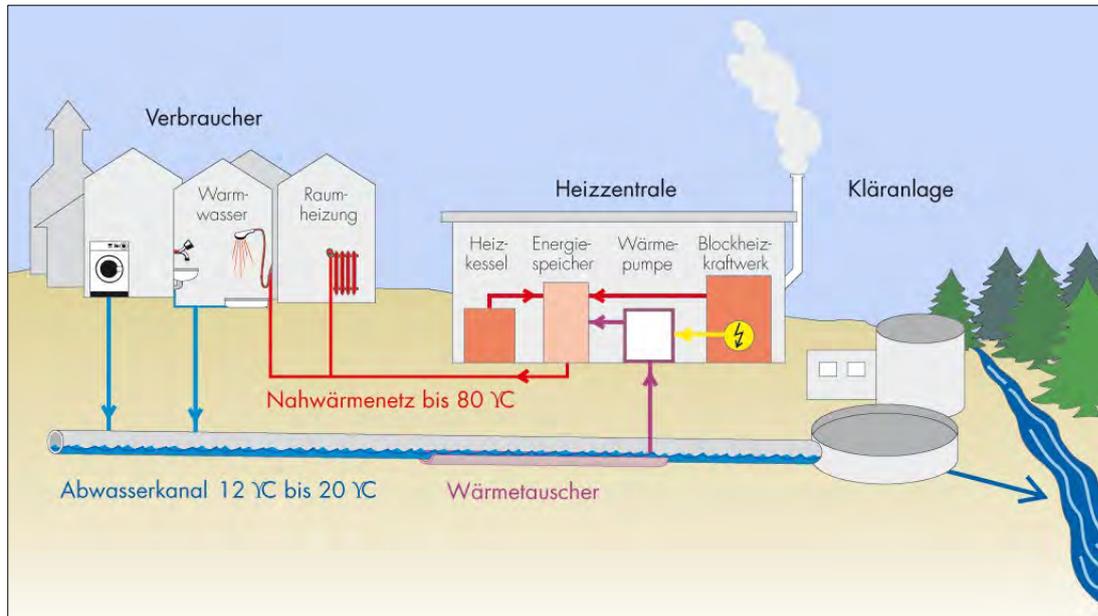


Abb. 16: Prinzip eines zentralen Wärmeversorgungssystems mit Abwasserwärmenutzung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Kombinierte Nutzung von Abwasserwärme und Erdwärme

Eine Sonderform stellt die kombinierte Nutzung von Abwasserwärme und geothermischer Wärme durch im Straßenraum verlegte Abwasserrohre dar. Die Nutzung erfolgt ab DN 300 mit Standard-Abwasserrohren, die mit einer Rohrwendel umwickelt sind, die mit Sole durchflossen wird. Beispiele für solche Rohrelemente sind in Abb. 17 gezeigt. Bei Trennsystemen können sowohl Regen- als auch Abwasserabfluss verwendet werden. Wie schon für die oberflächennahe Geothermie beschrieben, dient das Erdreich als Wärmequelle und -speicher. Die Temperatur des Untergrunds wird durch die Abwärme des Kanals regeneriert, wenn diesem keine Wärme entzogen wird. Dadurch können Schwankungen der Abwasserdurchflussmenge besser ausgeglichen werden als bei direkt im Abwasserstrom installierten Wärmetauscher-Systemen. Das Potenzial zur kombinierten Nutzung von Abwasserwärme und Erdwärme hängt sowohl von der Abwassermenge und -temperatur als auch von der geologischen Beschaffenheit des Untergrunds ab. In Neubaugebieten, in denen die Rohre ohnehin verlegt werden müssen, entstehen Mehrkosten nur für die Anschlüsse und ggf. größere Rohrdurchmesser.



Abb. 17: Umwickelte Rohrelemente zur Nutzung von Abwasserwärme und/oder geothermischer Wärme. (Quelle: Bild l. Frank GmbH, Bilder r. Krah Pipes GmbH & Co. KG).

3.2.3.2 Produktions- und Kühlprozesse

Rechenzentren

Rechenzentren bilden eine ganzjährig verfügbare Wärmequelle für die Abwärmee-nutzung. Die Server benötigen dauerhaft eine große Menge Energie, die nahezu vollständig in Wärme umgewandelt wird. Der Bereich der Informationstechnik besitzt zudem eine enorm hohe Entwicklungsgeschwindigkeit. Im Zeitalter der Digitalisierung, online streaming, social media und Internet of Things werden immer größere Anforderungen an Rechen- und Speicherleistungen gestellt. Trotz immer effizienterer IT-Technik steigt der Energiebedarf der Branche deshalb stetig an. Der Energiebedarf deutscher Rechenzentren lag 2016 bei 12,4 TWh/a und stieg seit 2010 pro Jahr durchschnittlich um fast 3 % an [Borderstep 2018].

Die Stadt Frankfurt am Main besitzt in der Branche eine Sonderstellung. Sie ist einer der wichtigsten IT-Standorte und IT-Knotenpunkte Europas und größter Standort für Rechenzentren in Deutschland [IBP 05/2015]. Etwa 27 % der deutschen Rechenzentren befanden sich 2016 in Hessen, der Großteil davon in Frankfurt [Borderstep 2018].

Der Kühlbedarf in Rechenzentren ist enorm. Um eine sichere Arbeitsweise der Server zu garantieren, müssen die Räume stetig und unterbrechungsfrei gekühlt werden. Die

gesamte elektrische Energie, die in ein Rechenzentrum fließt, wird letztendlich in Wärme umgewandelt.

Den größten Anteil am Stromverbrauch haben die Server selbst. Den für gewöhnlich zweitgrößten Anteil benötigt die Kühleinrichtung (bei älteren Rechenzentren sogar über 50 % des Gesamtbedarfes). Dazu kommen Verluste der Elektroversorgung sowie weitere Stromverbraucher, die nicht direkt mit der IT-Technik verknüpft sind. Dazu gehören die sonstige Gebäudeinfrastruktur, Beleuchtung, Brandmeldeanlagen, Aufzüge etc.

Als Maß der Effizienz im Umgang mit elektrischer Energie wurde der Kennwert der Power Usage Effectiveness (PUE) eingeführt. Er ermittelt sich aus dem Gesamtbedarf des Rechenzentrums im Verhältnis zum Strombedarf der eigentlichen IT-Technik. Bei einem PUE von 1 würde die gesamte elektrische Energie in die Server fließen. Bei einem Wert von 1,5 verbrauchen die Server 2/3 der Energie, während für die restliche Infrastruktur des Gebäudes inklusive der Einrichtungen für Kühlung und unterbrechungsfreier Stromversorgung noch 1/3 der Energie aufgewandt wird. Ältere Rechenzentren besitzen PUE-Werte zwischen 2 und 3. Deutsche Rechenzentren gehören weltweit zu den effizientesten und liegen im Schnitt bei einem PUE-Wert von 1,8. Durch die stetige Effizienzsteigerung wird im Jahr 2025 von einem PUE-Wert von 1,54 im Durchschnitt ausgegangen. Neue Rechenzentren erreichen heute Werte von unter 1,3 [Geißler 11/2017].

Diese Werte gelten für luftgekühlte Rechenzentren, die den größten Teil aller derzeitigen Rechenzentren ausmachen. Dabei wird die Kühlluft, die durch die Server geleitet wird, über ein Kühlregister wieder abgekühlt. Die Wärme wird dabei auf ein anderes Wärmemedium übertragen, um sie dann aus dem Gebäude zu transportieren und an die Umgebung abzugeben.

Vereinzelt existieren Kühlkonzepte mit anderen Kühlmedien, wie zum Beispiel Wasser. Auch hier wird die vom inneren Kühlkreislauf aufgenommene Wärme an einen zweiten Kreislauf abgegeben, der die Wärme an die Umgebung abgibt. Das flüssige Kühlmedium im ersten Kreislauf kann dabei sehr viel höhere Temperaturen erreichen als die Abluft der luftgekühlten Anlagen. Vor Abgabe der Wärme an das Kühlregister können Temperaturen von 50–60 °C erreicht werden. Bei luftgekühlten Anlagen besitzt die Abluft vor dem Kühlregister Temperaturen von 28–35 °C. Im Allgemeinen sind die Betriebskosten der flüssigkeitsgekühlten Anlagen geringer und ihre Kühleffizienz höher als die der luftgekühlten Anlagen. Hier werden PUE-Werte von unter 1,1 erreicht. Durch höhere Investitionskosten und schlechtere Nachrüstbarkeit ist ihr Anteil in den heutigen Rechenzentren allerdings gering [RZ & Infrastr. III/2017].

Seit einigen Jahren bildet sich ein Trend hin zu höheren Kühltemperaturen. Während früher noch 18 °C Zuluft-Temperatur üblich war, finden sich heute bereits 20–25 °C.

Technisch sind noch weitaus höhere Lufttemperaturen möglich. Die Erhöhung der Zulufttemperaturen senkt den Kühlbedarf des Rechenzentrums und damit auch den Strombedarf für die Kühlung, das verbessert wiederum die Wirtschaftlichkeit [Borderstep 2018]. Vor allem im Sommer fallen hohe Energiemengen für die Kühlung der Server an, im Winter reduziert sich die Kühlleistung aufgrund der geringeren Außenlufttemperaturen.

Eine direkte Nutzung der Abwärme eines Rechenzentrums ist nur bei flüssigkeitsgekühlten Anlagen möglich. Nur hier herrschen Temperaturniveaus, die direkt für die Beheizung von Gebäuden verwendet werden könnten. Sollten noch höhere Temperaturniveaus benötigt werden oder handelt es sich um ein luftgekühltes Rechenzentrum, dann kann die Abwärme als Quelle für eine Wärmepumpe dienen. Je näher die Abwärme-Temperatur am benötigten Temperaturniveau liegt, umso besser ist die Abwärme zur Nutzung geeignet.

3.3 Aktive Solarenergienutzung

Für das Stadtgebiet von Frankfurt wurden in bereits durchgeführten Studien potenziell nutzbare Flächen für die aktive Solarenergienutzung von etwa 2.514.800 m² ermittelt. Daraus ergibt sich ein technisches Erzeugungspotenzial für solarthermische Wärme von etwa 1.386 GWh/a bzw. für Strom aus Photovoltaik-Anlagen von etwa 1.201 GWh/a [IBP 05/2015]. Wird auch industrielle Prozesswärme (Dampf) als Abnehmer berücksichtigt, erhöht sich das Potenzial der solarthermischen Wärmeerzeugung auf etwa 2.225 GWh/a. Für die Region liegt das ermittelte Potenzial für solarthermische Wärme bei etwa 6.283 GWh/a bzw. für Strom aus Photovoltaik-Anlagen bei etwa 5.972 GWh/a. Damit bietet die aktive Solarenergienutzung laut o. g. Studie sowohl **im Stadtgebiet als auch in der Region das größte ungenutzte Potenzial** zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Um die auf die Erdoberfläche treffende Solarstrahlung in nutzbare Energie umzuwandeln, kann prinzipiell zwischen drei Anlagentypen unterschieden werden:

- thermische Solaranlagen zur Wärmeerzeugung,
- Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung und
- solarthermische Kraftwerke zur Stromerzeugung.

Solarthermische Kraftwerke werden hier nicht weiter behandelt, da das Strahlungsangebot in Mitteleuropa i. d. R. zu gering ist, um diese wirtschaftlich zu betreiben. Grundsätzlich sind bei der energetischen Nutzung der Solarstrahlung folgende Aspekte zu beachten:

- Das Solarstrahlungsangebot ist vom Standort abhängig. Für Frankfurt wurde zur Potenzialabschätzung eine jährliche Bestrahlung auf eine horizontale Ebene von 1.100 kWh/m² angesetzt (Details s. Abs. I.2.8).

- Die Solarstrahlung steht nur tagsüber zur Verfügung und unterliegt witterungsbedingten sowie jahreszeitlichen Schwankungen. Diese Schwankungen können teilweise durch Wärmespeicher ausgeglichen werden.
- Da Anlagen zur Solarenergiegewinnung nur einen Teil der jährlich einfallenden Solarstrahlung in Nutzenergie umwandeln können, sind meist mehr Flächen zur Gewinnung erforderlich als nur die Dachflächen der Gebäude um einen nennenswerten Anteil des Energiebedarfs (Wärme und Strom) zu decken. Je nach verwendeter Technologie müssen die Flächen zwischen Wärme- und Stromerzeugung aufgeteilt werden (s. Abb. 18), wodurch eine „Konkurrenzsituation“ entstehen kann.

3.3.1 Thermische Solaranlagen

Thermische Solaranlagen bestehen in der Regel aus Sonnenkollektoren und einem Wärmespeicher. Die Sonnenkollektoren können auf Dächern, an Fassaden oder auf Freiflächen installiert werden und wandeln die einfallende Solarstrahlung direkt in Wärme um, welche ggf. zwischengespeichert und dann für verschiedene Anwendungen genutzt werden kann:

- Warmwasserbereitung und Raumheizung,
- Wärmequelle für Wärmepumpen bzw. Regeneration von Wärmequellen,
- Prozesswärme.

Eine der einfachsten Möglichkeiten zur Solarenergienutzung für die **gebäudezentrale Wärmeversorgung von Wohngebäuden** sind Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung. Diese können über ein Jahr betrachtet bis zu 40 % der auf die Kollektorfläche einfallenden Solarstrahlung in Nutzwärme umwandeln (solarer Nutzungsgrad) und decken damit je nach Dimensionierung typischerweise zwischen 40 % und 60 % des Wärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung (solarer Deckungsanteil). Die größer dimensionierten solaren Kombianlagen können zusätzlich auch einen Anteil des Wärmebedarfs zur Raumheizung decken. Der erreichbare solare Gesamt-Deckungsanteil ist somit größer als bei Anlagen zur Trinkwassererwärmung, hängt jedoch sehr stark von der Anlagen-Dimensionierung und dem Energiestandard des Gebäudes sowie von der Anbindung an das restliche Wärmeversorgungssystem und den Temperaturniveaus im System ab. Solare Deckungsanteile von 50 % des Wärmebedarfs für Trinkwassererwärmung und Raumheizung sind bei gut gedämmten Ein- und Zwei- sowie bei kleinen Mehrfamilienhäusern mit marktüblichen Komponenten technisch problemlos möglich. Generell liegen die solaren Nutzungsgrade von Kombianlagen unter denen von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung. Grundsätzlich ist die Kombination von

thermischen Solaranlagen mit Biomasse-Kesseln oder Wärmepumpen vorteilhaft, da diese ebenfalls Pufferspeicher benötigen. Bestenfalls ist über die Sommermonate keine Wärmeabgabe des nicht-solaren Erzeugers notwendig. Sollen Solaranlagen in Gebäuden, die an ein Nah- oder Fernwärmenetz angeschlossen sind, flächendeckend zum Einsatz kommen, muss beachtet werden, dass die Reduktion der Wärmeabgabe die Wirtschaftlichkeit für den Wärmenetzbetreiber verschlechtern kann. Dies sollte im Vorfeld geprüft werden. Ein Ansatz zur Auflösung dieses Konflikts kann ein Betreibermodell für die Solaranlagen sein. Auch ein periodisches Herunterfahren des Wärmenetzes in den Sommermonaten kann eine Option sein.



Abb. 18: Beispiel für die Integration von Sonnenkollektoren (oben und rechts) und Photovoltaik-Modulen (links) in die Fassade eines Mehrfamilienhauses in Tübingen. (Quelle: Tourismus Marketing GmbH Baden-Württemberg)

Alternativ können größere Felder thermischer Sonnenkollektoren (bspw. auf Freiflächen) bei geeigneter Lage direkt an die Wärmezentrale eines **Nah- oder Fernwärmenetzes** angebunden werden. Dies wurde bereits in mehreren solaren Nahwärmeprojekten in Deutschland realisiert und ist häufig ein Kernelement der Wärmeversorgung sogenannter Bioenergiedörfer. Ähnlich wie bei den solaren Kombianlagen hängt der solare Nutzungsgrad von den Temperaturniveaus des Wärmenetzes ab. Je niedriger die Vor- bzw. Rücklauftemperatur im Netz desto größer

ist der Anteil der einfallenden Solarstrahlung, der genutzt werden kann. Solare Nahwärmesysteme, insbesondere mit saisonalen Speichern, haben einen größeren Flächenbedarf als herkömmliche Kesselanlagen und kommen daher nur in Randbereichen von Städten oder in ländlichen Gebieten in Frage. Bei Nahwärme-konzepten mit wärmegeführten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen muss beachtet werden, dass die Laufzeiten in den Sommermonaten durch die Solarthermie erheblich reduziert werden. Die Kombination von stromgeführten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen mit Solarthermie kann auf Grund des ohnehin notwendigen großen Speichers günstig sein.

3.3.2 Photovoltaik-Anlagen

Photovoltaik-Zellen wandeln Solarstrahlung direkt in Strom um. Die Zellen werden zu Modulen zusammengesetzt. Sie erzeugen eine Gleichspannung, die entweder direkt genutzt werden kann, i.d.R. aber über Wechselrichter in Wechselspannung umgewandelt wird, so dass der Strom in das allgemeine Stromnetz eingespeist werden kann.

Je nach Halbleitermaterial in den PV-Zellen unterscheidet man drei verschiedene Technologien: Dünnschichtzellen, mono- und polykristalline Siliziumzellen. Module mit polykristallinen Zellen sind am weitesten verbreitet und erreichen i.d.R. das beste Preis-Leistungs-Verhältnis. Sie erreichen Wirkungsgrade von 14 % bis 17 %.

Durch die zunehmend günstigeren Modulpreise ist es seit einigen Jahren wirtschaftlich, auf Flachdächern flach geneigte Photovoltaik-Module (PV-Module), bevorzugt in Ost-West Richtung, zu montieren, anstatt sie ideal nach Süden ausgerichtet aufzuständern. Diese Belegung hat mehrere Vorteile:

- es können mehr Module montiert werden, da eine gegenseitige Verschattung wie bei aufgeständerter Bauweise ausgeschlossen ist,
- dadurch kann eine höhere Peakleistung kW_p installiert werden,
- der Ertrag je Dach wird trotz des niedrigeren flächenspezifischen Ertrags gegenüber Aufständigung in der Regel höher,
- die Ertragskurve verläuft flacher, da in den Wintermonaten und in den Abend- und Morgenstunden mehr Zenitlicht genutzt wird, dies harmoniert in der Regel mit der Strom-Nachfrage,
- hinter der Dachaufkantung sind die Module aus dem Straßenraum nicht sichtbar.



Abb. 19: Flach geneigte PV-Module in Ost-West-Richtung.
Quelle: <http://www.wohnen-mit-energie.de/photovoltaik/anlagenbeispiele-photovoltaik-anlagen/>)

3.3.3 Aktive Solarenergienutzung im Kontext des Städtebaus

Das Potenzial der aktiven Solarenergienutzung hängt in erster Line von den zur Verfügung stehenden Flächen ab sowie der daraus resultierenden Orientierung und ggf. Neigung der Sonnenkollektoren bzw. Photovoltaik-Module. In städtischen Gebieten sind das hauptsächlich Dach- und Fassadenflächen, in weniger dicht bebauten Gebieten nach Möglichkeit auch Freiflächen. Auf Umfang, Art und Nutzbarkeit der Flächen kann im städtebaulichen Planungsprozess entscheidend Einfluss genommen werden. Folgende grundlegenden Hinweise und Empfehlungen werden gegeben:

- Es sollten möglichst viele Dach- und Fassadenflächen der Gebäude zur Solarenergiegewinnung vorgesehen werden. Dazu sollte ein Flächennutzungskonzept für die Gebäude erstellt werden.
 - Die Vielzahl an Produkten und Gestaltungsmöglichkeiten bei Photovoltaik-Modulen und Sonnenkollektoren ermöglicht individuelle Lösungen zur Integration in die Architektur eines Gebäudes und ggf. zur Vereinbarkeit mit einer weiteren Nutzung der Flächen.
- Die Orientierung der längsseitigen Fassade der Gebäude Richtung Süden mit einer Abweichung von $\pm 45^\circ$ ist für die Solarenergiegewinnung (sowie für die Reduktion des Wärmebedarfs) am günstigsten.
- Gebäude sollten so angeordnet werden, dass deren Dach- und Fassadenflächen möglichst wenig verschattet werden.

- Zusätzlich sollten nach Möglichkeit Freiflächen sowie geeignete Flächen an und um Infrastruktur-Bauwerke auf oder in der Umgebung des Gebiets zur Solarenergiegewinnung vorgesehen werden.

Nutzung von Freiflächen

Die alleinige Nutzung der Dach- und Fassadenflächen zur Solarenergiegewinnung reicht im Geschosswohnungsbau je nach Energiestandard und Ausnutzung der Flächen nur für einen erneuerbaren Deckungsanteil von 10 % bis 20 % am gesamten Wärme- und Strombedarf der Gebäude aus. Daher kann es sinnvoll sein, nahegelegene Freiflächen in die Solarenergieerzeugung einzubeziehen.

Vorteile

- **Bessere Wirtschaftlichkeit:** große Solaranlagen auf Freiflächen haben geringere spezifische Investitionskosten als Anlagen mit gleicher Gesamtgröße verteilt auf eine Vielzahl an einzelnen Dachflächen. Außerdem kann bei Freiflächenanlagen von einer einfacheren, und damit kostengünstigeren Wartung ausgegangen werden.
- **Ökologischer Mehrwert:** freie Grünflächen müssen zur Solarenergiegewinnung mit Sonnenkollektoren oder Photovoltaik-Modulen nicht versiegelt werden. Sie können daher nicht nur der ökologischen Energiegewinnung sondern auch zur (Wieder-) Ansiedlung verschiedener Tier- und Pflanzenarten dienen und damit einen Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt leisten. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die entstehenden Wiesen erst spät im Jahr gemäht werden.

Nachteile

- Es kann zu einer Konkurrenz mit anderen Nutzungen der Freiflächen kommen. Dies muss im städtebaulichen Planungsprozess abgewägt werden. Generell wird empfohlen, bevorzugt Flächen zur Energiegewinnung zu nutzen, deren Eignung für andere Nutzungen bereits eingeschränkt ist, zum Beispiel nahe einer Autobahn.
- Anfälligkeit gegen Einflüsse von außen (z.B. Tierverschiss, Diebstahl, Vandalismus) und damit verbunden ggf. höhere jährliche Kosten für Wartung und Instandhaltung.

Begrünung und Regenwasserrückhalt von Dächern

Generell lassen sich Sonnenkollektoren oder Photovoltaik-Module auf Flachdächern gut mit einer extensiven Dachbegrünung kombinieren. Ein Beispiel ist in Abb. 20 zu sehen. Für Photovoltaik-Module wirkt sich eine Begrünung sogar vorteilhaft auf den erzielbaren Jahresertrag aus, da die im Sommer auf einem begrünten Dach erreichten Maximaltemperaturen niedriger sind als auf einem Dach ohne Begrünung.



Abb. 20: Beispiel für die Kombination von Photovoltaik-Modulen mit einer extensiven Dachbegrünung. (Quelle: Paul Bauder GmbH & Co. KG)

- Es sollte geprüft werden, ob eine Begrünung des Daches zur Verbesserung des Mikroklimas notwendig ist und welche Anforderungen die Stadtentwässerung an die jeweilige Fläche hat. Es gibt sowohl für intensive als auch für extensive Dachbegrünungen technische Lösungen, die Regenwasser-Abflussspitzen dämpfen sowie dauerhaft als Regenwasser-Speicher bzw. -Rückhalt dienen können.
- Bei einer intensiven Begrünung sollte die Wuchshöhe der Pflanzen auf die Solaranlagen dahingehend abgestimmt werden, dass es nicht zu Verschattungen kommt.

3.3.4 Randbedingungen zur Abschätzung potenzieller Flächen in den Gebieten

Für die im Rahmen der Klimaschutzteilkonzepte untersuchten Baugebiete wurden die zur aktiven Solarenergienutzung verfügbaren Flächen sowie deren Orientierung, Neigung und Verschattung an Hand des jeweils vorliegenden Stands der städte- und landschaftsplanerischen Konzepte abgeschätzt. Ergänzend wurden angrenzende Gebiete im Hinblick auf nutzbare Fläche betrachtet.

Bei den Flächenangaben handelt es sich um Bruttoflächen ohne Abzug von nicht nutzbaren Anteilen für Schächte, Fenster/Oberlichter, Randabstände etc. Um diese zu berücksichtigen, werden folgende Annahmen getroffen:

Es wird davon ausgegangen, dass etwa 70 % dieser Bruttoflächen tatsächlich zur Errichtung von Solargeneratoren genutzt werden kann. Bei den gemischt genutzten Neubauten für Wohnen u. GHD, bei denen außerdem stark verschattete Dachflächen der Innenhofbebauungen sowie ggf. Dachterrassen u. ä. in der Bruttofläche enthalten sind, wird der nutzbare Anteil auf 50 % reduziert.

Tab. 36: Angenommenes Verhältnis von Netto- zu Bruttofläche für unterschiedliche Flächen zur Solarenergienutzung.

Art der Fläche	Verhältnis Netto- zu Bruttofläche
Flachdach eines privat/gewerblich genutzten Gebäudes ohne Dachterrasse u.ä.	0,70
Flachdach eines privat/gewerblich genutzten Gebäudes mit Dachterrasse u.ä.	0,50
Fassade eines privat/gewerblich genutzten Gebäudes	0,60
Flachdach eines öffentlichen Nichtwohngebäudes	0,70
Fassade eines öffentlichen Nichtwohngebäudes	0,70

Folgende Annahmen wurden für das Photovoltaik-Potenzial getroffen:

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

Folgende Randbedingungen wurden das Solarthermie-Potenzial angesetzt:

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

4 Energieeffizienzmaßnahmen bei Gebäuden

4.1 Allgemein

Energieeffizienz ist das Verhältnis zwischen dem Aufwand und dem Nutzen einer bestimmten Energiemenge. Je weniger Energie eingesetzt werden muss, umso energieeffizienter ist ein Produkt oder eine Dienstleistung. Energieeffizienz ist damit mit der Vermeidung von Energieverlusten gleichzusetzen. Bei der Nutzung von

Gebäuden sind vor allem folgende Dienstleistungen mit der Nutzung von Energie verbunden:

- beheizte Räume im Winter
- klimatisierte oder gekühlte Räume
- warmes Trinkwasser
- Beleuchtung bei nicht ausreichendem Tageslicht

Diese vier Anwendungsbereiche sind für ein Drittel der in Deutschland benötigten Endenergie verantwortlich (Abb. 30), wobei die Raumwärme mit allein 25 % herausragend ist.

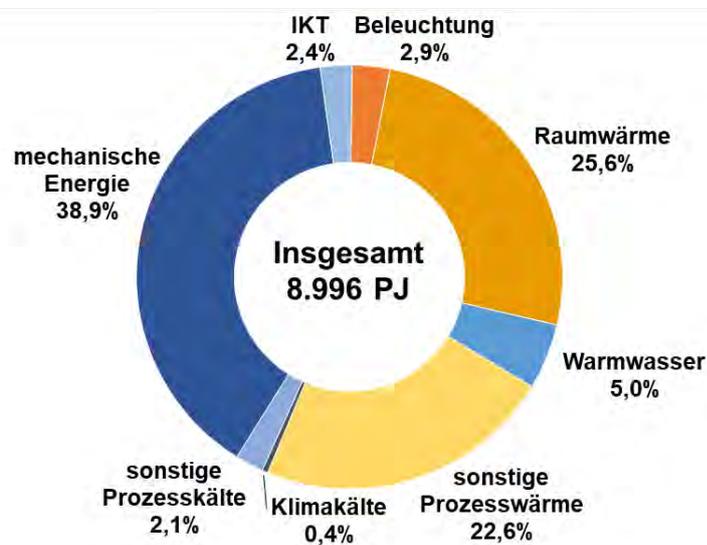


Abb. 21: Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen in Deutschland 2018 (Datenquelle: AG Energiebilanzen) IKT = Informations- und Kommunikations-Technik

Wird nur der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte betrachtet, beträgt der Anteil der Raumwärme sogar fast 70 % (Abb. 22) und die Warmwasserbereitung steht mit etwa 15 % an zweiter Stelle. Der hohe Anteil der Raumwärme geht vor allem auf den großen Anteil Bestandsgebäude zurück, die noch nicht oder nur wenig gedämmt sind.

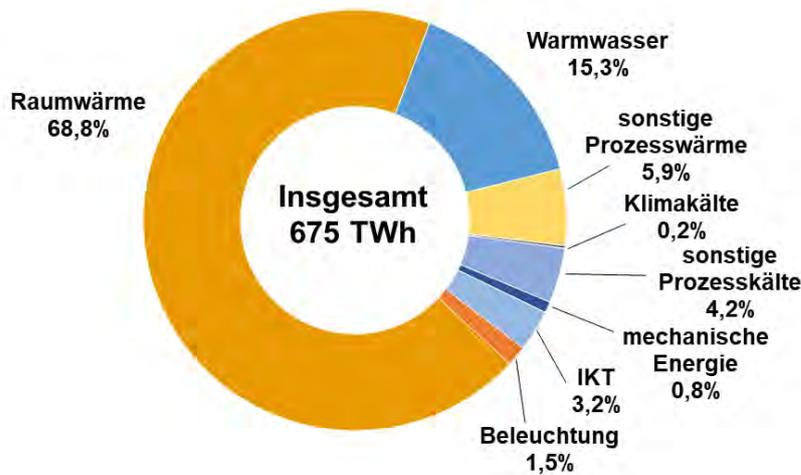


Abb. 22: Anteile der Anwendungsbereiche am Endenergieverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland 2017 (Datenquelle: AG Energiebilanzen, Anwendungsbilanzen, Stand 11/2018)

Bei Neubauten liegt der Anteil der Raumwärme deutlich niedriger, bei Gebäuden nach EnEV-Standard z.B. bei etwa 50 %. Weiterhin liegt jedoch in diesem Anwendungsbereich noch das größte Effizienz- und Einsparpotential.

Im Gebäudebericht der DENA [dena 2018] werden die Verbräuche der Gebäudebestands in Deutschland für Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Klimakälte (dort als Gebäudeenergieverbrauch bezeichnet) getrennt nach Wohn- und Nichtwohngebäude gezeigt.

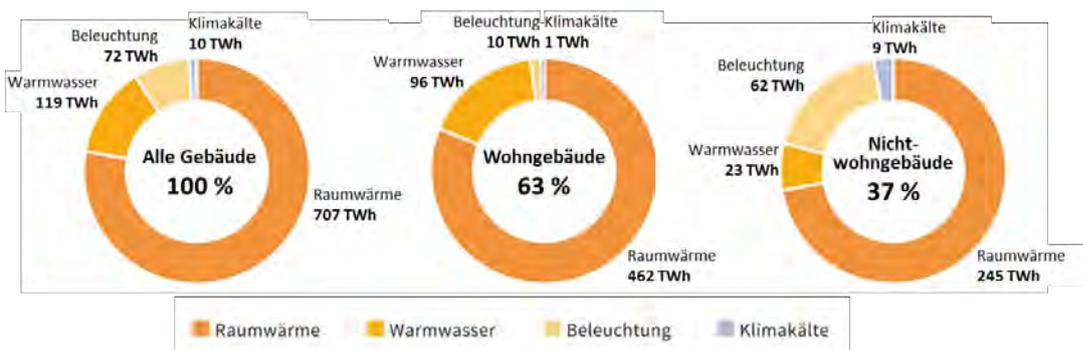


Abb. 23: Endenergiebezogener Gebäudeenergieverbrauch im deutschen Gebäudebestand nach [dena 2018]

Während bei den Wohngebäuden bezogen auf die Summe der vier Anwendungen die Raumwärme mit 81 % und das Warmwasser mit 17 % den höchsten Energieverbrauch verursachen, liegt bei den Nichtwohngebäuden die Beleuchtung mit 18 %

an zweiter Stelle hinter der Raumwärme mit 72 %. Auch hier gilt, dass bei Neubauten der Anteil der Raumwärme geringer ist, aber weiterhin an erster Stelle steht.

4.2 Energieeffizienz und Raumwärme

4.2.1 Einfluss des Städtebaus auf den Heizwärmebedarf

Der städtebauliche Entwurf beeinflusst den Heizwärmebedarf der späteren Gebäude vor allem durch die Vorgaben zu den Bauwerksvolumen und ihrer Kompaktheit (A/V-Verhältnis) sowie der Anordnung und Orientierung der Baukörper, die über die Verschattungssituation und das Potential der passiv-solaren Wärmegewinne entscheidet. Beides wird ausführlich im Kapitel über die energetische Bewertung von städtebaulichen Entwürfen behandelt.

4.2.2 Bedeutung des Gebäude-Energiestandards

Energieeffizienz bei der Raumwärme ist vom Gebäude-Energiestandard abhängig und hier wiederum insbesondere von der Kompaktheit des Baukörpers, vom Dämmstandard der Gebäudehülle, von der Größe der Fensterflächen und ihrer Orientierung, von der Luftdichtheit der Hülle und von einer eventuellen Wärmerückgewinnung bei der Raumlüftung. Das A/V-Verhältnis und die thermische Qualität der Außenbauteile bestimmen die Größe der Transmissions-Wärmeverluste, eine luftdichte Hülle und eine Wärmerückgewinnung reduzieren die Lüftungs-Wärmeverluste.

Die erforderliche Heizenergie ist beim Passivhaus je nach A/V-Verhältnis um etwa 50 bis 70 % geringer als beim gleichen Gebäude nach gesetzlichem Mindeststandard (EnEV 2016). Beim EnEV-Standard und den KfW-Effizienzhäusern ändert sich der Heizwärmebedarf je nach A/V-Verhältnis, da die Anforderung an die Gebäudedämmung in Relation zu einem geometrisch identischen Referenzgebäude definiert ist. Beim Passivhaus-Standard ändert er sich nicht, da hier ein absoluter Grenzwert von 15 kWh/(m²a) gilt, der unter Standardrandbedingungen mit dem PHPP-Berechnungsverfahren berechnet wird⁷.

⁷ In Abb. 24 ist der Wert größer als 15 kWh/(m²a), da anders als bei den Standardrandbedingungen von einer mittleren Raumtemperatur von 21,5 °C ausgegangen wird und die Verluste der Heizungsverteilung eingerechnet sind.

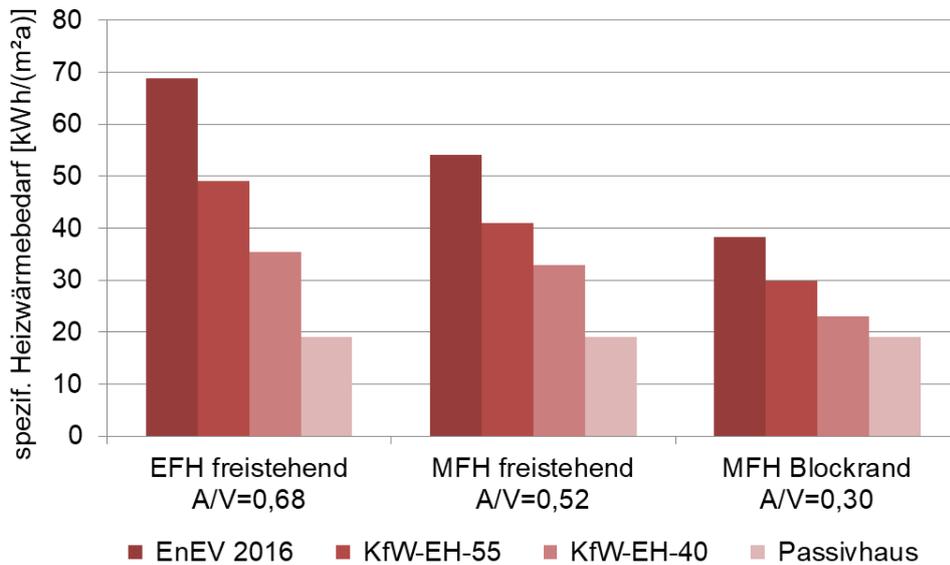


Abb. 24: Spezifischer Heizwärmebedarf (hier genauer die erforderliche, nutzbare Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers für die Raumheizung) von Wohngebäuden in Frankfurt a.M. in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis und Gebäude-Energiestandard bei einer mittleren Raumtemperatur von 21,5 °C

Es wird empfohlen, an dem Stadtverordneten-Beschluss festzuhalten, bei kommunalen Gebäuden und beim geförderten Wohnungsbau den Passivhaus-Standard einzuhalten. Darüber hinaus sollten bei allen anderen Bauvorhaben in Frankfurt a.M. Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude hinsichtlich der Gebäudehülle mindestens die Anforderungen des KfW-Effizienzhauses-55, Einfamilienhäuser mindestens die des KfW-Effizienzhauses-40 einhalten.

4.2.3 Bedeutung der Lüftungs-Wärmerückgewinnung

In Frankfurt a.M. muss die Gebäudehülle eines kleinen bis mittelgroßen Mehrfamilienhaus (MFH) in der Regel etwa die gleiche thermische Qualität haben wie ein KfW-Effizienzhaus-40. Der unterschiedliche Wärmebedarf zwischen KfW-Effizienzhaus-40 und dem Passivhaus geht somit im Wesentlichen auf die Wärmerückgewinnung der mechanischen Lüftungsanlage zurück. Im Fall des MFH mit A/V-Verhältnis 0,52 bedeutet dies eine weitere Reduzierung um etwa 14 kWh/(m²a) oder etwa 60 %.

Bei noch kompakteren Gebäuden wie z.B. einer Blockrandbebauung reicht i.d.R. eine Hülle entsprechend den Anforderungen für ein KfW-Effizienzhaus-55 aus. Durch die nun geringere Wärmedämmung des Passivhauses reduziert sich der Unterschied zum KfW-Effizienzhauses-40. Der thermische Vorteil einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung wird nun aus der Differenz des Wärmebedarfs zwischen

Passivhaus und KfW-EH-55 deutlich (im Beispiel aus Abb. 24 etwa 11 kWh/(m²a) entsprechend einer Reduktion von ca. 35 %).

Für eine Gesamtbilanz muss bei den Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung der zusätzlich notwendige Stromeinsatz berücksichtigt werden. Je nach ökologischer Qualität der Wärmeversorgung (Primärenergie-Faktor, Treibhausgas-Faktor) und mit den Werten für den aktuellen deutschen Strom-Mix kann die Primärenergie- oder Treibhausgas-Bilanz negativ ausfallen. In Hinblick auf eine zukünftige, dekarbonisierte und rein regenerative Energieversorgung hat die Lüftungs-Wärmerückgewinnung jedoch auf jeden Fall den Vorteil, den Endenergieeinsatz insgesamt zu reduzieren und dies vor allem während den zukünftig für die Energieversorgung kritischen Kälteperioden. Es gibt nur wenige Systeme, die Raumwärme im Winter so effizient zur Verfügung stellen können wie eine Lüftungs-Wärmerückgewinnung (siehe dazu Abb. 25).

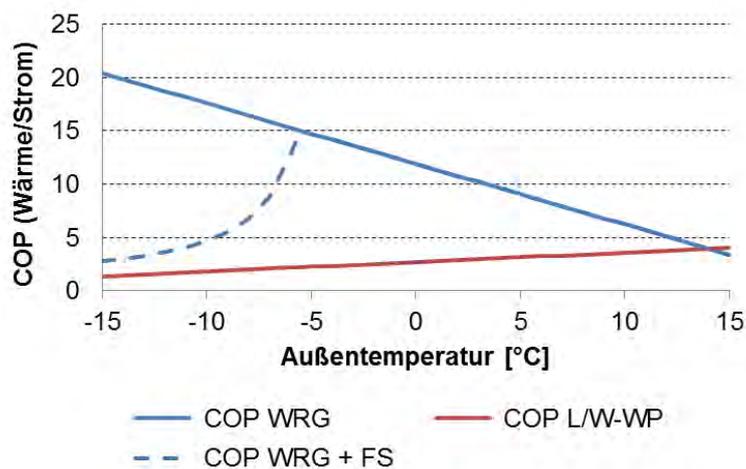


Abb. 25: Vergleich des Leistungsfaktors (COP) einer Lüftungs-Wärmerückgewinnung (WRG) und einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP) unter Berücksichtigung der Frostschutzschaltung der Lüftungsanlage (FS) in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Neben den energetischen Gesichtspunkten sollten bei Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung auch Aspekte des gesteigerten Komforts und der besseren Wohnqualität berücksichtigt werden:

- Kontinuierlich gute Raumluftqualität
- Schutz vor Staub und Pollen in der Außenluft (Allergiker*innen)
- Vermeidung von Zugerscheinungen / Kaltlufteinfluss beim Lüften
- Schallschutz nach außen
- Verminderte sommerliche Überhitzung

Sie sind allerdings auch mit Mehraufwand verbunden:

- Höhere Investitionen (ca. 60 EUR/m² Mehrkosten⁸ gegenüber Abluftanlage)
- Höhere Kosten für Wartung und Instandhaltung (ca. 1,50 EUR/(m²a) netto)
- Wohnflächenverlust (ca. 0,5 % der Wohnfläche im Geschosswohnungsbau durch größere Installationsschächte gegenüber einer Abluftanlage)
- Stromeinsatz (etwa 2,0 bis 2,5 kWh/(m²a) gegenüber etwa 1,0 bis 1,2 kWh/(m²a) bei Abluftanlagen⁹)

Mechanische Zu-/Abluftanlagen erfordern eine sorgfältige und fachgerechte Planung und Ausführung, damit sie tatsächlich energieeffizient funktionieren, der Schallschutz eingehalten wird, es zu keinen Zugerscheinungen kommt und die Bedienung einfach ist.

Es wird empfohlen, den vermehrten Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit hocheffizienter¹⁰ Wärmerückgewinnung in Neubaugebieten durch Beratung von Investoren und ihrer TGA-Planer, durch Schulungsangebote für Planer und Handwerker sowie durch eine finanzielle Förderung durch die Stadt zu unterstützen.

4.2.4 Effiziente Bereitstellung von Raumheizwärme

Für die Bereitstellung von Raumwärme sind eine Wärmeerzeugung, eine eventuelle Wärmespeicherung sowie Verteil- und Übergabesysteme erforderlich. Um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erreichen, müssen die Wärmeverluste bei allen Teilsystemen und die erforderliche Hilfsenergie, z.B. für Heizungspumpen, minimiert werden. Alle Komponenten müssen dafür sinnvoll geregelt werden, genauso wie die Raumtemperatur, die möglichst nahe an der gewünschten Solltemperatur gehalten werden soll.

All diese Punkte betreffen die Planung und Ausführung der Heizungsanlage in den Gebäuden, auf die von Seiten der Stadt und vor allem im Rahmen der Bauleitplanung kaum Einfluss genommen werden kann. Mindestanforderungen an die Energieeffizienz ergeben sich allerdings aus Normen und Gesetzen (z.B. EU-Öko-design-Richtlinie für energieverbrauchsrelevante Produkte oder EnEV für die Mindestdämmung von Wärmeverteilungen). Hinweise und Erläuterungen zu den zahlreichen Punkten und Aspekten, die bei einer energieeffizienten Planung und Ausführung von Heizungsanlagen zu beachten sind, sind nicht Gegenstand dieser

⁸ Mehrkosten netto für fertig installierte Anlage, ohne Baunebenkosten

⁹ unter der Annahme effizienter Anlagen und fachgerechter Planung und Ausführung

¹⁰ unter „hocheffizienter Wärmerückgewinnung“ wird hier ein Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 75 % verstanden

Studie. Es wird auf die entsprechenden Gesetze, Normen und Fachbücher verwiesen.

In Bezug auf die Nutzung von erneuerbaren Energien oder von Abwärme wird allerdings auf einen wichtigen Aspekt hingewiesen. Abwärme und Umweltwärme befinden sich oftmals nur auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau und können nur unter Zuhilfenahme von Wärmepumpen nutzbar gemacht werden. Je niedriger die Betriebstemperaturen des Heizungssystems liegen, umso effizienter arbeiten die Wärmepumpen. Das Gleiche gilt i.d.R. für die thermische Nutzung von Solarenergie. Je niedriger das Temperaturniveau auf dem die Solarwärme genutzt werden kann, umso effizienter funktionieren Solarkollektoren, Speicher und Wärmeverteilung.

Für eine effiziente Einbindung und Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme sind in vielen Fällen Niedertemperatur-Heizungen mit niedrigen Betriebstemperaturen vorteilhaft. Auch bei einer Fernwärmeversorgung können durch solche Heizungssysteme niedrigere Rücklauftemperaturen erreicht werden, die die Einbindung regenerativer Energien erleichtert. Die Stadt sollte die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um die Realisierung von Niedertemperatur-Heizungen in Neubaugebieten weitestgehend und wo immer möglich zum Standard werden zu lassen. Die Instrumente können dabei von der Beratung der Investoren und ihrer TGA-Planer, über finanzielle Förderungen bis hin zu Festlegungen in Fernwärme-Anschluss-Satzungen gehen.

4.3 Effiziente Trinkwarmwasser-Bereitung

Die erforderliche Energie zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser (TWW) ist unabhängig von den Gebäudeeigenschaften und hängt neben dem eigentlichen Nutzerverhalten im Wesentlichen von der Gebäudenutzung und dem System zur TWW-Bereitung ab. Bei Wohngebäuden mit sehr guten Energiestandards kann die Energie zur Warmwasserbereitung in der gleichen Größenordnung liegen wie die zur Raumheizung.

Da Trinkwarmwasser aus hygienischen Gründen in den meisten Fällen auf über 60 °C erwärmt werden muss, das Trinkwarmwasser meist gespeichert wird und TWW-Verteilleitungen mit mehr als 3 Liter Inhalt zirkuliert werden müssen, ist die Bereitstellung von Trinkwarmwasser meist mit hohen Verlusten verbunden. Nicht selten sind diese höher als die eigentliche Nutzwärme. Wie bei der Raumwärme sind für eine energieeffiziente TWW-Bereitstellung eine effiziente Wärmeherzeugung, gut gedämmte Speicher und Verteilleitungen notwendig. Durch die Wahl entsprechender Armaturen (Spar-Duschköpfe mit Durchflussbegrenzer, Sensorarmaturen etc.), kann der TWW-Bedarf gesenkt werden, ohne dass der Nutzen eingeschränkt wird.

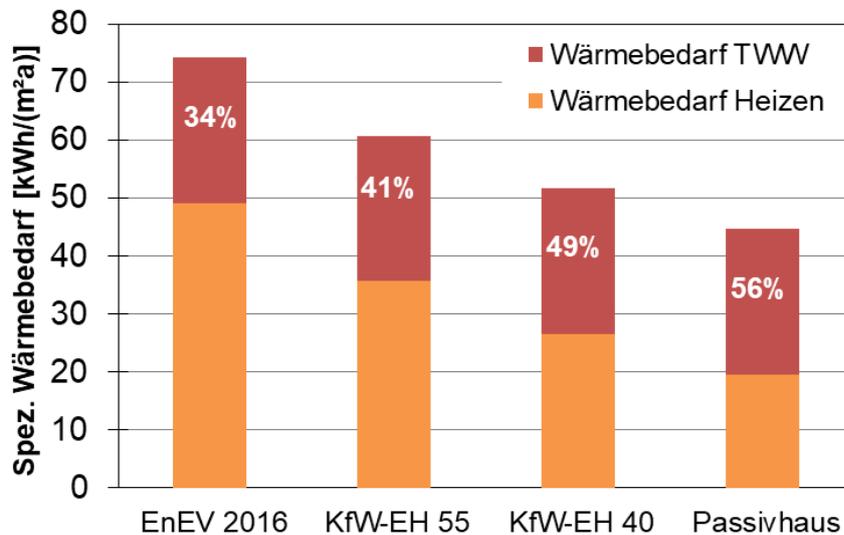


Abb. 26: Wärmebedarf¹¹ für Raumheizung und TWW-Bereitung in Abhängigkeit vom Gebäude-Energiestandard sowie Anteil der TWW-Bereitung an der Gesamtwärme am Beispiel eines Reihenhauses

In Nichtwohngebäuden mit geringem Warmwasserbedarf an den einzelnen Zapfstellen ist i.d.R. eine dezentrale, elektrische Warmwasserbereitung effizienter als ein zentrales TWW-System mit Zirkulation.

In Mehrfamilienhäusern können alternativ zu einer zentralen TWW-Bereitung auch wohnungsweise Übergabestationen eingesetzt werden, in denen das Trinkwarmwasser dezentral über Plattenwärmetauscher erzeugt wird. Das wohnungsseitige TWW-Verteilnetz sollte nicht mehr als 3 Liter Inhalt haben, damit keine Zirkulation erforderlich ist. Die Wärmeverteilung zwischen Wärmeerzeuger und Wohnungen kann dann ausschließlich über das Heizungsverteilnetz erfolgen, das dann allerdings ganzjährig betrieben werden muss. Bei Niedertemperatur-Heizsystemen kann die Wärmeverteilung durch ein 3-Leiter-Verteilnetz optimiert werden (siehe Abb. 27).

TWW-Systeme mit Wohnungsübergabestationen haben folgende Vorteile:

- Geringere Temperaturen in der Wärmeverteilung möglich
- Energieeinsparung auf Grund stark reduzierter Zirkulation
- Energieeinsparung durch geringere Wärmeverluste der Leitungen
- Keine TWW-Zirkulation, Reduzierung der Legionellen-Problematik
- Bessere Einbindung regenerativer Energien durch niedrigere Rücklauf-temperaturen möglich

¹¹ nutzbare Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers für die Raumheizung bzw. TWW-Bereitung

Sie sind allerdings auch mit Mehraufwendungen und Einschränkungen verbunden:

- Höhere Investitionen gegenüber klassischen Systemen (Mehrkosten ca. 10 EUR/m²).
- Wohnungsübergabestationen müssen für Wartung zugänglich sein.
- Eingeschränkte Grundrissgestaltung (3-Liter-Regel).

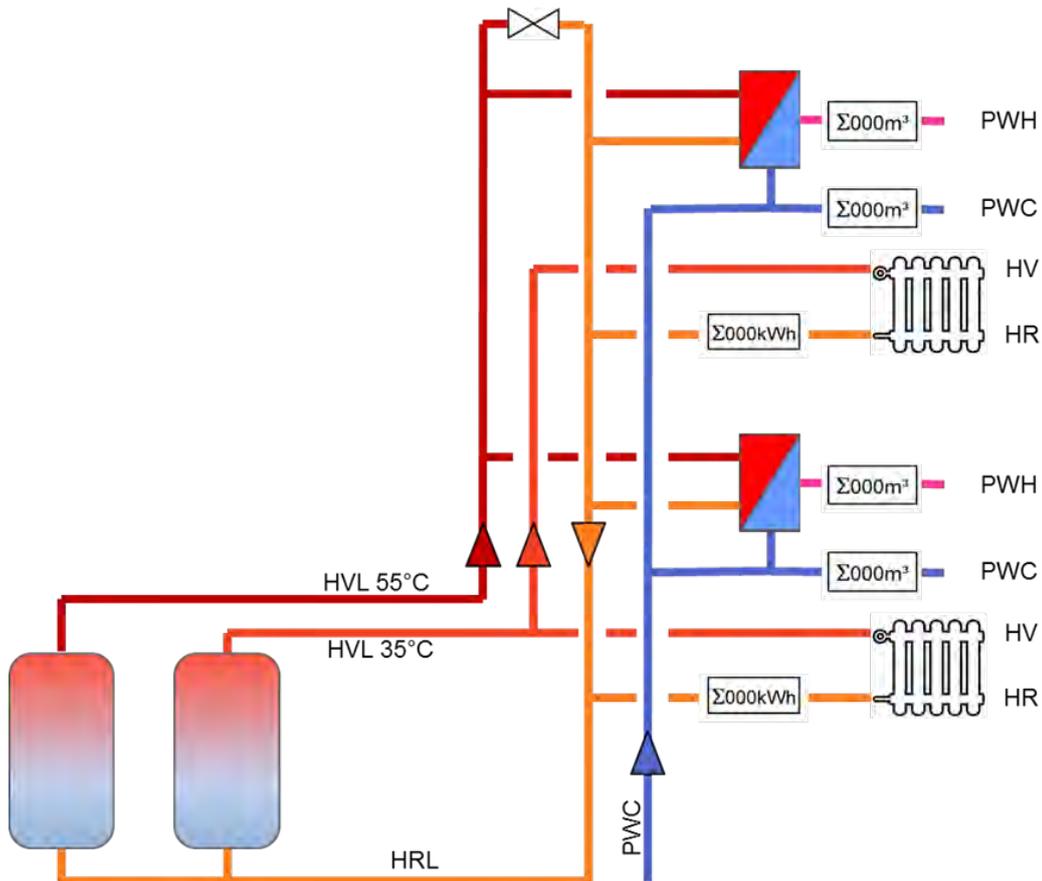


Abb. 27: Beispiel eines Wärmeverteilsystems mit Wohnungsübergabestationen und 3-Leiter-System (HVL bzw. HV Heizungsvorlauf, HRL bzw. HR Heizungsrücklauf, PWH Trink-Warmwasser, PWC Trink-Kaltwasser)

Vor allem unter dem Gesichtspunkt einer besseren Einbindung und effektiveren Nutzung von erneuerbaren Energien sollte die Stadt durch Beratung der Investoren und ihrer TGA-Planer sowie über finanzielle Förderungen den Einbau von solchen Systemen fördern.

4.4 Effiziente Gebäudekühlung

Derzeit spielt die Raumkühlung oder -klimatisierung beim Energieverbrauch in Deutschland nur eine untergeordnete Rolle. Nur ungefähr ein bis zwei Prozent der

Wohnfläche wird heute gekühlt. Demgegenüber sind etwa die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude mit Klimatisierungsvorrichtungen ausgestattet. Es wird erwartet, dass sich die energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2030 in diesem Bereich verdoppeln werden. Bei Nichtwohngebäuden insgesamt ist mit einem Anstieg um 25 Prozent zu rechnen [UBA°2011].

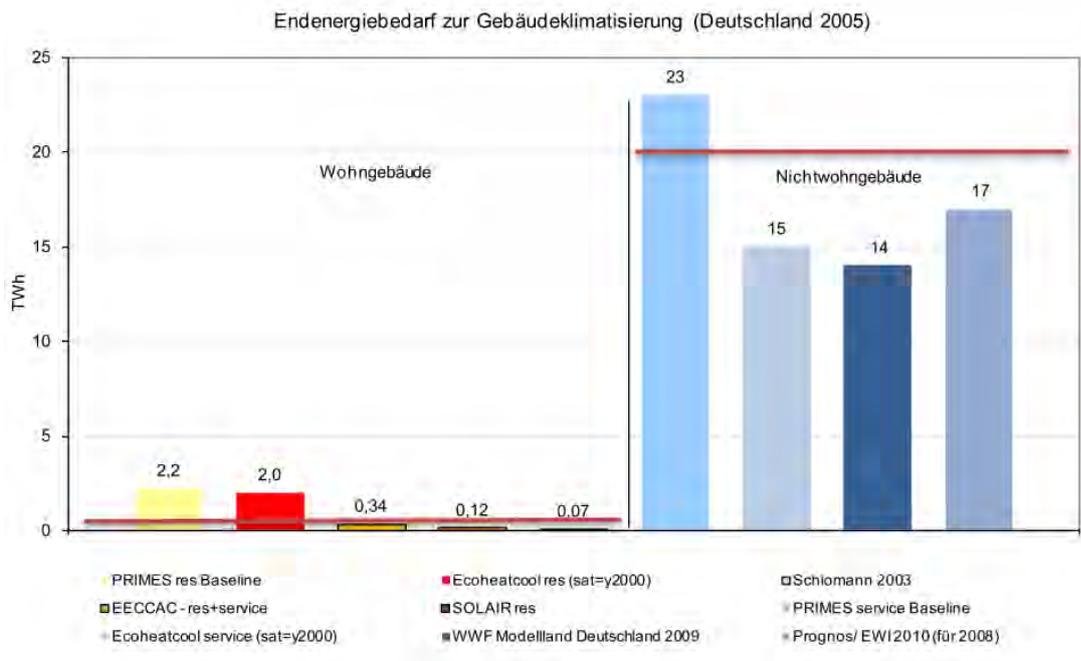


Abb. 28: Endenergiebedarf der Gebäudekühlung in Deutschland 2005 (Abbildung aus [UBA°2011])

Die Gebäudekühlung gewinnt angesichts vermehrter Hitzeperioden und steigender Temperaturen durch den Klimawandel zunehmend an Bedeutung. Vor allem Nichtwohngebäude wie Versammlungsstätten, Bürogebäuden, Schulen, Krankenhäusern oder Seniorenheimen benötigen zukünftig mehr Kühlung. Aber es ist auch mit einer Zunahme von gekühlten Wohnräumen zu rechnen.

Der Grundsatz bei allen Energieanwendungen gilt bei der Gebäudekühlung ganz besonders: Vermeidung ist die beste Lösung. Dies beginnt bereits bei der Raum- und Stadtplanung. Dort sind auf folgende Maßnahmen zu achten:

- Im Rahmen der Regionalplanung ist auf die Funktion von Kaltluftentstehungs- und Luftregenerationsgebieten zu achten.
- Bei städtebaulichen Entwicklungen ist auf Kaltluftleitbahnen und Frischluftschneisen zu achten, die sommerliche Temperaturextreme in hitzebelasteten Quartieren reduzieren. Die geplante Bebauung ist anhand der sommerlichen Windrichtungen auf eine gute Luftdurchströmung im Sommer zu prüfen.

- Bäume entlang von Wegen und Straßen, begrünte Plätze, ausreichend Grün- und Wasserflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung können durch Verschattungs- und Kühlwirkung das lokale Außenklima verbessern.
- Verschattungszonen durch Bepflanzung oder architektonische Elemente vor allem auf Plätzen schaffen, verbunden mit dem sinnvollen Einsatz von Wasser (Brunnen, Teiche, Verdunstungsbereiche durch Wassersprüher oder befeuchtete Oberflächen...).
- Dunkle und stark absorbierende Oberflächen im Außenbereich vermeiden;
- die geplante Bebauung anhand der sommerlichen Windrichtungen auf eine gute Luftdurchströmung im Sommer prüfen.

Durch diese Maßnahmen können lokale Überhitzungen in Quartieren gemindert und die Bedingungen für eine Gebäudekühlung durch sommerliche Nachlüftung verbessert werden.

Bei den Gebäuden selbst sind die wesentlichen Maßnahmen zur Reduzierung oder Vermeidung von Kühllasten:

- genügsame und an den Belichtungsbedarf angepasste Fensterflächen;
- wirksamer, außenliegender Sonnenschutz vor verglasten Flächen;
- Reduzierung von internen Wärmelasten;
- Nutzung von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, die bei hohen Außentemperaturen als „Kälte“-Rückgewinnung funktioniert;
- sinnvolle Nutzung von thermischen Speichermassen im Gebäude
- Ermöglichung von sommerlicher Nachtkühlung, wenn möglich über natürliche Lüftung.

Die meisten Wohngebäude werden bei Berücksichtigung o.g. Punkte und bei einem angepassten Verhalten der Bewohner*innen auch zukünftig weitgehend ohne oder nur mit wenig aktiver Kühlung auskommen. Falls eine sommerliche Nachtkühlung über Fenster aus Schallschutzgründen nicht möglich ist oder andere Gründe vorliegen, die zu Überhitzungsproblemen in Wohnungen führen, können folgende technischen Möglichkeiten eingesetzt werden:

- Bei Zu-/Abluftanlagen eine höhere Luftwechselstufe für eine mechanische Nachlüftung vorgesehen werden. Dabei ist auf ein entsprechend dimensioniertes und druckverlustarmes Kanalnetz und auf Luftdurchlässe, die auch bei erhöhten Luftvolumenströmen keine Schallprobleme verursachen, zu achten.
- Bei Zu-/Abluftanlagen kann im Außenluftstrang ein Luft- oder Sole-Erdwärmetauscher eingebaut werden, mit dem besonders heiße Außenluft um einige Grad abgekühlt werden kann.

- Werden Wärmepumpen als Wärmeerzeuger eingesetzt, können Fabrikate verwendet werden, die auch zur Kühlung geeignet sind. So kann z.B. die Zuluft von Zu-/Abluftanlagen gekühlt werden oder die Fußbodenheizung im Sommer zur Kühlung verwendet werden.

Bei allen mit mechanischen Lüftungsanlagen verbundenen Kühlstrategien ist zu beachten, dass mit den in Wohnungen üblichen Luftwechselraten nur geringe Kühlleistungen übertragen werden können und die Wirkung somit begrenzt ist.

Bei Nichtwohngebäuden, die sollten nach Möglichkeit zunächst Verfahren der freien Kühlung zum Einsatz kommen, bevor aktive Kälteerzeugungsanlagen zum Einsatz kommen. Dazu zählen u.a.:

- Sommerliche Nachtlüftung;
- Luft- oder wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher;
- Direkte Wärmeabfuhr über Erdsonden, Erdkollektoren, Energiepfähle oder erdberührte Bauteile von Tiefgaragen u. Ä.;
- Direkte Wärmeabfuhr über die Fortluft von Lüftungsanlagen oder Rückkühler bzw. Kühltürme ohne Zwischenschaltung eines Verdichters.

Übergabesysteme wie Flächenheizungen **oder thermisch aktivierte Bauteile** (TAB) – auch unter Betonkerntemperierung (BKT) bekannt – begünstigen die Raumkühlung durch freie Kühlung, da Medientemperaturen nahe der gewünschten Komforttemperatur verwendet werden können. Durch kühle Bauteil-Oberflächen können dank Strahlungsaustausch komfortable Raumzustände und operative Temperaturen unterhalb der Lufttemperatur erreicht werden. Bei TAB ist zu beachten, dass die Regelfähigkeit teilweise eingeschränkt ist.

Bei hohen Belegungsdichten können mit **Quelllüftungsstrategien** relativ hohe Leistungen mit relativ geringen Luftmengen abgeführt werden, was insbesondere den Hilfsenergieeinsatz für den Kälte-transport minimieren hilft.

Bei der Notwendigkeit aktiver Kälteerzeugung, bietet die **adiabate Kühlung** eine energieeffiziente Möglichkeit. Das Prinzip beruht darauf, dass bei der Verdunstung von Wasser der Umgebung Wärme entzogen wird. So wird z.B. bei der adiabaten Abluftkühlung Wasser in der Abluft einer Lüftungsanlage verdunstet, die Abluft kühlt ab und kann ihrerseits über einen hocheffizienten Wärmetauscher die Zuluft der Lüftungsanlage kühlen. Leistungsbegrenzungen insbesondere bei hohen Luftfeuchten sind zu beachten.

Solare Kühlung bietet die Möglichkeit, den Anteil erneuerbarer Energie bei der Kälteerzeugung zu erhöhen. Sie hat zudem den Vorteil, dass hohe Kühllasten oft mit hoher Solarstrahlung einhergehen. Bei der solaren Kühlung wird die Kälte mit Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen mit einem sogenannten „thermischen Verdichter“ erzeugt. Dabei wird Solarwärme zur Desorption, d. h. zur Trennung von

Kältemittel und Sorptionsmittel verwendet. Statt Solarwärme kann auch Abwärme oder Fernwärme verwendet werden. Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen unterscheiden sich vor allem in der Art der verwendeten Sorptionsmittel. Es ist zu beachten, dass die abzuführenden Wärmemengen deutlich höher sind, als bei Kompressions-Kältemaschinen.

Besteht ein gleichzeitiger Bedarf an Wärme und Kälte bietet sich der Einsatz von **Kälte-Wärmepumpen**, die gleichzeitig nutzbare Wärme und Kälte erzeugen. Gegenüber einer Wärmepumpe oder einer Kältemaschine ist der Nutzen doppelt und die Leistungszahl entsprechend höher.

4.5 Hilfsstrom für haustechnische Anlagen

Heizungs-, TWW-, Kühl- oder Lüftungsanlagen benötigen Hilfsaggregate wie Umwälzpumpen, Ventilatoren, elektrische Steuer- und Regelungseinrichtungen. Alle diese Aggregate benötigen Strom, damit die eigentliche Dienstleistung (Heizen, Kühlen, Lüften...) erbracht werden kann, der deshalb als Hilfsstrom bezeichnet wird.

In neuen Wohngebäuden liegt der Energiekennwert für den Hilfsstrom in den meisten Fällen zwischen 2 und 7 kWh/(m²a), vor allem in Abhängigkeit der vorhandenen Lüftungsanlage und möglicher Solarthermieanlagen. In Mehrfamilienhäusern können darüber hinaus noch Verbräuche für Allgemeinstrom z. B. für Sprech- oder Aufzugsanlagen vorliegen, die ebenfalls zur Nutzung des Gebäudes erforderlich sind [BEI 2009]. Bei Nichtwohngebäuden können die Werte für Hilfsenergie deutlich höher liegen, vor allem wenn Lüftungsanlagen mit hohem Luftwechsel oder Klimaanlage betrieben werden.

Moderne, effiziente Elektromotoren vor allem in Hocheffizienzpumpen und Ventilatoren erlauben heute einen sehr effizienten Stromeinsatz für Hilfsenergie. Dazu sind allerdings auch fachgerechte Planung, Dimensionierung, Ausführung und Einregulierung nötig. Außerdem müssen die Betriebszeiten auf den tatsächlichen Bedarf abgestimmt sein.

In letzter Zeit ist ein verstärkter Stromeinsatz für „smarte“ Technologien wie z.B. vernetzte Haushaltsgeräte oder Beleuchtungseinrichtungen sowie für Gebäudeleit- und MSR-Technik¹² zu beobachten. Der Einsatz dieser Technologien wird oftmals auch mit Energieeinsparungen begründet. Die Kurzstudie [BUND 2018] stellt demgegenüber als eine zentrale Erkenntnis im Bereich vernetzter Haushaltsprodukte fest: „Die Vernetzung von bisherigen Produkten kann zu erheblichen Mehrverbräuchen von Energie und Ressourcen führen – europaweit könnten so Mehrverbräuche von bis zu 70 TWh im Jahr entstehen; pro Gerät bis zu 26 kWh. Hierfür ist insbesondere

¹² MSR: Messen, Steuern, Regeln

der Standby-Stromverbrauch im vernetzten Bereitschaftsbetrieb verantwortlich. In vielen Produktkategorien bleibt es offen, ob ein tatsächlicher Mehrwert (...) durch die zusätzliche Vernetzung entsteht.“ ([BUND 2018], Seite 4). Es ist deshalb unter Energieeffizienzgesichtspunkten immer zu prüfen, ob eine Vernetzung und der Einsatz komplexer MSR-Technik in der Summe tatsächlich zu Energieeinsparungen führen.

4.6 Innenraumbeleuchtung

Der Anteil des Stromverbrauchs für die künstliche Innenraumbeleuchtung beträgt in Wohngebäuden nur etwa 2 % des Endenergieverbrauchs und der Verbrauch lag 2015 insgesamt bei 10 TWh [dena 2018]. Spezifische Verbrauchskennwerte liegen je nach Ausstattungsgrad, Belegung und Nutzerverhalten in einem weiten Bereich zwischen 1 und 8 kWh/(m²a), der Mittelwert liegt nach [dena 2018] bei 2,7 kWh/(m²a). Durch höhere Anforderungen an die Beleuchtungsstärke und die höhere Belegung liegen die Verbrauchskennwerte in Nichtwohngebäuden meist höher. Der Anteil am Gebäude-Energieverbrauch liegt dort etwa bei 20 % und betrug in 2015 62 TWh [dena 2018]. Der Mittelwert liegt bei 46 kWh/(m²a), wobei dieser Wert wenig Aussagekraft hat, da es je nach Gebäudenutzung sehr große Unterschiede gibt.

Verschiedene Normen und Richtlinien definieren Anforderungen an die Innenraumbeleuchtung, sei es durch Tageslicht oder Kunstlicht (siehe z.B. [DIN EN 12464-1:2019] oder [DIN EN 17037:2019]). Tageslicht und Kunstlicht ergänzen einander bei der Innenraumbeleuchtung. Optimierte Tageslichtnutzung und tageslichtabhängige Steuerungssysteme für die künstliche Beleuchtung sind deshalb wesentliche Maßnahmen zur Reduzierung des Kunstlicht- und dem damit verbundenen Strombedarfs.

Die Voraussetzungen werden bei Neubaugebieten bereits durch den städtebaulichen Entwurf geschaffen, bei dem eine ausreichende Belichtung der Fassaden und eine Minimierung der Verschattung wichtige Kriterien darstellen. In städtischen Quartieren kann dies zu Zielkonflikten mit möglichst hohen städtebaulichen Dichten führen. Die tatsächlich unter den gegebenen Randbedingungen optimale Tageslichtnutzung ergibt sich allerdings erst aus der konkreten Gebäudeplanung, insbesondere der sinnvollen Größe und Anordnung von Verglasungsflächen, der Vermeidung von zu vielen und zu weit auskragenden Bauteilen wie Balkone u. Ä. sowie einer sinnvollen Grundrissgestaltung.

Zur Reduzierung der Beleuchtungsenergiebedarfs geht es im Weiteren um die Ausstattung der Innenräume mit effizientem Kunstlicht (LED-Technik), angepasster Beleuchtungsstärken und – soweit sinnvoll – Steuer- und Regelungseinrichtungen.

4.7 Zusammenfassung und Maßnahmenempfehlungen

Werden nur die für die Nutzung eines Wohngebäudes erforderlichen Energieanwendungen (Raumwärme, Warmwasser, Klimakälte, Beleuchtung, Hilfsenergie und Allgemeinstrom) betrachtet, wird die Bedeutung der Raumwärme und entsprechend des Gebäude-Energiestandards bei Neubauten deutlich. In Abb. 29 wird dies am Beispiel eines mittelgroßen Mehrfamilienhauses dargestellt.

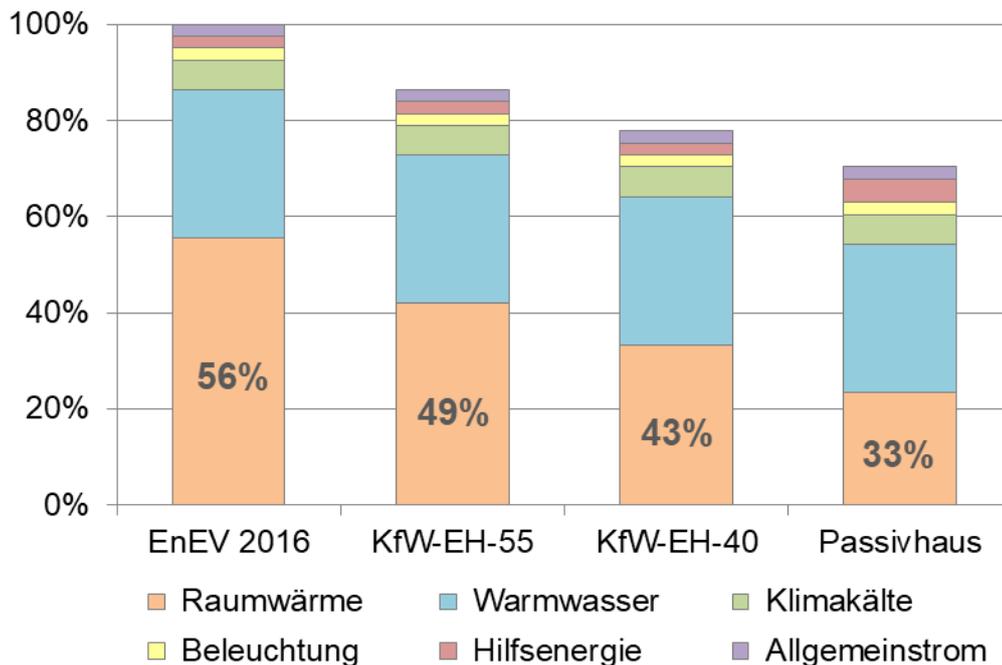


Abb. 29: Gebäudeenergiebedarf für einen mittelgroßen Mehrfamilienhaus-Neubau in Frankfurt a. M. in Abhängigkeit des Gebäude-Energiestandards (eigene Berechnungen)

Mit dem KfW-Effizienzhaus-55-Standard kann der Bedarf um 16 % gegenüber dem EnEV-Standard gesenkt werden. Beim KfW-Effizienzhaus-40-Standard beträgt die Einsparung 22 % und beim Passivhaus-Standard sogar 30 %. Der Anteil der Raumheizwärme an der Summe der betrachteten Anwendungen sinkt dabei von 56 % auf 33 %.

Neben einer thermisch hochwertiger Gebäudehülle trägt auch eine Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu einer deutlichen Senkung des Heizwärmebedarfs bei.

Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Kommunale Neubauvorhaben sollen im Passivhausstandard realisiert werden, wie dies weitgehend der derzeitigen Beschlusslage entspricht (siehe dazu den Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 28.01.2010).

- Die über das Frankfurter Programm für den Neubau von bezahlbaren Mietwohnungen geforderten Neubauten sollen im Passivhausstandard realisiert werden, wie dies weitgehend den derzeitigen Richtlinien entspricht (siehe [Stadt FfM 2017] und [Stadt FfM 2018]).
- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um bei Neubauvorhaben von privaten Bauherr*innen oder Investoren, die nicht unter die beiden erstgenannten Punkte fallen, die Realisierung einer energetischen Qualität der Gebäudehülle, die über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgeht, zu erreichen. Für Einfamilienhäuser wird empfohlen, die Anforderungen für das KfW-Effizienzhaus-40 einzuhalten, für Mehrfamilienhäuser diejenigen für das KfW-Effizienzhaus-55.
- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um den vermehrten Einsatz von Zu-/Abluftanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung in Neubauten zu fördern.

Die effiziente Einbindung und Nutzung von erneuerbaren Energien erfordert oft technische Voraussetzungen bei den gebäudeseitigen Haustechnik-Systemen. Meist geht es dabei um die Senkung der erforderlichen Betriebstemperaturen oder der Rücklauftemperatur von Systemen, um die Bedingungen zur Nutzung von Ab-, Umwelt- und Solarwärme zu verbessern. Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um die Realisierung von Niedertemperatur-Heizungen in Neubaugebieten weitestgehend und wo immer möglich zum Standard werden zu lassen.
- Die Stadt soll die ihr zur Verfügung stehenden Instrumente nutzen, um den Einbau von Wohnungsübergabestationen mit dezentraler Warmwasserbereitung bei Mehrfamilienhäusern in Neubaugebieten zu fördern.

Bereits die Bauleitplanung, der städtebaulichen Entwurf und der Bebauungsplan legen Grundlagen für die Reduzierung des Energiebedarfs und eine effiziente Energienutzung. Dies betrifft die Reduzierung des Heizwärmebedarfs durch möglichst kompakte und sinnvoll platzierte und orientierte Baukörper, die Reduzierung des Kunstlichtbedarfs durch die geeignete Wahl der städtebaulichen Dichte und einer begrenzten Verschattung als auch die Reduzierung des Kühlbedarfs durch Berücksichtigung von ausreichender Durchlüftung, Grün- und Wasserflächen und Verschattungszonen. Daraus leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Bei der Planung von Neubaugebieten ist im Spannungsfeld zwischen möglichst großen kompakten Baukörpern und der noch vertretbaren städtebaulichen Dichte abzuwägen und ein auf möglichst günstige A/V-Verhältnisse hin optimierter Kompromiss zu finden. Tendenziell sind Mehrfamilienhäuser

gegenüber Einfamilienhäusern zu bevorzugen, Reihenhäuser gegenüber freistehenden Häusern.

- Städtebauliche Entwürfe sollten anhand von Solarstudien hinsichtlich Verschattungssituation und Fassadenbesonnung untersucht und die Anordnung und Orientierung der Baukörper entsprechend optimiert werden.
- Bei der Planung von Neubaugebieten sind im Rahmen einer übergeordneten Klimaanpassungsstrategie insbesondere auch alle Maßnahmen anzuwenden, die lokale Überhitzungen in Quartieren mindern.

5 Derzeitiger Stand von Förderprogrammen für energieeffizientes Bauen und Energieerzeugung mit erneuerbaren Energien

5.1 Förderprogramme Energieerzeugung

5.1.1 Kurzdarstellung derzeitiger Programme

1. KfW-Programm Erneuerbare Energien „Standard“ – 270

Förderart: zinsgünstiger Kredit

Das KfW - Programm Erneuerbare Energien "Standard" ermöglicht eine zinsgünstige Finanzierung von Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sowie von Maßnahmen zur Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem.

2. KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281, 272/282)

Förderart: Kredit und Tilgungszuschüsse

Das KfW-Programm Erneuerbare Energien "Premium" unterstützt besonders förderungswürdige größere Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt mit **zinsgünstigen Darlehen** der KfW und mit **Tilgungszuschüssen**, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanziert werden.

2.a Zusatzförderung: Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)

Förderart: Erhöhung des Tilgungszuschusses aus 2.

Auf Basis der Richtlinie zur Förderung der beschleunigten Modernisierung von Heizungsanlagen bei Nutzung erneuerbarer Energien kann der Tilgungszuschuss für Solarkollektoren, Biomasse- und KWK-Biomasseanlagen, Wärmenetze und Wärmepumpen jeweils um 20 % erhöht werden, wenn es sich um spezielle Austauschmodelle (ineffiziente Heizungsanlagen) handelt.

3. Heizen mit Erneuerbaren Energien (Bafa)

Förderart: Investitionszuschuss

Das Bafa unterstützt die Errichtung kleinerer Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudebestand und im Neubau (Biomasse, Solarthermie und Wärmepumpen).

3.a Richtlinie zur Förderung der beschleunigten Modernisierung von Heizungsanlagen bei Nutzung erneuerbarer Energien Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE)

Zusatzbonus für die Ersetzung besonders ineffizienter Heizungsanlagen oder die Integration einer heizungsunterstützenden Solarthermieanlage in Kombination mit einer Optimierung des gesamten Heizungssystems.

4. Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz - KWKG (Bafa)

Das KWKG fördert Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zum einen über befristete Zuschlagszahlungen je kWh produzierte Strommenge. Darüber hinaus sieht es für Wärme- und Kältespeicher, sowie Wärme- und Kältenetze eine investive Förderung vor.

5. Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG

Das EEG regelt die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien ins Stromnetz und bietet deren Erzeugern Einspeisevergütungen.

6. Bundesförderung effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0) (Bafa)

Mit der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze wurde erstmals eine Förderung im Bereich der Wärmeinfrastruktur eingeführt, mit der nicht nur Einzeltechnologien und -komponenten, sondern Gesamtsysteme gefördert werden. Die zu fördernden Wärmenetze zeichnen sich durch hohe Anteile erneuerbarer Energien, die effiziente Nutzung von Abwärme und ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau im Vergleich zu klassischen Wärmenetzen aus.

7. Richtlinie des Landes Hessen zur Förderung der energetischen und stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe v. 17.05.2018

5.1.2 Solarthermieanlagen

Große Solarthermieanlagen (KfW 271/281 272/282)

Solarkollektoren > 40 m² Bruttokollektorfläche

Tilgungszuschuss:

Die Förderung von Solarkollektoranlagen kann alternativ über zwei Fördermechanismen beantragt werden.

Größenabhängige Förderung von Solarkollektoranlagen:

- bis zu 30% der Nettoinvestitionskosten für folgende Nutzungsarten: Warmwasserbereitung, Raumheizung, solare Kälteerzeugung und Zuführung in ein Wärmenetz,

- bis zu 40% der Nettoinvestitionskosten bei Einspeisung des überwiegenden Teils der Wärme in ein Wärmenetz mit mindestens vier Abnehmern,

Ertragsabhängige Förderung von Solarkollektoranlagen:

- Der in den Solar-Keymark Programmregeln ausgewiesene jährliche Kollektorstärkeertrag wird mit der Anzahl der installierten Solarthermiemodule und 0,45 Euro multipliziert.

Große Solarthermieanlagen (KfW 271/281 272/282)

Errichtung und Erweiterung von Solarthermieanlagen bis 100 m² Kollektorfläche.

Die Förderung unterteilt sich in eine Basisförderung, eine Innovationsförderung und eine Zusatzförderung. Dabei variieren die Fördersätze nach Anlagengröße und nach Nutzungsart (z.B. nur Trinkwassererwärmung oder Trinkwassererwärmung mit Heizungsunterstützung). Außerdem wird zwischen Neubau und Bestandsgebäude unterschieden. Die Basisförderung gibt es nur für den Gebäudebestand.

Beispiele Basisförderung im Gebäudebestand:

- Solarenergie für Trinkwassererwärmung: 50 EUR/m² Bruttokollektorfläche. Bruttokollektorfläche min.: 3 m², max.: 40 m²
- Solarenergie für Trinkwassererwärmung und Raumheizung oder bei Zuführung der Wärme in ein Wärmenetz: 140 EUR/m² Bruttokollektorfläche. Bruttokollektorfläche min. Vakuumröhren-: 7 m², Flachkollektoren: 9 m², max.: 40 m²

Innovationsförderung

Gibt es für Solaranlagen mit 20-100 m² Bruttokollektorfläche. Sie beträgt zwischen 75 und 200 EUR/m² je nach Nutzungs- und Gebäudeart.

Zusatzförderung

Ein Kombinationsbonus von zusätzlich 500 Euro ist möglich bei:

- Gleichzeitiger Errichtung einer förderfähigen Biomasseanlage oder einer effizienten Wärmepumpe
- Austausch eines Heizkessels ohne Brennwerttechnik durch einen Brennwertkessel
- Anschluss der Solarthermieanlage an ein Wärmenetz

Gebäudeeffizienzbonus

Der Gebäudeeffizienzbonus von 50 % der Basisförderung kann gewährt werden, wenn die Anlage in einem effizienten Wohngebäude (KfW-Effizienzhaus 55) errichtet wird, das zum Gebäudebestand zählt.

5.1.3 Photovoltaik

5.1.3.1 KfW Erneuerbare Energien “Standard“ (270)

Mit dem Förderprogramm können bis zu 100% der förderfähigen Nettoinvestitionskosten zinsgünstig finanziert werden. Der Kredithöchstbetrag beträgt maximal 50 Millionen Euro pro Vorhaben.

5.1.3.2 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Im Rahmen des EEG wird die **Erzeugung von Solarstrom** durch eine **auf 20 Jahre festgelegte Vergütung** für die Einspeisung von Strom ins öffentliche Stromnetz gefördert. Dabei wird nach Größe der Anlage sowie nach Typ (Freifläche oder Gebäude) unterschieden. Die Vergütungssätze verringern sich monatlich in Abhängigkeit des Zubaus von PV-Anlagen.

Ab 1.10.2019 erhielten PV-Anlagen auf Wohngebäuden, Lärmschutzwänden und Gebäuden nach § 48 Absatz 3 EEG bis 750 kW_p folgende „Anzulegende Werte“ im Marktprämienmodell:

- Bis 10 kW_p: 10,58 Ct./kWh
- Bis 40 kW_p: 10,30 Ct./kWh
- Bis 750 kW_p: 8,18 Ct./kWh
- Sonstige Anlagen bis 750 kW_p: 7,42 Ct/kWh

Für Freiflächenanlagen größer 750 kW_p wird die Förderung über Ausschreibungen bestimmt.

5.1.4 Biomasseanlagen

5.1.4.1 Große Biomasseanlagen KfW - Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281 272/282)

Biomasseanlagen zur Verbrennung fester Biomasse für die thermische Nutzung (Ausnahme Abfälle).

Tilgungszuschuss:

Bis zu 20 EUR/kW installierter Nennwärmeleistung (Grundförderung) für förderfähige Biomasseanlagen zur thermischen Nutzung, höchstens jedoch 50.000 EUR je Einzelanlage.

Zusätzlich können folgende Boni genutzt werden:

- Bonus für niedrige Staubemissionen: Bis zu 20 EUR/kW Nennwärmeleistung,

- Bonus für die Errichtung eines Pufferspeichers: Bis zu 10 EUR/kW Nennwärmeleistung, sofern für den Kessel ein Pufferspeicher mit einem Mindestspeichervolumen von 30 l/kW Nennwärmeleistung installiert wird.

Die Grundförderung und die Boni sind kumulierbar. Der maximale Tilgungszuschuss mit Bonusnutzung beträgt 100.000 Euro je Anlage

5.1.4.2 Kleine Biomasseanlagen (Bafa)

Errichtung und Erweiterung von Biomasseanlagen für die thermische Nutzung von 5 – 100 kW Nennwärmeleistung:

- Kessel zur Verbrennung von Biomassepellets und Hackschnitzeln
- Pelletöfen mit Wassertasche
- Kombinationskessel zur Verbrennung von Biomassepellets bzw. Holzhackschnitzeln und Scheitholz
- Besonders emissionsarme Scheitholzvergaserkessel
- Nachrüstung mit einer Einrichtung zur Brennwertnutzung
- Nachrüstung mit einer Einrichtung zur Staubminderung

Die Förderung unterteilt sich in eine Basisförderung, eine Innovationsförderung und eine Zusatzförderung. Dabei variieren die Fördersätze nach Anlagengröße und nach Nutzungsart (z.B. nur Trinkwassererwärmung oder Trinkwassererwärmung mit Heizungsunterstützung). Außerdem wird zwischen Neubau und Bestandsgebäude unterschieden, die Basisförderung gibt es nur für den Gebäudebestand.

Basisförderung: Ca. 2.000 – 8.000 Euro im **Bestand** je nach Anlagenart.

Hinzu kommen in Bestand und Neubau:

- **Innovationsförderung** für Brennwertnutzung (zwischen 3.000 und 7.500 EUR)
- **Innovationsförderung** für Partikelabscheidung (zw. 2.000 und 6.500 EUR)
- **Kombinationsbonus** bei gleichzeitiger Errichtung einer Solarthermie- oder Wärmepumpenanlage oder bei Anschluss der Biomasseanlage an ein Wärmenetz. (500 EUR)
- **Gebäudeeffizienzbonus** von 50 % der Basisförderung, wenn die Anlage in einem effizienten Wohngebäude (KfW-Effizienzhaus 55) errichtet wird, das zum Gebäudebestand zählt.

5.1.4.3 Richtlinie des Landes Hessen zur Förderung der energetischen und stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe v. 17.05.2018

Um den Energieverbrauch aus erneuerbaren Energiequellen zu steigern, werden folgende Maßnahmen gefördert:

1. Marktgängige automatisch beschickte Biomassefeuerungsanlagen ab 30 kW

Für Anlagen bis 100 kW werden folgende Zuschüsse gewährt:

- Pelletkessel mit neu errichtetem Pufferspeicher und einem Mindestspeichervolumen von 30 l/kW: 80,- EUR/kW
- Holzhackschnitzelkessel mit neu errichtetem Pufferspeicher und einem Mindestspeichervolumen von 30 l/kW: 3.500,- EUR/Anlage
- Besonders emissionsarme Scheitholzessel mit Pufferspeicher und einem Mindestspeichervolumen von 55 l/kW: 2.000,- EUR/Anlage

Anlagen ab 101 kW werden wie folgt gefördert:

- Pellet- und Holzhackschnitzelheizungen: 30 % der zuwendungsfähigen Ausgaben
- kommunale Projekte: 40 % der zuwendungsfähigen Ausgaben

Der max. Zuschuss beträgt 200.000,-

Voraussetzungen

- Die Anlagen müssen einer zentralen Wärmeversorgung dienen
- Anlagen über 101 kW, die als Ersatz für eine Altanlage von mind. 101 kW dienen, sind nur förderfähig, wenn das Emissionsverhalten und die Energieeffizienz gegenüber der alten Anlage besser ist.
- Für Biomasseanlagen, die in Wärmenetze einspeisen gilt ein Mindestwärmeabsatz für das gesamte Netz

2. Nahwärmenetze und Biogasleitungen

Wurde durch dieses Programm eine Biomassefeuerungs- bzw. eine Biogasanlage bezuschusst, kann das notwendige Nahwärmenetz ebenfalls gefördert werden.

Der Zuschuss beträgt max. 100,- EUR/Trassenmeter und 250,- EUR pro angeschlossenen Gebäude. Max. werden 30 % der förderfähigen Kosten gewährt. Kommunale Projekte werden mit 40 % bezuschusst. Der Förderhöchstbetrag liegt bei 100.000 EUR je Objekt. Es muss für das Nahwärmenetz ein Mindestwärmeabsatz von 750 kW/(a*Trm) nachgewiesen werden.

3. Umsetzungskonzepte

Gefördert werden Umsetzungskonzepte zur effizienten Biomasseproduktion. Der Zuschuss für Studien zur Erarbeitung von Problemlösungen beträgt max. 75 % der förderfähigen Ausgaben, max. 200.000 EUR. Für Abwärmenutzungskonzepte, die den Einsatz effizienter Techniken zur Nutzung der Abwärme aus Biomasseanlagen entwickeln, werden max. 25.000 EUR gewährt.

Kumulation

möglich

zu 2.: nicht möglich mit Tilgungszuschüssen

Besondere Hinweise

zu 1.: Die eingesetzten Brennstoffe müssen aus Rohholz oder Stroh und Energiepflanzen oder aus naturbelassenen Sägewerksnebenprodukten gewonnen werden.

5.1.5 Wärmepumpen (WP)

5.1.5.1 Wärmepumpen > 100 kW KfW - Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281 272/282)

Förderfähig ist die Errichtung von effizienten Wärmepumpen mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW für:

- die kombinierte Bereitstellung des Trinkwarmwasser- und Heizwärmebedarfs,
- die Bereitstellung des Heizwärmebedarfs von Nichtwohngebäuden,
- die Bereitstellung von Prozesswärme,
- die Bereitstellung von Wärme für Wärmenetze.

Zusätzlich wird eine Förderung für die Errichtung und Erweiterung einer im Zusammenhang mit einer förderfähigen Wärmepumpe errichteten Erdsonde gewährt. Es wird nur eine Erdsonde pro Vorhaben gefördert.

Nicht gefördert werden:

- Luft/Wasser-Wärmepumpen,
- Luft/Luft-Wärmepumpen sowie sonstige Wärmepumpen, die die erzeugte Wärme direkt an die Luft übertragen.

Tilgungszuschuss:

Für förderfähige effiziente Wärmepumpen 80 EUR/kW Wärmeleistung, mindestens 10.000 Euro und höchstens 50.000 Euro je Einzelanlage.

Für eine förderfähige Erdsonde bis 400m 4 EUR/m und ab 400m 6 EUR/m vertikale Tiefe.

5.1.5.2 Wärmepumpen < 100 kW (Bafa)

Errichtung von effizienten Wärmepumpen bis 100 kW Nennwärmeleistung zur:

- Kombinierten Warmwasserbereitung und Raumheizung von Gebäuden

- Ausschließlichen Raumheizung von Gebäuden, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes zu einem wesentlichen Teil durch andere erneuerbare Energien erfolgt
- Ausschließlichen Raumheizung von Nichtwohngebäuden
- Bereitstellung von Wärme für Wärmenetze

Die Förderung unterteilt sich in eine Basisförderung, eine Innovationsförderung und eine Zusatzförderung. Dabei variieren die Fördersätze nach Anlagengröße und nach Art der Wärmepumpe (Gas-WP, Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- bzw. Sole/Wasser-WP). Außerdem wird zwischen Neubau und Bestandsgebäude unterschieden, die Basisförderung gibt es nur für den Gebäudebestand.

Basisförderung: Ca. 1.300 – 10.000 Euro im **Bestand** je nach Art der WP.

Hinzu kommen in Bestand und Neubau:

- **Innovationsförderung** bei höherer JAZ zwischen 1.300 und 15.000 EUR
- **Lastmanagementbonus:** 500 EUR
- **Kombinationsbonus** bei gleichzeitiger Errichtung einer Solarthermie-, PVT, oder Biomasseanlage oder bei Anschluss der Wärmepumpe an ein Wärmenetz. (500 EUR)
- **Gebäudeeffizienzbonus** von 50 % der Basisförderung, wenn die Anlage in einem effizienten Wohngebäude (KfW-Effizienzhaus 55) errichtet wird, das zum Gebäudebestand zählt.

5.1.6 Blockheizkraftwerke (BHKW)

5.1.6.1 Kraft-Wärmekopplungs-Gesetz - KWKG

Das KWK-Gesetz verpflichtet den Netzbetreiber, ein Blockheizkraftwerk an das Netz anzuschließen und den erzeugten Strom einzuspeisen und zu vergüten.

Die Förderung nach dem KWK-Gesetz besteht aus mehreren Komponenten. Der mittlere Strompreis für Basislaststrom, dieser wird an der Leipziger Strombörse EEX festgestellt. Hinzu kommt ein KWK-Zuschlag aus dem KWKG. Darüber hinaus erhält man das vermiedene Netzentgelt.

Der KWK-Zuschlag beträgt zwischen 0 und 8 Ct/kWh_{el}, je nach installierter Leistung der Anlage und je nachdem, ob der Strom ins öffentliche Netz eingespeist wird, oder eigengenutzt wird.

Achtung: auf eigengenutzten Strom müssen 40% der aktuell gültigen EEG-Umlage gezahlt werden.

5.1.6.2 Innovative KWK (KWKG)

Unter einem innovativen KWK-System versteht das KWKG „besonders energieeffiziente und treibhausgasarme Systeme, in denen KWK-Anlagen in Verbindung mit einem hohen Anteil von Wärme aus erneuerbaren Energien KWK-Strom und Wärme bedarfsgerecht erzeugen oder umwandeln“.

Die notwendigen Bestandteile eines solchen Systems, das zwingend an ein Wärmenetz angeschlossen sein muss, sind folgende:

- eine neue oder modernisierte KWK-Anlage (Mindestgröße 1 MW),
- ein fabrikneuer regenerativer Wärmeerzeuger,
- ein elektrischer Wärmeerzeuger
- sowie Mess- und Regeltechnik, damit die Komponenten gemeinsam gesteuert werden können.

Die Vergütungssätze werden über zwei Ausschreibungsrunden pro Jahr ermittelt. Der Höchstwert für Gebote liegt bei 12 Ct/kWh. Der Zuschlag wird für 45.000 Vollbenutzungsstunden bezahlt, jedoch lediglich für 3.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr.

5.1.7 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

BHKWs, die mit Erneuerbaren Energien betrieben werden (Biogas, Biomethan, Holzgas, etc.) können nach dem EEG eine Vergütung erhalten, die abhängig ist von der installierten Leistung des BHKWs und vom Energieträger. Es sind aktuell (Oktober 2019) Fördersätze von 12,93 – 22,45 ct/kWh möglich. Es ist zu beachten, dass BHKWs doppelt überbaut werden müssen, um die volle Förderung zu erhalten.

5.1.7.1 KfW Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281 272/282)

Gefördert wird die Errichtung und Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse, (z.B. Holzpellets, Scheitholz oder Holzhackschnitzel) mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW bis maximal 2 MW. Nicht gefördert werden Anlagen, die mit (Holz-)Abfällen betrieben werden.

Tilgungszuschuss: 40 EUR/kW installierter Nennwärmeleistung.

5.1.7.2 Mini-KWK-Zuschuss bis 20 kW_{el} (Bafa)

KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 20 kW_{el}, sogenannte Mini-KWK-Anlagen, die in einem Bestandsgebäude installiert werden, erhalten einen Investitionszuschuss.

Basisförderung: 1.900 – 3.500 EUR je nach Größe des BHKW

Wärmeeffizienzbonus: 25% der Basisförderung, bei Einsatz einer Brennwertnutzung

Stromeffizienzbonus: 60% der Basisförderung, wenn das BHKW einen festgelegten elektrischen Wirkungsgrad erreicht.

5.1.8 Große Wärmespeicher – KfW Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281 272/282)

Es wird die Errichtung und/oder die Erweiterung von Wärmespeichern mit mehr als 10 m³ gefördert, sofern sie überwiegend aus erneuerbaren Energien gespeist werden.

Wärmespeicher, die nach dem KWKG gefördert werden können sowie Wärmespeicher für Ein- und Zweifamilienhäuser sind nicht förderfähig

Tilgungszuschuss:

Für förderfähige Wärmespeicher gilt: 250 EUR/m³ Speichervolumen für Wärmespeicher mit mehr als 10 m³ Wasservolumen. Die Förderung ist auf 30 % der für den Wärmespeicher nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten beschränkt. Der maximale Tilgungszuschuss je Wärmespeicher beträgt 1 Mio. Euro.

5.1.9 Nahwärmenetze

5.1.9.1 KfW Erneuerbare Energien „Premium“ (271/281 272/282)

Gefördert wird die Errichtung und die Erweiterung eines Wärmenetzes (inklusive der Errichtung der Hausübergabestationen), sofern:

- die verteilte Wärme zu folgenden Mindestanteilen aus folgenden Wärmequellen stammt:
 - a) zu mindestens 20 % aus Solarwärme, sofern ansonsten fast ausschließlich Wärme aus hocheffizienten KWK-Anlagen, Wärmepumpen oder industrieller oder gewerblicher Abwärme,
 - b) zu mindestens 50%, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60%, mit Wärme aus erneuerbaren Energien,

- c) zu mindestens 50%, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60%, aus Wärmepumpen,
 - d) zu mindestens 50%, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60%, aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme, oder
 - e) zu mindestens 50%, bei Wärmenetzen zur überwiegenden Versorgung von Neubauten 60%, einer Kombination der in den Buchstaben a bis d genannten Maßnahmen und ansonsten fast ausschließlich aus hoch-effizienter KWK.
- das Wärmenetz im Mittel einen Mindestwärmeabsatz von 500 kWh/(a*Trm) hat.
- Auch der biogene Anteil von Siedlungsabfällen gilt als erneuerbare Energie im Sinne dieser Regelung (Wärmenutzung aus der Abfallverbrennung).

Tilgungszuschuss:

Für förderfähige Wärmenetze gilt:

- 60 Euro je neu errichtetem Trassenmeter, höchstens jedoch 1 Mio. Euro.
- Zuzüglich zu der Wärmenetzförderung pro Trassenmeter können die Hausübergabestationen von Bestandsgebäuden mit jeweils bis zu 1.800 Euro gefördert werden, wenn kein kommunaler Anschlusszwang besteht.

5.1.9.2 Innovative KWK (KWKG)

Zuschlagshöhe

Die Höhe des Zuschlags bemisst sich nach dem mittleren Durchmesser der Wärme- bzw. Kälteleitungen. Grundlage für die Zuschlagberechnung ist die Vorlaufleitung.

Mittlerer Nenndurchmesser \leq DN 100: Zuschlag: 100 EUR/m neu verlegte Vorlaufleitung, höchstens jedoch 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten.

Mittlerer Nenndurchmesser $>$ DN 100: Zuschlag: 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten.

Die max. Zuschlagshöhe je Projekt beträgt 20 Mio. Euro.

5.1.9.3 Wärmenetzsysteme 4.0

Mit der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0) wird erstmals eine systemische Förderung im Bereich der Wärmeinfrastruktur eingeführt, mit der nicht nur Einzeltechnologien und -komponenten, sondern Gesamtsysteme gefördert werden. Die zu fördernden Wärmenetze zeichnen sich durch hohe Anteile erneuerbarer Energien, die effiziente Nutzung von Abwärme und ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau im Vergleich zu klassischen Wärmenetzen aus.

Im Fördermodul I werden Machbarkeitsstudien mit bis zu 60 % der förderfähigen Kosten (maximal 600.000 Euro) gefördert, im Fördermodul II die Realisierung eines Wärmenetzsystems 4.0 mit bis zu 50 % der förderfähigen Vorhabenkosten (maximal 5 Mio. Euro).

Ergänzend können Maßnahmen zur Kundeninformation im Gebiet des geplanten Wärmenetzsystems 4.0 zur Erhöhung der Anschlussquote mit bis zu 80 % der förderfähigen Kosten (maximal 200.000 Euro) als Zuschuss gewährt werden.

Projektbezogene wissenschaftliche Kooperationen mit Hochschulen, Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen zur Unterstützung, Planung, Realisierung und Optimierung sowie Evaluation eines Wärmenetzsystems 4.0 können bis zu einer Obergrenze von 1 Mio. Euro Zuschuss gewährt werden.

Abwicklung über das Bafa.

5.2 Förderungen Gebäudeenergiestandards

5.2.1 KfW-Förderung Energieeffizient Bauen – 153

Finanzierung besonders energieeffizienter Neubauten als KfW-Effizienzhaus im Rahmen des "CO₂-Gebäudesanierungsprogramms" des Bundes.

Kreditbetrag

- Es können bis zu 100 % der Bauwerkskosten (Baukosten ohne Grundstück) finanziert werden.
- Der maximale Kreditbetrag beträgt 100.000 Euro pro Wohneinheit.

Tilgungszuschüsse:

- KfW-Effizienzhaus 40 Plus: 15 % des Zusagebetrages
- KfW-Effizienzhaus 40: 10 % des Zusagebetrages
- KfW-Effizienzhaus 55: 5 % des Zusagebetrages

5.2.2 Mietwohnungen: Hessisches Programm Energieeffizienz

Gefördert werden Investitionsvorhaben zur nachhaltigen Verringerung von CO₂-Emissionen von Mietwohngebäuden sowie der Neubau von hocheffizienten Mietwohngebäuden in Hessen und zwar zusätzlich zu den entsprechenden Programmen der KfW.

Gefördert werden Investitionsvorhaben, für die ein Darlehen aus den jeweiligen KfW-Programmen bei der Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen (WIBank) beantragt wurde.

Energieeffizient Bauen

Für Investitionsvorhaben nach dem KfW-Programm Energieeffizient Bauen (153) wird ein zusätzlicher Tilgungszuschuss von 3,5 % auf den ausgezahlten Kreditbetrag gewährt.

Energieeffizient Sanieren

Für Investitionsvorhaben nach dem KfW-Programm Energieeffizient Sanieren (151) wird ein zusätzlicher Tilgungszuschuss von 5 % auf den ausgezahlten Kreditbetrag gewährt.

Besondere Hinweise

Selbst genutzte Wohneinheiten können nicht finanziert werden.