

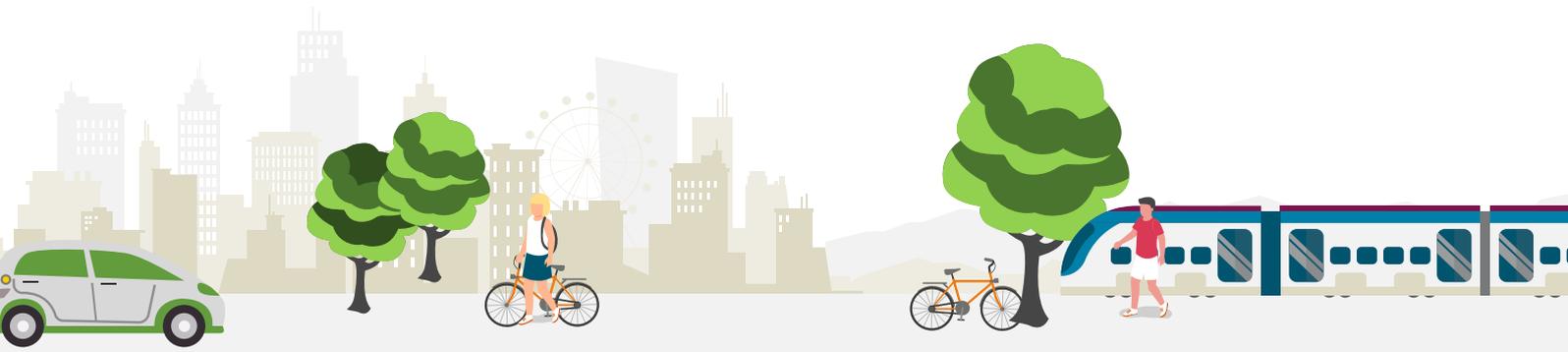
Stadt Apolda – Erweiterte Kernstadt

Quartierskonzept

Stand / 11.04.2024



**GLOCKENSTADT
APOLDA**



Fördermittelgeber



Auftraggeber



Stadt Apolda

Markt 1

99510 Apolda

<https://www.apolda.de/>

Ansprechpartner

Thomas Schulz

Abteilungsleiter Stadtplanung Apolda

Telefon: 03644-650 455

Thomas.Schulz@apolda.de

Auftragnehmer



DSK Deutsche Stadt- und

Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH

Abraham-Lincoln-Straße 44

65189 Wiesbaden

www.dsk-gmbh.de

Ansprechpartner

Dr. Michael Liesener

Telefon: 030 311697431

michael.liesener@dsk-gmbh.de

Bearbeitungsstand: 11. April 2024

Hinweis zur Gender Formulierung:

Bei allen personenbezogenen Bezeichnungen umfasst die gewählte Formulierung alle Geschlechter, auch wenn in einigen Fällen lediglich die männliche oder weibliche Form verwendet wird.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	12
1.1. Übersicht zum Förderprogramm KfW 432	12
1.2. Projektablauf	13
1.3. Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung	14
2. Allgemeine Ausgangsanalyse	16
2.1. Lage und Bedeutung der Stadt	16
2.2. Stadtaufteilung und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets	17
2.3. Planungsrechtliche und konzeptionelle Grundlagen	19
2.3.1. Landesplanungsebene	20
2.3.2. Regionalplan Mittelthüringen (Erlassen 2011)	22
2.3.3. Kommunale Planungsebene	22
2.4. Soziodemografische Entwicklung	24
3. Gebäudebestand im Quartier	29
3.1. Nutzungsart und Eigentümerstruktur	29
3.2. Gebäudetypologie	29
3.3. Kommunale Liegenschaften	32
3.4. Baudenkmale und erhaltenswerte Bausubstanz	33
4. Energieversorgung	35
4.1. Versorgungsinfrastruktur	35
4.2. Anlagentechnik	36
4.3. Erneuerbare-Energien-Anlagen	38
4.4. Straßenbeleuchtung	40
5. Mobilität	41
5.1. Regionale Verflechtungen	41
5.1.1. Nächstgelegene zentrale Orte	41
5.1.2. Pendlerbewegungen	41
5.1.3. Modal Split im Kreis Weimarer Land	43
5.2. Motorisierter Individualverkehr	43
5.2.1. Pkw-Meldedaten	43
5.2.2. Erreichbarkeit zentraler Orte	44

5.2.3.	Fließender Verkehr	44
5.2.4.	Ruhender Verkehr	46
5.3.	ÖPNV	47
5.3.1.	Verkehrerschließung (räumliche Verfügbarkeit)	47
5.3.2.	Verkehrsangebot (zeitliche Verfügbarkeit)	49
5.3.3.	Beförderungsqualität	50
5.4.	Radverkehrsnetz	53
5.4.1.	Regionales Radwegenetz	53
5.4.2.	Radverkehrskonzept	53
5.4.3.	Verkehrssicherheit	54
5.5.	Elektromobilität und Leihangebote	55
6.	Klimatische Veränderungen	56
7.	Energie- und Treibhausgasbilanzierung	58
7.1.	Methodisches Vorgehen	58
7.2.	Ergebnisse der Bilanzierung	60
8.	Potenzialbetrachtung	64
8.1.	Energieeinsparpotenziale durch Gebäudesanierung	64
8.1.1.	Ausgewählte regulatorische Bestimmung	64
8.1.2.	Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle	67
8.2.	Potenziale der Energieerzeugung und Versorgung	86
8.2.1.	Regulatorischer Rahmen	86
8.2.2.	Modernisierung des Heizungssystems	91
8.3.	Potenziale aus erneuerbaren Energien	98
8.3.1.	Sonnenenergie	98
8.3.2.	Mieterstrom	105
8.3.3.	Oberflächennahe Geothermie	110
8.3.4.	Windenergie	113
8.4.	Potentiale der Wasserstoffherzeugung	114
8.5.	Potentiale durch Veränderung des Verbrauchsverhaltens	123
8.6.	Potentiale der zentralen Wärme	127
8.7.	Straßenbeleuchtung	142
8.8.	Potentiale Mobilität	145

8.8.1.	Sozialer Zusammenhalt.....	145
8.8.2.	Fußgänger- und Radverkehr	147
8.8.3.	ÖPNV.....	151
8.8.4.	Motorisierter Individualverkehr	154
8.8.5.	Leihsysteme und Ladeinfrastruktur	155
8.8.6.	Stadt der kurzen Wege	155
8.8.7.	Quantifizierung der Reduktionspotenziale	155
8.9.	Potentiale im Städtebau – Klimafolgen Anpassung.....	157
8.9.1.	Digitaler urbaner Zwilling	157
8.9.2.	Allgemeine Klimafolgenpotentiale	157
8.9.3.	Wassersensitive Stadtentwicklung	158
8.9.4.	Hitzesensitive Stadtentwicklung.....	163
8.9.5.	Entsiegelung	166
8.9.6.	Qualifizierung von Grün-/Freiflächen	167
8.9.7.	Beratungsmaßnahmen	169
8.9.8.	Biodiversität.....	170
8.10.	Szenarien	170
9.	Handlungsempfehlungen.....	179
10.	Umsetzungshemmnisse.....	181
10.1.	Hindernisse und Lösungsansätze.....	181
10.2.	Controllingkonzept	184
10.2.1.	Monitoring und Berichtswesen	185
10.2.2.	Maßnahmencontrolling	186
10.3.	Umsetzungsstrategie.....	189
10.3.1.	Personalressource Sanierungsmanagement	189
10.3.2.	Digitaler Urbaner Zwilling.....	191
10.3.3.	Weitere Umsetzungsstrukturen	192
10.3.4.	Kommunale Wärmeplanung.....	192
10.3.5.	Weiterführende Informations- und Öffentlichkeitsarbeit	193
10.4.	Zielsetzung.....	196
Anhang	199

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufschema zur Erstellung eines energetischen Quartierskonzept (Datenquelle: DSK, eigene Darstellung)	14
Abbildung 2: Lage der Stadt Apolda im Weimarer Land (Datenquelle: Nahverkehrsplan Weimarer Land)	16
Abbildung 3: Bahnhofstraße in Apolda (Datenquelle: Apolda, Sehenswürdigkeiten)	17
Abbildung 6: Marktplatz in Apolda (Datenquelle: Weimarer Land, Tourismus)	17
Abbildung 6: Lutherkirche in Apolda (Datenquelle: Apolda, Wirtschaftsstandort)	17
Abbildung 6: Bahnhofstraße in Apolda (Datenquelle: Wikimedia, Commons)	17
Abbildung 7: Flächennutzung in Apolda	19
Abbildung 8: Gegenstromprinzip der räumlichen Planungsebenen (Eigene Darstellung)	20
Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Statistik)	25
Abbildung 10: Altersstruktur in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Statistik)	26
Abbildung 11: Bevölkerungssaldo in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Statistik)	26
Abbildung 12: Prognose der Bevölkerungsentwicklung (Datenquelle: Statistisches Landesamt Thüringen, Eigene Darstellung)	27
Abbildung 13: Prognose der Altersgruppen 2015 bis 2035 (Datenquelle: Statistisches Landesamt Thüringen, Eigene Darstellung)	28
Abbildung 14: Nutzungsart und Eigentümerstruktur (Datenquelle: ZENSUS)	29
Abbildung 15: Baualtersklassen im Quartier (Datenquelle: ZENSUS)	30
Abbildung 16: Aufteilung der Gebäudefläche (Datenquelle: ZENSUS)	30
Abbildung 17: Wohnungen pro Gebäude (Datenquelle: ZENSUS)	31
Abbildung 18: Wärmequelle (Datenquelle: ZENSUS, Eigene Darstellung)	32
Abbildung 19: Denkmalgeschützte Gebäude in Apolda (Datenquelle: Untere Denkmalschutzbehörde, Eigene Darstellung)	34
Abbildung 20: Bahnhofstraße in Apolda (Quelle: Krzysztof Golik)	34
Abbildung 21: Marktplatz in Apolda (Quelle: Thomas Burkhardt)	34
Abbildung 22: Vorhandenes Fernwärmenetz in Apolda (Eigene Darstellung)	35
Abbildung 23: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen	36
Abbildung 24: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen im gewerblichen Sektor [kWh]	37
Abbildung 25: Entwicklung der installierten PV-Leistung in der Gemeinde in MW (Eigene Darstellung)	38
Abbildung 26: Größenverteilung der PV-Anlagen (Eigene Darstellung)	39
Abbildung 27: Nutzung- und Vermarktungswege des PV-Stroms (Eigene Darstellung)	39
Abbildung 28: Einpendelnde Personen nach Apolda (Datenquelle: Statistische Ämter der Länder 2023)	42
Abbildung 29: Auspendelströme (Datenquelle: Statistische Ämter der Länder 2023)	42
Abbildung 30: Fahrzeugbestand in Apolda (Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2024, Eigene Darstellung)	43
Abbildung 31: Entwicklung des Fahrzeugbestands (Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2024, Eigene Darstellung)	43
Abbildung 32: Lärmpunkte in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz)	45
Abbildung 33: Netzabdeckung in Apolda (Eigene Darstellung)	47
Abbildung 34: Übersicht der Netzebenen im Weimarer Land (Datenquelle: Nahverkehrsplan 2020-2025)	48
Abbildung 35: SPNV Linien in Apolda (Datenquelle: OpenRailMaps, Eigene Darstellung)	49

Abbildung 36: Radwege in Apolda (Datenquelle: Radroutenplaner Thüringen)	53
Abbildung 37: Unfälle mit Fahrrad und/ oder PKW-Beteiligung (Datenquelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Eigene Darstellung).....	54
Abbildung 38: Elektromobilität in Thüringen (Datenquelle: ThEGA 2022)	55
Abbildung 39: Endenergiebilanz Sektoral (MWh).....	60
Abbildung 40: Endenergiebilanz nach Energieträgern (MWh)	61
Abbildung 41: Primärenergiebilanz nach Energieträgern (MWh).....	61
Abbildung 42: THG-Bilanz sektoral (t CO _{2äq})	62
Abbildung 43: THG-Bilanz energieträgerbasiert (t CO _{2äq})	63
Abbildung 44: Energieeffizienzklassifizierung von Wohngebäuden nach GEG.....	65
Abbildung 45: Maßnahmenpakete zur Erreichung unterschiedliche Effizienzhausstandards.....	76
Abbildung 46: Zustand vor Sanierung und Teilrückbau [BTU]	80
Abbildung 47: Zustand nach Sanierung und Teilrückbau (Straßenansicht) [BTU]	81
Abbildung 48: Projektumsetzung in Weißwasser [BTU]	81
Abbildung 49: Durchschnittlicher Energiebedarfs- und Energieverbrauchskennwert nach Baualtersklassen.....	82
Abbildung 50: Auswirkung Sanierung auf Nutzwärmebedarf (ohne Warmwasser) – Einfamilienhaus.....	83
Abbildung 51: Auswirkung Sanierung auf Nutzwärmebedarf (ohne Warmwasser) – Reihenhaus	84
Abbildung 52: Auswirkungen der Sanierungstätigkeit auf den Wärmeenergiebedarf im Wohngebäudesektor(kWh).....	85
Abbildung 53: Auswirkungen der CO ₂ -Steuer auf den Preis fossiler Energieträger.....	90
Abbildung 54: Veränderung des Energieertrags durch Ausrichtung und Neigungswinkel der Anlage (Quelle: AC Solar, 2020).....	99
Abbildung 55: Globalstrahlung in Deutschland, Mittlere Summe aus Zeitraum von 1991-2020	99
Abbildung 56: Mögliche Gebiete für zukünftige Freiland-Solaranlagen	102
Abbildung 57: Dach- und Kollektorfläche für PV-Potentiale (Eigene Darstellung)	103
Abbildung 58: Ertragsanteile bezogen auf die Dachart und Ausrichtung (Eigene Darstellung).....	103
Abbildung 59: Schematische Darstellung Volleinspeisung auf Mehrparteigebäuden	106
Abbildung 60: Schematische Darstellung: Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers	107
Abbildung 61: Schematische Darstellung: Mieterstrommodell über dritten Stromlieferanten (Lieferkette)	108
Abbildung 62: Schema oberflächennahe Geothermie: Bodenkollektor, Erdwärmesonde, Grundwasserpumpe	110
Abbildung 63: Hydrologische Bewertung (Geothermieportal Thüringen).....	111
Abbildung 64: Potenzialkarte für Geothermie (Geothermieportal Thüringen)	112
Abbildung 65: Sachlicher Teilplan Windenergie für Mittelthüringen	114
Abbildung 66: Anwendungsfelder des Power-to-Gas Prozesses.	116
Abbildung 67: Stromverbrauch verschiedener Technologien, um eine Einheit fossiler Brennstoffe in der Wärmeversorgung zu ersetzen	117
Abbildung 68: Kosten Elektrolyseur (Fraunhofer).....	119
Abbildung 69: Produktionskosten von Wasserstoff nach Wasserstofftyp in Deutschland im Jahr 2019 und Prognosen für die Jahre 2030 und 2050 (in ct/kWh H ₂) (Statista).....	120
Abbildung 70: Hydrex-Index.....	121
Abbildung 71: HydrexPlus	121

Abbildung 72: Stromverbrauch nach Haushaltstypen (Stromspiegel für Deutschland 2022/23)	124
Abbildung 73: Anteil der Verbrauchskategorien am Strombedarf	125
Abbildung 74: Wärmebedarfsdichte –Untersuchungsgebiet Apolda [MWh/ha]	129
Abbildung 75: Wärmelinienendichte [kWh/ m _{Tr} /a] – Anschlussquote 100 %]	131
Abbildung 76: Wärmelinienendichte [kWh/ m _{Tr} /a] – Anschlussquote 75 %.....	132
Abbildung 77: Wärmelinienendichte [kWh/ m _{Tr} /a] – Anschlussquote 50 %.....	132
Abbildung 78: Vorranggebiete für den Ausbau Fernwärme	133
Abbildung 79: Ausbaugebiet Apolda Ost	134
Abbildung 80: Ausbaugebiet Apolda Nord.....	135
Abbildung 81: Übersicht saisonale Speichersysteme.....	138
Abbildung 82: Sparpotenziale Außenbeleuchtung	142
Abbildung 83: Ersatz HQL/NAV durch LED	143
Abbildung 84 Nachhaltigkeitsziele der UN.....	145
Abbildung 85: Beispiel für einen Weg mit möglichen Angsträumen	148
Abbildung 86: Beispiel einer vollständig barrierefreien Fußgängerfurt.....	148
Abbildung 87: Lufttankstelle mit Werkzeug für Kleinstreparaturen.....	149
Abbildung 88: Vorschlag für ein Piktogramm einer Radstation, angelehnt an das Zeichen für Haltestellen	149
Abbildung 89: Anlehnbügel für Fahrräder	150
Abbildung 90: Radabstellanlage auf dem Seitenstreifen, anstelle zweier Pkw stehen dort bis zu 30 Räder	150
Abbildung 91: Radabstellanlage auf der Fahrbahn und Stellplätze für Lastenräder	151
Abbildung 92: Zeitanteile bei Benutzung des ÖPNV. Quelle VDV.....	152
Abbildung 93: Fahrradabstellanlage an der Haltestelle.....	153
Abbildung 94: Wettergeschützter Fahrgast- und Fahrradunterstand in Bahnhofsnähe	153
Abbildung 95: Stellplatzbeschattung durch Bäume	154
Abbildung 96: Überschwemmungspotentialflächen (Eigene Darstellung)	160
Abbildung 97: Nutzungsweise Retentionsräume (Datenquelle: Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL).....	162
Abbildung 98: Konzept einer "Schwammstadt" (Datenquelle: HAZ, Leibniz Universität)	163
Abbildung 99: Hitzebelastete Orte (eigene Darstellung)	163
Abbildung 101: Verschattung durch Begrünung (Datenquelle: Stadt Wien)	164
Abbildung 101: Verschattung durch die Errichtung von Sonnensegel (Datenquelle: Stadt Wien).....	164
Abbildung 102: Wärmeinsel Stadt	165
Abbildung 103: Versiegelung in Apolda	166
Abbildung 104: Versiegelunganteile in Apolda (Eigene Darstellung).....	167
Abbildung 105: Tiefbeet	168
Abbildung 106: Retentionsfläche und naturnaher Erholungsraum	168
Abbildung 107: Endenergieverbrauch	171
Abbildung 108: Endenergiebilanz nach Energieträgern.....	173
Abbildung 109: Primärenergieverbrauch: Ergebnisse der Szenarien.....	176
Abbildung 110: Treibhausgasemissionen: Ergebnisse der Szenarien	177
Abbildung 111: Vorschlag für Umsetzungsfahrplan.....	191

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heizungstechnik in Neubau-Wohngebäuden 2020-2021.....	32
Tabelle 2: Energieverbrauch kommunale Objekte/Infrastruktur	33
Tabelle 3: Angaben des Netzbetreibers zu den Stromabsatzmengen [MWh]	36
Tabelle 4: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen [MWh].....	36
Tabelle 5: Solarthermische Anlagen in Apolda und im Quartier.....	39
Tabelle 6: Entfernung zu zentralen Orten in der Umgebung	41
Tabelle 7: Erreichbarkeit zentraler Orte nach Reiseinformationsnachweis und mit tatsächlicher Fahrzeit (Eigene Darstellung).....	44
Tabelle 8: Straßenverkehrszählung und Prognosen [Fahrzeuge/Tag] (Eigene Darstellung).....	46
Tabelle 9: Erreichbarkeit zentraler Orte mit ÖPNV (Eigene Darstellung)	48
Tabelle 10: Wichtigste ÖPNV-Linien Apoldas (Datenquelle: PVG Weimarer Land, Eigene Darstellung)	49
Tabelle 11: Stadtbushaltestellen im Quartier (Quelle PVG WL, Eigene Darstellung)	51
Tabelle 12: Mittelwerte für Niederschlagssumme (mm) (Datenquelle: klimafolgenonline)	56
Tabelle 13: Tagesmittel der Lufttemperatur, in Grad Celsius (Datenquelle: klimafolgenonline)	57
Tabelle 14: Klimaindikatoren Apolda (Datenquelle: klimafolgenonline)	57
Tabelle 15: Primärenergiefaktoren für relevante Energieträger	59
Tabelle 16: CO2-Emissionsparameter	59
Tabelle 17: Max. Wärmedurchgangskoeffiziente bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen	68
Tabelle 18: Hinweise zu energetischen Sanierungsmaßnahmen an einzelnen Bestandteilen der Gebäudehülle [IWU]	70
Tabelle 19: Auswirkungen Sanierungsmaßnahmen auf energetische Qualität von Bauteilen (EFH Baualtersklasse 1968-78)	77
Tabelle 20: Auswirkung der Aufdopplung von WDVS an Mehrfamilienhäusern im Quartier U-Wert [W/(m ² K)].....	79
Tabelle 21: Einspareffekte durch Sanierungstätigkeit (kWh)	85
Tabelle 22: Standardwerte zur Berechnung von Brennstoffemissionen (EBeV 2030 Anlage 2).....	90
Tabelle 23: Endenergie-Aufwandszahlen für die Raumheizung (ohne Hilfsenergie).....	92
Tabelle 24: Einsparungen beim Ersatz alter Kessel durch Brennwertkessel.....	94
Tabelle 25: Heizkostenvergleich Altbau (Teil 1)	96
Tabelle 26: Heizkostenvergleich Altbau (Teil 2)	97
Tabelle 27: Jährlicher Anlagenenertrag in kWh/kWp am Standort Apolda in Abhängigkeit von Dachneigung und -ausrichtung.....	100
Tabelle 28: Beispielhafte Stromgestehungskosten für verschiedene Ausrichtungen	101
Tabelle 29: Übersicht der Ergebnisse.....	104
Tabelle 30: Potentiale der H2-Nutzungspfade.....	118
Tabelle 31: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Wasserstoffherzeugung aus EE-Anlagen	122
Tabelle 32: Wärmebedarf im Versorgungsgebiet Ost (Eigene Darstellung)	135
Tabelle 33: Wärmebedarf im Versorgungsgebiet Nord (Eigene Darstellung).....	135
Tabelle 34: Energiegehalt Holz (C.A.R.M.E.N. eV).....	136
Tabelle 35: Vergleich Straßenbeleuchtung (HQL/LED)	143

Tabelle 36: Einsparpotenziale Straßenbeleuchtung (Eigene Darstellung)	144
Tabelle 37: Verkehrsleistung und Emissionen des motorisierten Individualverkehrs	156
Tabelle 38: Einsparung, Endenergie	172
Tabelle 39: Faktoren für Szenarienberechnungen	175
Tabelle 40: Einsparung Primärenergie [kWh]	176
Tabelle 41: Einsparung THG-Emissionen [t CO _{2äq}]	177
Tabelle 42: Maßnahmenempfehlungen für diverse Handlungsfelder	179
Tabelle 43: Indikatoren für Maßnahmen-Controlling	187

1. Einführung

Die Auswirkungen des Klimawandels sind regional unterschiedlich ausgeprägt und werden dementsprechend unterschiedlich von den dort lebenden Menschen wahrgenommen. Verschiedene Wetterereignisse wie beispielsweise Dürreperioden, Überschwemmungen, Hitzewellen oder Starkniederschläge haben regional unterschiedliche Auswirkungen auf das Leben der Menschen und deren Siedlungsentwicklung. Aus diesem Grund müssen Ziele und Maßnahmen aufgestellt werden, die den Klimawandel und deren Auswirkungen eingrenzen.

Klimaschutz wird bereits seit den 70er Jahren erforscht. Seitdem wurden zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen veröffentlicht und wegweisende Beschlüsse gefasst – sowohl weltweit als auch in Deutschland. 1979 wurde die erste Weltklimakonferenz in Genf durchgeführt. Eine wichtige Station stellt auch der „Erdgipfel“ in Rio de Janeiro 1992 dar, im Zuge dessen die Klimarahmenkonvention beschlossen wurde. In jüngster Zeit wegweisend für den weltweiten Klimaschutz war der Beschluss des Weltklimavertrags 2015, auch als Paris-Abkommen bekannt. Dieses formuliert das Ziel die globale Erwärmung des Klimas soll auf unter 2 °C, besser auf unter 1,5 °C zu begrenzen.

Auch die Bundesregierung Deutschland hat sich ambitionierte Ziele im Klimaschutz gesetzt. Das 2021 angepasste Klimaschutzgesetz enthält das Ziel, bis 2045 klimaneutral zu sein, ab dem Jahr 2050 sollen sogar negative Emissionen erreicht werden. Für die Erreichung der Ziele wurden im Gesetz Zwischenziele für 2030 (65%) und 2040 (88%) festgelegt. Zugleich wurden bis zum Jahr 2030 – mittlerweile nicht mehr verpflichtende - sektorale Ziele definiert, die fortgeschrieben werden sollen. Alle zwei Jahre soll eine Expertenkommission den Fortschritt in einem Gutachten bewerten, die aktuellen Maßnahmen evaluieren und gegebenenfalls Empfehlungen für Veränderungen abgeben.

Die welt-, europa- und bundesweiten Zielstellungen gilt es nicht zuletzt auf Landes- und Kommunalebene umzusetzen. Thüringen ist ein Bundesland mit vergleichbar geringer Siedlungsfläche, dennoch muss auch hier Klimaschutz fester Bestandteil der Regional- und Stadtentwicklung sein. Der kommunale Klimaschutz erfordert das Zusammenwirken mehrerer Fachbereiche und Sektoren. Klimaschutz bedeutet in diesem Sinne nicht allein die Energieeinsparung, sondern gleichzeitig lokale Klimaschutzmaßnahmen, z.B. durch natürliche Versickerungsflächen, Frischluftschneisen, durch die Vermeidung von Hitzeinseln und viele weitere Aspekte, die im Rahmen des folgenden Klimaschutzkonzeptes aufgegriffen werden. Für einen wirkungsvollen Klimaschutz bedarf es bei der Themenfülle und der betroffenen Fachbereiche einer abgestimmten und strategischen Handlungsperspektive. Diese wird mittels eines Energetischen Klima(quartiers-)konzepts verwirklicht. Es hat in der Umsetzung zum Ziel, durch eine integrierte Herangehensweise Energieeffizienzoptionen aufzuzeigen, schädliche Emissionen zu mindern und sowohl die Motivation privater Investitionen zu fördern als auch weitere erforderliche Maßnahmen für einen lokalen Klimaschutz offenzulegen und zu steuern.

1.1. Übersicht zum Förderprogramm KfW 432

Bis zum Jahr 2045 sollen alle Gebäude in Deutschland nahezu klimaneutral sein, d. h. deren Energie soll nur aus erneuerbaren Energien bezogen werden. Aus diesem Grund wurde die KfW-Förderbank damit beauftragt, Fördermittel für die energetische Stadtsanierung aufzustellen und zu vergeben. Da die Gesamtziele nicht allein durch Maßnahmen an einzelnen Gebäuden erreicht werden können und gebäudeübergreifende Lösungen in vielen Fällen

wirtschaftlich vorteilhaft sind, wird neben einer gebäudebezogenen Förderung auch eine Förderung auf Ebene von Quartieren zur Verfügung gestellt. Somit sollen Synergien genutzt werden. Neben energetischen Aspekten spielen dabei oft auch andere Belange (Demografie, soziale Fragen öffentliche Infrastruktur, usw.) eine wichtige Rolle. An dieser Stelle greift das Programm KfW 432 Energetische Stadtsanierung, ein Zuschussprogramm, welches die Städte und Gemeinden darin unterstützt, lokale Potenziale zu identifizieren, spezifische Ziele für den energetischen Stadtumbau zu definieren und deren Umsetzung mit konkreten Maßnahmenvorschlägen zu ermöglichen. Gefördert wird im ersten Schritt die Erstellung von integrierten energetischen Quartierskonzepten, die den strategischen Rahmen schaffen. Die anschließende Begleitung der Umsetzung ist durch die Förderung eines Sanierungsmanagements möglich.

Das Land Thüringen hat über die Landeseigene Thüringer Aufbaubank (TAB) das Förderprogramm „Klima Invest“ aufgelegt, welches ebenfalls die Erstellung energetischer Quartierskonzepte unterstützt. Dieses Landesprogramm ergänzt das Bundesprogramm der KfW. Ferner werden Investitionen in vielfältige konkrete Sanierungsmaßnahmen ebenfalls bezuschusst. Das Förderprogramm „E-Mobil Invest“ unterstützt private, Unternehmen und Kommunen bei der Anschaffung von E-Autos und der benötigten Ladeinfrastruktur.

Für einen wirkungsvollen Klimaschutz bedarf es bei der Themenfülle und der betreffenden Fachbereiche einer abgestimmten, strategischen sowie integrierten Vorgehensweise. Diese wird den Kommunen im Rahmen der „Energetischen Stadtsanierung“ geboten. So bedarf es in allen Kommunen eines kritischen Blicks auf jegliche Klimaschutz- und Energieeinsparpotenziale im Bereich der Gemeindeentwicklung. Klimaschutz erfordert für eine erfolgreiche Umsetzung ein kooperatives Zusammenwirken aller Akteure, insbesondere der Kommunalpolitik, der Verwaltung sowie der Bürger.

1.2. Projektablauf

Besonders der Städtebau ist grundlegende Textur für eine zukünftige energetische Ausrichtung der Stadt. Eine eingehende städtebauliche Betrachtung der Stadt- und Gebäudestruktur sowie aktueller und potentieller Nutzungen ist deshalb für eine energetische Betrachtung unerlässlich. Die Verknüpfung von Zielen der energetischen und klassischen Stadtsanierung soll zu Synergieeffekten hinsichtlich der Arbeit in beiden Bereichen führen. Das energetische Quartierskonzept wird durch die Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH (DSK) aufgestellt. Die Einbindung der Verwaltung und einzelner Schlüsselakteure führt zu einer partizipativen Entwicklung von Zielen und Maßnahmen. Die Stadt Apolda agiert als Auftraggeber dieses Konzeptes.

In einem ersten Schritt wird eine umfangreiche Bestandsaufnahme durchgeführt, wodurch der Ist-Zustand des Quartiers festgestellt werden kann. Dies betrifft u.a. die städtebauliche Gestalt und den baulichen Zustand der Gebäude mit Blick auf den Sanierungsstand, Dachausrichtungen etc. Auch die Versiegelung öffentlicher und privater Flächen wird untersucht, Freiräume, verkehrliche Infrastruktur und Mobilität sowie die Energieversorgung betrachtet.

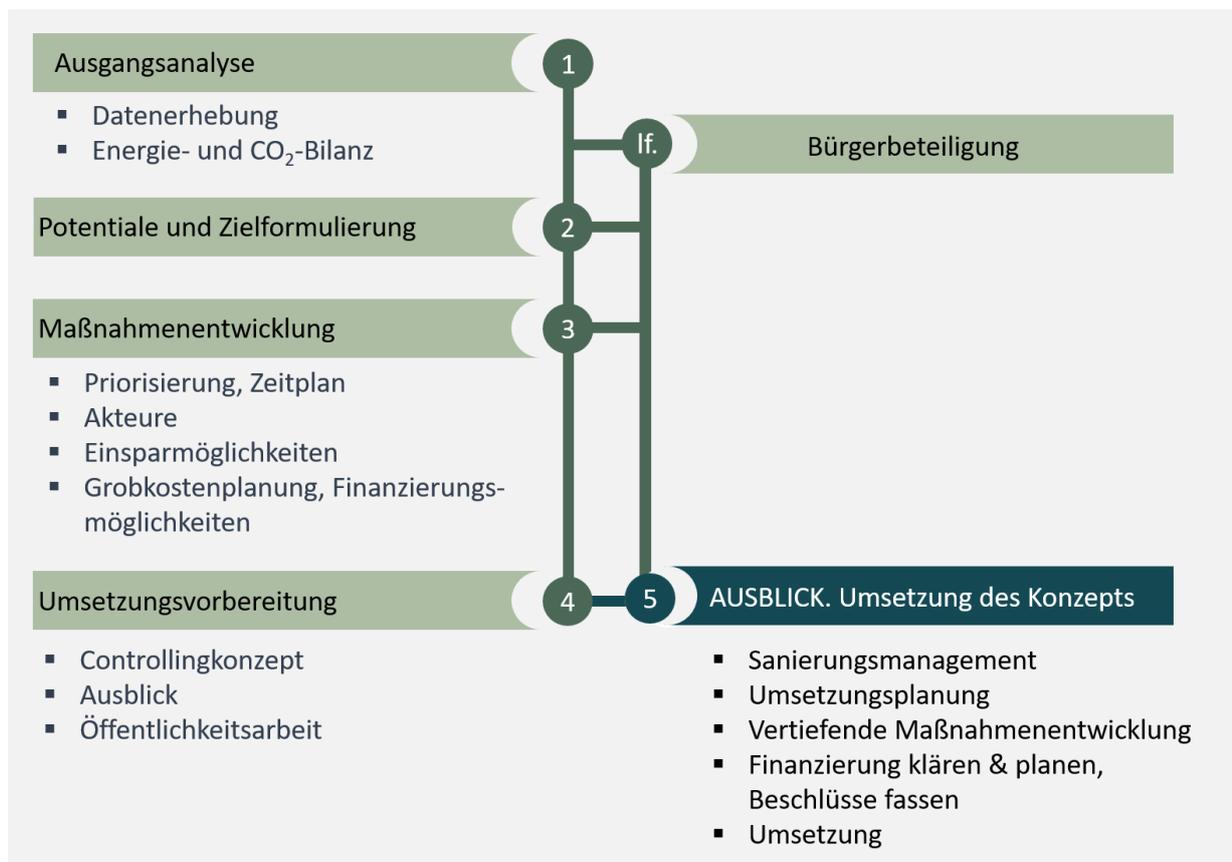


Abbildung 1: Ablaufschema zur Erstellung eines energetischen Quartierskonzept (Datenquelle: DSK, eigene Darstellung)

Aus der Bestandsaufnahme werden Klimaschutzpotentiale abgeleitet. Daraus können Zielstellungen formuliert werden, die zum einen in Potentiale und Handlungsbereiche resümieren und zum anderen eine Handlungsgrundlage für die künftige Stadtentwicklung geben können. Die jeweiligen Zielstellungen werden nach einzelnen Maßnahmen und Handlungsfeldern ausdifferenziert und in einem Maßnahmenkatalog zusammengefasst, sodass verschiedene Maßnahmen zur Erreichung eines bestimmten Zieles dienen. Es werden überdies Aussagen zu Finanzierungsoptionen, insbesondere zu infrage kommenden Förderprogrammen getroffen. Mögliche Hemmnisse in der Umsetzung von Klimaschutzaktivitäten werden beleuchtet und Lösungsansätze formuliert. Abschließend werden Strategien für die Umsetzung der Maßnahmen beschrieben.

Der Erarbeitungsprozess ist von stetiger Beteiligung der Behörden und einzelner Schlüsselakteure gekennzeichnet. Das energetische Quartierskonzept ist damit ein erster Schritt für eine strategische Minimierung der Emissionen für das Untersuchungsgebiet „Erweiterte Kernstadt“ in Apolda.

1.3. Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung

Die Konzepterstellung wurde durch mehrere Maßnahmen zur Einbindung der Schlüsselakteure und begleitet.

Im Zuge der Konzepterstellung fand mehrfach Austausch mit dem lokalen Netzbetreiber und Energieversorger der Energienetze Apolda (ENA) und Energieversorgung Apolda (EVA) statt. Neben der Datenabfrage wurden mit den Vertretern der Unternehmen auch mehrfach Gespräche über Möglichkeiten der Institutionalisierung des Prozesses

zur Gestaltung einer Wärmewendestrategie geführt. Darüber hinaus fand in den Räumlichkeiten der ENA ein strategischer Workshop zur Abstimmung der künftigen Versorgungsstrategie sowie Identifizierung von möglichen Vorranggebieten für den Ausbau von Wärmenetzen statt.

Eine engere Abstimmung oder Datenübermittlung durch die lokalen Schornsteinfeger konnte nicht etabliert werden.

Abstimmungen fanden mit einzelnen Fachämtern der Stadtverwaltung statt. Diese betrafen sowohl die Datenabfrage als auch mögliche Handlungsempfehlungen.

Mehrere Gesprächsrunden insbesondere hinsichtlich des öffentlichen Nahverkehrs sowie der eigenen Liegenschaften wurden zudem mit dem Landkreis Weimarer Land und der Personenverkehrsgesellschaft mbH Weimarer Land (PVG mbH Weimarer Land) geführt.

Im Oktober 2023 wurde ein Workshop unter Beteiligung der Vertreter der Energieversorger, der Wohnungswirtschaft, des Landkreises als Trägers des öffentlichen Nahverkehrs und der Stadtverwaltung zu Entwicklung und Priorisierung von Maßnahmen durchgeführt.

Im Projektverlauf wurden eine Befragung der Schüler und Schülerinnen zum Mobilitätsverhalten und Optimierungsbedarfen im Bereich der städtischen Mobilität durchgeführt.

Die Information der Öffentlichkeit fand zudem über sporadische Pressearbeit statt. Spontane Gespräche mit den Bewohnern:innen und Akteuren im Untersuchungsgebiet wurden auch im Rahmen der Ortbegehungen und Datenaufnahmen vor Ort geführt.

2. Allgemeine Ausgangsanalyse

2.1. Lage und Bedeutung der Stadt

Die Stadt Apolda liegt als Kreisstadt im Nordosten des Bundeslandes Thüringen und ist dem Landkreis Weimarer Land angehörig. Präzisiert liegt die Stadt damit am Rande des Thüringer Beckens nördlich der Thüringer Städtekette (Eisenach, Gotha, Erfurt, Weimar, Jena und Gera). Circa 10 km nordöstlich der Stadtgrenze verläuft die Grenze Sachsen-Anhalts. Die dortige Region ist eher durch die Landwirtschaft geprägt und gilt als strukturschwach. Das Gebiet zwischen Gotha, Sömmerda, Apolda, Stadtroda und Arnstadt mit den Oberzentren Erfurt und Jena, sowie dem Mittelzentrum Weimar, wird als Raum mit günstigen Entwicklungsvoraussetzungen bewertet. Laut „Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025“ von 2014 des Thüringer Ministeriums für Bau, Landesentwicklung und Verkehr (TMBLV) handelt es sich hierbei um einen demographisch und wirtschaftlich stabilen Zentralraum in Thüringen. Apolda selbst ist ein Mittelzentrum mit vielfältigen Funktionen für die Daseinsvorsorge und zugleich Kreisstadt des Weimarer Landes. Als Mittelzentrum übernimmt Apolda vielfältige Aufgaben bei der Versorgung des Umlandes, bspw. durch Fachärzte, Schwimmbäder oder ein Krankenhaus. Auf der Ebene der Raumordnung wird Apolda im Landesentwicklungsprogramm als ländlicher Raum eingestuft.

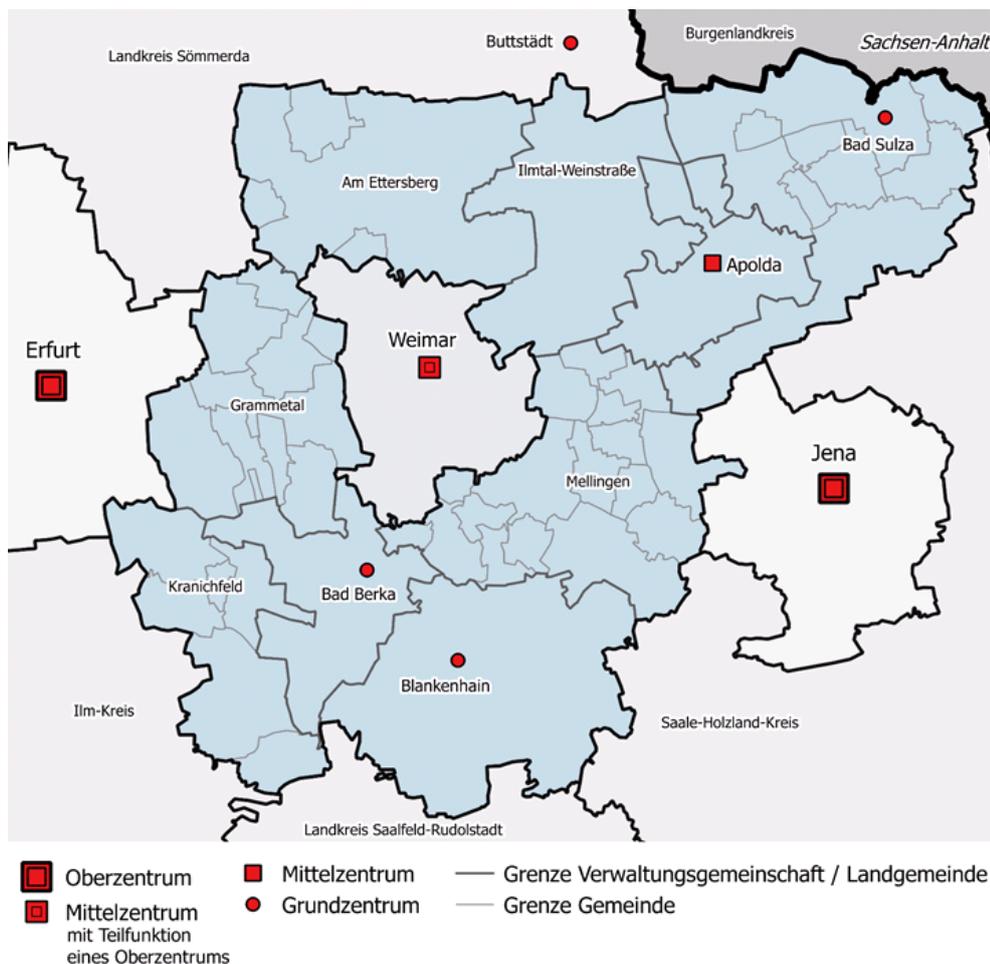


Abbildung 2: Lage der Stadt Apolda im Weimarer Land (Datenquelle: Nahverkehrsplan Weimarer Land)

Das Stadtbild von Apolda zeigt heute noch historische Strukturmerkmale auf, beispielsweise eine relativ kompakte Gründerzeitbebauung im Bereich des Marktes in Richtung Bahnhof. Der mittelalterliche Stadtkern mit dem Marktplatz und dem Schloss als ehemalige Grenzburg ist heute noch als die historische Altstadt Apoldas erkennbar. Zudem ist Apolda durch einen relativ hohen Altbauanteil gekennzeichnet. Bilder der beschriebenen Bebauung sind im Folgenden dargestellt. Dabei wird die kompakte Gründerzeitbebauung im Bereich des Marktes und auch in der Bahnhofstraße deutlich sichtbar. Zudem ist die Lutherkirche zu erkennen, die das größte Gotteshaus in Apolda ist. Die Kirche wurde zwischen 1890 – 1894 erbaut und der Hauptturm ist knapp 72 Meter hoch und damit der höchste Punkt der Stadt.



Abbildung 6: Marktplatz in Apolda (Datenquelle: Weimarer Land, Tourismus)



Abbildung 6: Lutherkirche in Apolda (Datenquelle: Apolda, Wirtschaftsstandort)



Abbildung 6: Bahnhofstraße in Apolda (Datenquelle: Wikimedia, Commons)



Abbildung 3: Bahnhofstraße in Apolda (Datenquelle: Apolda, Sehenswürdigkeiten)

2.2. Stadtaufteilung und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Klimaquartier „Erweiterte Kernstadt“ Apolda hat eine Gesamtfläche von 9,9 km² und wird im gesamten Osten, sowie Teilen des Nordens durch die Bundesstraße 87 begrenzt. Auf die B87 folgt die Fläche des Gewerbegebietes bis zu der Straße „Am Kalkteich“ im Nordwesten des Gebietes. Westlich der Straße verläuft die Quartiersgrenze zwischen der „Kernstadt“ und dem Kleingartenverein „Amselgrund“ bis zur Utenbacher Straße. Dort öffnet sich das Quartier wieder, sodass die angrenzenden Unternehmen in das betrachtete Quartier inkludiert werden können. Im weiteren Verlauf bildet das Robert-Koch-Krankenhaus die südliche Begrenzung des Klimaquartiers. Im Südosten dient das Gewerbegebiet an der B87 als Grenze, woraufhin dann die B87, wie bereits erwähnt selber zur Grenze wird. Damit umfasst das Quartier, laut ISEK der Stadt Apolda die Stadtteile:

- Kernstadt
- Teile von Oberroßla
- Teile von Oberndorf

Nicht inkludiert sind die sechs Ortsteile, die sich um Apolda herum befinden.

Das Quartier zeichnet sich durch eine vielseitige Akteursstruktur aus, einschließlich bedeutender Unternehmen in Gewerbegebieten und zahlreicher Handels- und Dienstleistungsunternehmen. In Industrie- und Gewerbegebieten sind verschiedene Produzenten tätig. Im Stadtkern dominieren dagegen kleinere Dienstleister, größere Handelsunternehmen und Handwerksbetriebe. Öffentliche Einrichtungen wie Schulen, Kindertagesstätten, die Verwaltung, der Energieversorger und kulturelle Einrichtungen sind ebenfalls im Quartier ansässig und weisen unterschiedliche Energieverbrauchsprofile auf. Diese Diversität wird bei der Entwicklung des Quartierskonzepts berücksichtigt.

Architektonisch vielseitig zeigt sich das vorliegende Quartier in Apolda. Neben den bis heute erkennbaren historischen Strukturen, wie beispielsweise die verwinkelten und engen Straßen in der Altstadt, verfügt das Gebiet über eine relativ kompakte Gründerzeitbebauung im Bereich des Marktes in Richtung Bahnhof, sowie die Großwohnsiedlung „Apolda Nord“.

Nach der Beschreibung der Grenzen des Quartiers, wurden diese in der folgenden Darstellung nochmals graphisch dargestellt. Daneben wurde ebenfalls die Flächennutzung auf Grundlage der Kataster-Dateien des Bundeslandes Thüringen dargelegt. Dabei ist auffällig, dass große Teile des betrachteten Gebietes durch Siedlungs- und Verkehrsflächen charakterisiert werden.

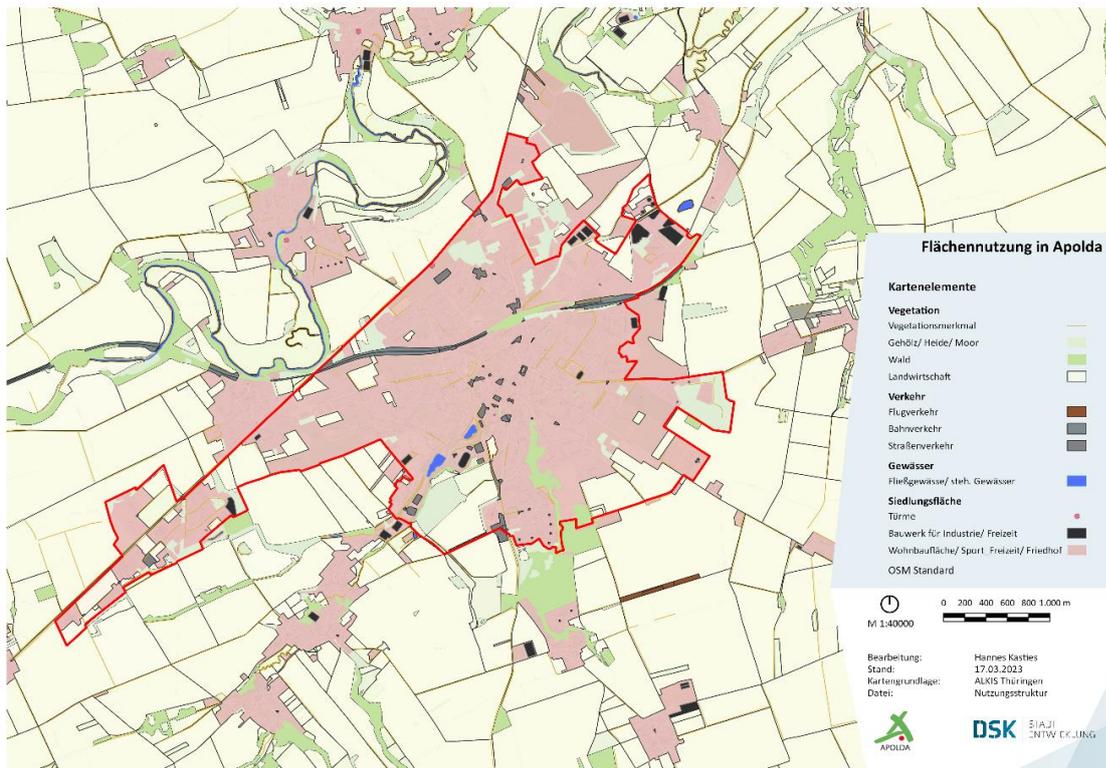


Abbildung 7: Flächennutzung in Apolda

2.3. Planungsrechtliche und konzeptionelle Grundlagen

Bei der Planung von kommunalen Bauprojekten spielt die Kommune die entscheidende Rolle. Dennoch müssen auch übergeordnete Planungen Berücksichtigung finden. Organisiert wird dies mittels des Gegenstromprinzipes, durch das eine Wechselwirkung der verschiedenen Planungsebenen erzeugt wird. Damit ist gemeint, dass bei der Erstellung von Planungen, unabhängig der Ebene, die darunter und darüberliegenden Ebenen ebenfalls betrachtet und zu Rate gezogen werden. Für die Stadt Apolda, sind das insbesondere das Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025 (LEP 2025), sowie der Regionalentwicklungsplan Mittelthüringen (REP).



Abbildung 8: Gegenstromprinzip der räumlichen Planungsebenen (Eigene Darstellung)

2.3.1. Landesplanungsebene

Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025

Das Landesentwicklungsprogramm 2025 (LEP) nimmt sich dem Ziel einer nachhaltigen Landesentwicklung mit Berücksichtigung des demographischen Wandels, sowie klimatischer Veränderungen an. Dabei kann Nachhaltigkeit nur erreicht werden, wenn die heute lebenden Menschen ihr Bedürfnisse befriedigen können, ohne dabei die Chancen zukünftiger Generationen bei der Erfüllung derer Bedürfnisse zu beeinträchtigen. Somit müssen zunehmend die fossilen Ressourcen durch erneuerbare Energie ersetzt werden, um die Belastung der Umwelt zu reduzieren. Dabei spielt die Ausgeglichenheit der drei Säulen der Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle. Zu den Säulen zählen, der Schutz und Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen, die soziale Ausgewogenheit, sowie die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit.

Im LEP 2025 wird Apolda im System der zentralen Orte Thüringens als Mittelzentrum ausgewiesen. Damit übernimmt die Stadt „gehobene Funktion der Daseinsvorsorge mit mindestens regionaler Bedeutung“. Dazu gehören das Angebot von weiterführenden Bildungsfunktionen, wie Schulen mit Sekundarstufe I und II, sowie Berufs- und Volkshochschulen. Außerdem verfügen Mittelzentren über ein Krankenhaus und weitergehende Freizeitfunktio-

nen, wie beispielsweise Hallenbäder oder weitere Sportanlagen. Dazu sollen Mittelzentren noch über einen Anschluss an den überregionalen Verkehr, durch die Etablierung eines solchen Verkehrsknotenpunktes, verfügen. Zudem zählt Apolda zu dem wirtschaftlichen stabilen Bereich „innerthüringer Zentralraum“ und zusätzlich zu dem Freiraumverbundsystem Auenlebensräume.

Unter Zugrundelegung von Nachhaltigkeitsaspekten, demografischer Veränderungen sowie ökologischen Anforderungen formuliert das LEP 2025 folgende Leitvorstellungen. Die für das vorliegende Konzept relevanten, allgemeinen Aspekte lauten:

- „Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke soll weiterhin kontinuierlich reduziert werden mit dem Ziel, bis 2025 die Neuinanspruchnahme durch aktives Flächenrecycling (in der Summe) auszugleichen.“
- „Bei der Siedlungsentwicklung sowie Siedlungserneuerung im Bestand soll das bisherige Prinzip der Funktionstrennung überwunden und eine funktionelle Zuordnung der Nutzungen Wohnen, Arbeiten, Versorgung und Erholung angestrebt werden.“
- „Die Siedlungsentwicklung soll den Anforderungen, die sich aus dem Klimawandel ergeben, angepasst werden, innerstädtische Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien im Gebäudebereich ermöglichen und durch Energieeffizienzmaßnahmen dem Klimawandel entgegenwirken.“

Weitere für die Stadt Apolda relevante Leitvorstellungen des LEP 2025 lauten:

- „Bei der Versorgung der Bevölkerung mit Wohnraum sollen die Aspekte des demografischen Wandels, des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Schaffung und Erhaltung sozial stabiler Bewohnerstrukturen maßgeblich einbezogen werden.“
- „Besondere Wachstumschancen, insbesondere im Bereich innovativer Umwelt- und Energietechnologien, sollen für die Thüringer Industrie genutzt werden. Die Wettbewerbsfähigkeit von Industrie und Handwerk soll durch den Einsatz grüner Technologien und ein hohes Maß an Energie- und Ressourceneffizienz gestärkt werden.“
- „Die nachhaltige Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen soll unter Einbeziehung aller Verkehrsträger und Verkehrsarten sowie deren Vernetzung (integrierte Verkehrsentwicklung), durch verkehrssparende Siedlungsstrukturen, ressourcenschonende Bündelung von Infrastrukturen, Verkehrsverlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger sowie durch Steigerung der Attraktivität umweltfreundlicher Verkehrsangebote erreicht werden. Bei der weiteren integrierten Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur sollen die Potenziale und Erfordernisse der Elektromobilität besonders berücksichtigt werden. Es sollen Strategien für eine postfossile Mobilität entwickelt werden.“

2.3.2. Regionalplan Mittelthüringen (Erlassen 2011)

Der aktuelle Regionalplan von der Planungsgemeinschaft Mittelthüringen wurde im Jahr 2011 erlassen. Die Planungsgemeinschaft Mittelthüringen ist eine von vier Planungsregionen im Freistaat. Nach dem Bundesraumordnungsgesetz, obliegt es der Planungsgemeinschaft, Ziele und Grundsätze der Raumordnung vorzugeben, dabei folgt sie hierarchisch der Landesplanung und konkretisiert die dort erarbeiteten Ziele. Dabei ist das Planungsgebiet Mittelthüringen nach Einwohnerzahlen, das zweitgrößte nach der Region Ostthüringen. Folgende Ziele sind dabei für die Stadt Apolda und das energetische Quartierskonzept von besonderer Wichtigkeit:

- Die Stadt Apolda, soll als Standort angewandter innovativer Entwicklungen ausgebaut werden
- In Apolda, soll die Nachnutzung von Brach/ Konversionsflächen gefördert werden, gerade im Hinblick auf die Mischung des Gewerbes, Wohnens und sonstiger Nutzung
- Schienenverbindung Weimar – Apolda soll saniert/ modernisiert werden
- Apolda soll als Schwerpunkt für den Tourismus entwickelt werden, gerade mit Hinblick auf den Kultur- Bildungstourismus

2.3.3. Kommunale Planungsebene

Integriertes Stadtentwicklungskonzept 2030

Ein integriertes Stadtentwicklungskonzept (ISEK) dient der Stadt, verschiedene zukunftsrelevante Themenschwerpunkte in einem gesamtkonzeptionellen Rahmen zusammenzuführen. Dabei sind die Schwerpunkte in diesem Konzept auf folgende fünf Themen aufgeteilt:

- der Demographische Wandel
- die Wirtschaft der Stadt
- die Stadtstruktur inklusive Wohnen und Verkehr
- kulturellen Aspekte, Soziales und Bildung
- Anpassung an den Klimawandel

Das ISEK wurde 2017 von der Stadt Apolda veröffentlicht und dient der räumlichen Entwicklungsvorstellung der Stadt bis zum Jahr 2030. Im Folgenden wird das Konzept zusammengefasst dargestellt, wobei nur auf die Konzepte eingegangen wird, die für die Erstellung des energetischen Quartierskonzeptes von Bedeutung sind.

- Im Bereich des gewerblichen und produzierenden Gewerbes, soll die bereits vorhandene Struktur stabilisiert werden. Dazu sollen mittels Anwerbung neue Fachkräfte gewonnen werden, die wiederum den Wirtschaftsstandort stärken sollen. Neben dem Einsatz verschiedenster Kommunikationsformen, sollen ebenfalls weiche Standortfaktoren gestärkt werden.

- Im Bereich der Stadtentwicklung soll die Wohnfunktion der Kernstadt gestärkt werden, indem energieeffiziente, innerstädtische Quartiere entwickelt werden. Gerade im Hinblick auf den Bereich der nördlichen Bahnhofsstraße.
- Dazu soll die Kernstadt besser mit dem ÖPNV angeschlossen werden, dies stellt aber gerade im Hinblick auf das dichte und enge Straßennetz im Zentrum der Stadt eine Herausforderung dar.
- Neben dem Erhalt und Ausbau des ÖPNV, soll zudem das Fahrrad als Mobilitätsmittel stärker in den Anteil der Verkehrsträger integriert werden.
- Gleichzeitig soll die gemischte Nutzungsstruktur aus Gewerbe und Wohnen beibehalten werden, wobei der Fokus auf der Wohnfunktion liegt.
- Ebenso stellt die Verbesserung der Aufenthaltsqualität einen wichtigen Faktor der Stadtentwicklung dar, gerade auch mit Blick auf die Stärkung der Barrierefreiheit des öffentlichen Raumes.
- Neben der Stärkung der Kernstadt, soll ebenfalls der Stadtteil Nord in das Zentrum der Maßnahmen gerückt werden. Dort soll der Stadtteil, sowohl qualitativ als auch quantitativ auf die zukünftigen Anforderungen der Bewohnenden angepasst werden. Damit ist die altersgerechte Anpassung des Wohnumfeldes, sowie der Umbau des Glockenhofcenters beabsichtigt.
- Im Bereich des Klimaschutzes liegt noch kein gesamtstädtisches Konzept vor. Ebenfalls soll ein Lärmaktionsplan erstellt werden, um die Belastung der Bewohnenden zu visualisieren und zu reduzieren. Die Freiraumqualitäten in der Stadt wurden im Rahmen der Landesgartenschau bereits verbessert, trotzdem sollen zusätzlich die Randlagen und die „Eingänge“ in die Stadt in den Fokus der Stadtgrün Aufwertung fallen.

Neben dem ISEK hat die Stadt Apolda, durch den europäischen Fonds für regionale Entwicklung bereits die Straßenbeleuchtung im Wohngebiet Apolda Nord erneuert. Dadurch konnten 70% der genutzten Energie eingespart werden.

Bebauungsplan „Revitalisierung RST-Gelände“

Im September 2021 wurde der Bebauungsplan „Revitalisierung RST-Gelände“ verabschiedet. Das Gelände befindet sich im Nordosten der Stadt Apolda, angrenzend an die Kernstadt Apoldas. Bei dem „RST-Gelände“ handelt es sich, laut des B-Planes, um eine Gewerbebrache, die mittelfristig zu einem innerstädtischen Wohnquartier entwickelt werden soll. Die Fläche soll mit zwei- bis dreigeschossiger Bebauung bebaut werden. Erschlossen werden soll die Straße durch die Lessingstraße mit einem Straßenquerschnitt von 6,10 Meter. Die Wärmeversorgung des Neubaugebiets wird derzeit über das vorhandene Gasnetz angestrebt.

Bebauungsplan „An der Strobaer Straße“

Im November 2022 wurde durch das Ingenieurbüro „Emch+Berger GmbH“ ein Bebauungsplan zur Revitalisierung der Fläche „An der Strobaer Straße“ vorgelegt. Das Gelände befindet sich in Südosten der Stadt und grenzt damit direkt an das Klimaquartier in Apolda an. Das Gebiet ist 14.707 m² groß und ist bislang durch Ackerfläche geprägt.

Im Quartier soll Anlagen zur Wohnnutzung errichtet werden. Damit soll das Wohnbauflächenpotential Apoldas ausgebaut und somit die Ziele des ISEKs verfolgt werden. Neben den Wohngebäuden sind nicht störende Klein- und Handwerksbetriebe, sowie Büroräume und Beherbergungsmöglichkeiten vorgesehen. Diese sollen jedoch nur in geringem Maße errichtet werden, da im Vordergrund die Wohnbebauung steht. Die Firstrichtung ist in Richtung Südwest vorgegeben, sodass ein Potential zur Nutzung regenerativer Energien vorliegt.

Der zukünftige Bezirk soll über die Strobaer Straße (K 104) und anschließend einer Anwohnerstraße erschlossen werden. Am Rand der Verkehrsflächen soll Straßenbegleitgrün und Versickerungsmöglichkeiten entstehen. Für den Anschluss an die Energieversorgung ist die Energieversorgung Apolda GmbH verantwortlich. Für den Einsatz von regenerativen Energien gibt es im Bebauungsplan keine Beschränkungen.

Bebauungsplan „Neubau der Rettungswache an der Jenaer Straße“

Der Bebauungsplan zum Neubau der Rettungswache wurde am 27.10.2023 beschlossen. Der Plan sieht vor auf das Gelände, des schon bestehenden Robert-Koch-Krankenhauses, eine Rettungswache zu errichten. Als Begründung wird der hohe Platzbedarf, durch Personalaufstockungen und Weiterentwicklung der technischen Geräte genutzt.

Flächennutzungsplan der Stadt Apolda

Ebenfalls am 11. November 2022 bis zum 23.01.2023 wurde durch die Stadt ein Flächennutzungsplan öffentlich ausgelegt. Dieser dient als vorbereitender Bauleitplan und als Orientierungshilfe für zukünftige Projekte. Innerhalb des Flächennutzungsplans wurde die Ausgangslage analysiert, um darauf aufbauend mögliche bauliche Tätigkeiten zu beschreiben. Durch die Analyse wurden Potentiale erkannt, um im energetischen Quartier sieben Wohnbauprojekte zu realisieren. Davon sind bereits die ersten in Form von Bebauungsplänen erarbeitet worden. Daneben konnte eine gemischte Baufläche, sowie ein Sondergebiet „Handel“ identifiziert werden. Darüber hinaus konnte im Norden der Stadt ein Sondergebiet „Erneuerbare Energien“ ausgemacht werden, auf dem mittels Solarenergie Strom erzeugt werden soll. Da der Flächennutzungsplan noch final erarbeitet wird, kann es noch zu Änderungen und Abweichungen von dem beschriebenen kommen.

2.4. Soziodemografische Entwicklung

Die Analyse von demografischen Daten und Trends in der Sozialstruktur des Quartiers kann auf zukünftige Entwicklungen wie z.B. Gebäudeleerstände, Wohnraumnachfrage oder Änderungen der Ver- und Entsorgerstruktur verweisen. Folglich besteht eine Notwendigkeit, diese Daten im Rahmen des vorliegenden Quartierskonzeptes zu untersuchen. Die Betrachtung der demographischen Entwicklung erfolgt auf Grundlage der Daten des Thüringer Landesamtes für Statistik. Als Einwohner zählen hierbei alle Bürger, unabhängig ihrer Staatsangehörigkeit oder Nationalität, sofern sie in der Stadt wohnsitzberechtigt sind. Dabei werden nur die Einwohner berücksichtigt, welche mit Hauptwohnsitz in Apolda gemeldet sind. Die nachfolgenden Ausführungen zur demographischen Entwicklung beziehen sich stets auf die Gesamtstadt Apolda.

Bisherige Bevölkerungsentwicklung und gegenwärtiger Zustand

Apolda hat seit Beginn der 2000er Jahre eine vielfältige Bevölkerungsentwicklung durchlaufen. Zunächst kam es zu einem Bevölkerungsschwund. Dieser Trend konnte durch Zuzüge von außerhalb kompensiert werden, wodurch die Stadt seit dem Jahr 2014 wieder wachsen konnte und im Jahr 2021, laut des Thüringischen Landesamtes für Statistik, 22.627 Einwohner aufwies.

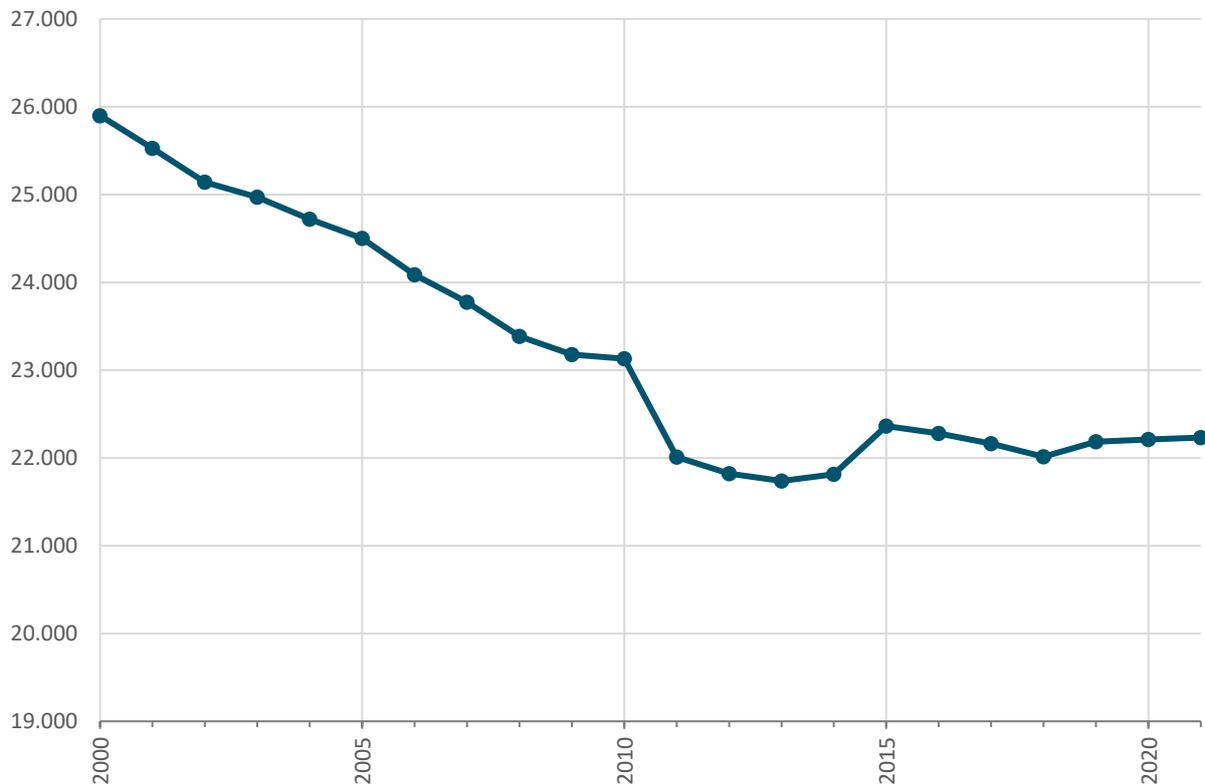


Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Statistik)

Die Daten der Stadt Apolda zeigen eine unausgewogene Verteilung der Altersgruppen auf. Dabei ist auffällig, dass auf die Gruppe der Kinder und jungen Erwachsenen mit nur 26% ein im Vergleich geringer Prozentsatz fällt. Im Vergleich dazu stellen die Menschen über 60 Jahre mit 33% einen deutlichen höheren Anteil der Stadtbevölkerung dar. Herausfordernd wird dies, mit dem Blick auf den Anteil der Menschen zwischen 46 und 61 Jahre. Dieser Teil der Bevölkerung wird in den nächsten Jahren in den Ruhestand eintreten, wodurch Arbeitskräfte wegfallen werden, daher bedarf es einer gesonderten Betrachtung dieser Gruppe. Der Wert liegt bei ca. 20 %, wodurch die Stadt auf eine Überalterung der Stadtgesellschaft zusteuert. Die Überalterung der Gesellschaft ist hierbei repräsentativ für viele Teile des Landes. Diese Überalterung wird nochmals deutlicher, bei Betrachtung der nachfolgenden Grafik. Darin ist der Verlauf der Altersstruktur in Apolda seit Beginn der 2000er Jahre zu sehen. Zum einen wird die Entwicklung der Bevölkerung nochmal sichtbar, zum anderen ist deutlich zu erkennen, dass der Anteil der 16-65-Jährigen abnimmt, wohingegen der Anteil, der über 65-Jährigen im Verlauf der Jahre immer weiter zunimmt. Ebenfalls deutlich wird auch, dass der Anteil der 6-15-Jährigen an der Gesamtbevölkerung zunimmt.

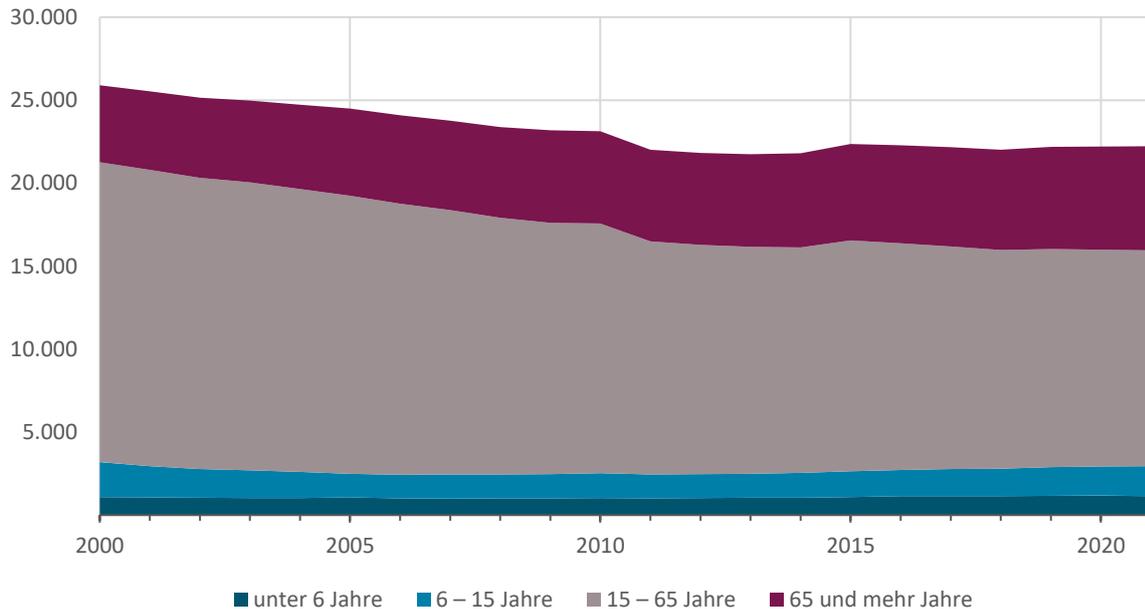


Abbildung 10: Altersstruktur in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Statistik)

Die Bevölkerungsbewegung setzt sich aus der natürlichen Bewegung (Geburten und Sterbefälle) sowie den Wanderungsbewegungen (Zuzüge und Fortzüge) zusammen.

Bedingt durch die Überalterung wird ebenfalls erklärbar, warum in Apolda zwischen den Jahren 2000 und 2021 die natürliche Bewegung der Bewohnenden negativ ausgeprägt war.

Jedoch konnte die Stadt durch einen positiven Wanderungssaldo von 797 zwischen den Jahren 2019 bis 2021 das negative Saldo der natürlichen Bevölkerungsveränderung ausgleichen, wodurch letztlich das schon beschriebene Wachstum erfolgen konnte.

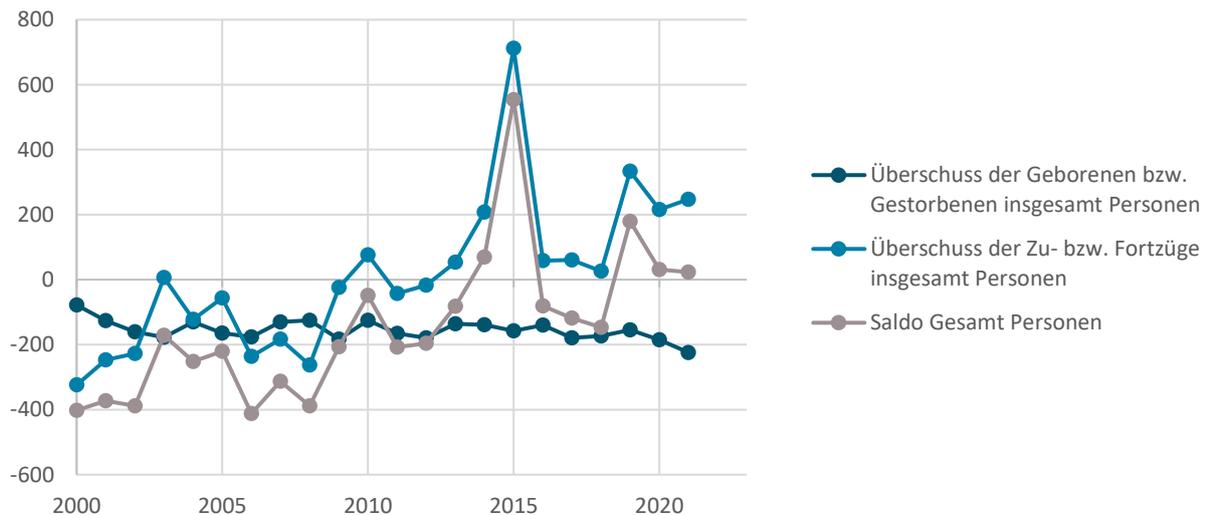


Abbildung 11: Bevölkerungssaldo in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landsamt für Statistik)

Zukünftige Bevölkerungsentwicklung

Ausgehend von der Bevölkerung zum 31.12.2019 wurde durch das Thüringer Landesamt für Statistik eine 1. Gemeindebevölkerungsvorausberechnung (1. GemBv) für alle kreisangehörigen Gemeinden, erfüllenden Gemeinden

und Verwaltungsgemeinschaften in Thüringen bis zum Jahr 2040 erstellt. Diese bezieht sich auf den Gebietsstand zum 31.12.2020. Im Rahmen der 2. regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung (2. rBv) wurden zudem Ergebnisse für kreisfreie Städte und Landkreise ermittelt. Die Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Komponenten der Bevölkerungsbewegung wurden vorwiegend aus dem Referenzzeitraum 2017 bis 2019 abgeleitet (Sterbefälle 2015 bis 2019). Der Referenzzeitraum dient unter anderem zur Ableitung der Koeffizienten zur Geburtenhäufigkeit, Sterblichkeit und Wanderungsbeteiligung auf Gemeindeebene. Die Annahmen der 1. GemBv für Thüringen orientieren sich an der 2. rBv und gehen von einem leichten Anstieg der Geburtenrate, des durchschnittlichen Gebäralters und einem weiteren Anstieg der Lebenserwartung aus. Bezüglich der Wanderungen wird für Thüringen von einem positiven Gesamtwanderungssaldo ausgegangen. Dieser resultiert aus dem zunächst hohen, bis 2026 rückläufigen und danach stabilen Wanderungsgewinn mit dem Ausland und dem Rückgang des Binnenwanderungsverlustes von Thüringen in andere Bundesländer. Diese Annahmen wurden anhand der bisherigen Entwicklung auf die einzelnen Gemeinden übertragen. Die Hauptursache für die zukünftige Bevölkerungsentwicklung in Thüringen ist der bereits in der bestehenden Altersstruktur angelegte Sterbefallüberschuss.

Zu beachten ist, dass spezifische Faktoren vor Ort, die über die demografische Entwicklung hinausgehen und einen zusätzlichen Einfluss auf die Bevölkerungsentwicklung haben können, bei den Vorausberechnungen keine Berücksichtigung finden. Dies können zum Beispiel zukünftig erhöhte Zuzüge durch Ausweisung von Wohnbauflächen, Betriebsansiedlungen oder verstärkte Fortzüge durch fehlende Infrastruktur oder Arbeitsplätze sein (vgl. TLS 2023).

Nach den Berechnungen des 1. GemBv wird für die Stadt Apolda ein Rückgang der Bevölkerung zwischen den Jahren 2020 bis 2040 erwartet. Dabei liegt der Rückgang bei 2.360 Personen (10,7%) auf 19.730 Einwohnende (vgl. Abb. ...). Der Vergleich zeigt, dass es sowohl auf Landkreis als auch auf Bundeslandebene zu einem Bevölkerungsrückgang kommen wird. Das Weimarer Land wird demnach mit einem geringeren Rückgang konfrontiert sein als Apolda. Thüringen wird, im Vergleich zu Apolda, noch stärker schrumpfen, um knapp 12%.

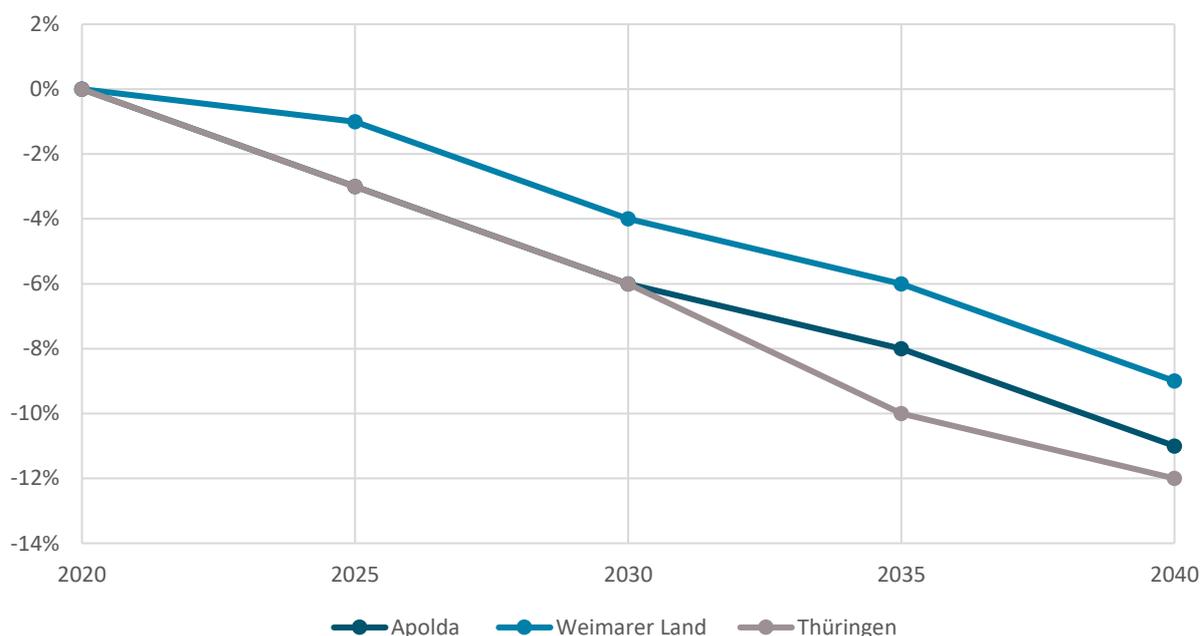


Abbildung 12: Prognose der Bevölkerungsentwicklung (Datenquelle: Statistisches Landesamt Thüringen, Eigene Darstellung)

Der demographische Wandel sorgt für eine Veränderung der Bevölkerungsstruktur in Apolda. Während die Anzahl der Bevölkerung zwischen 20 bis 65 Jahre kontinuierlich abnimmt, erhöht sich der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre. Zudem ist erkennbar, dass der Anteil der 0 bis unter 20-Jährigen ebenfalls zunimmt, wodurch die Bevölkerung weniger stark überaltert als in anderen Gemeinden.

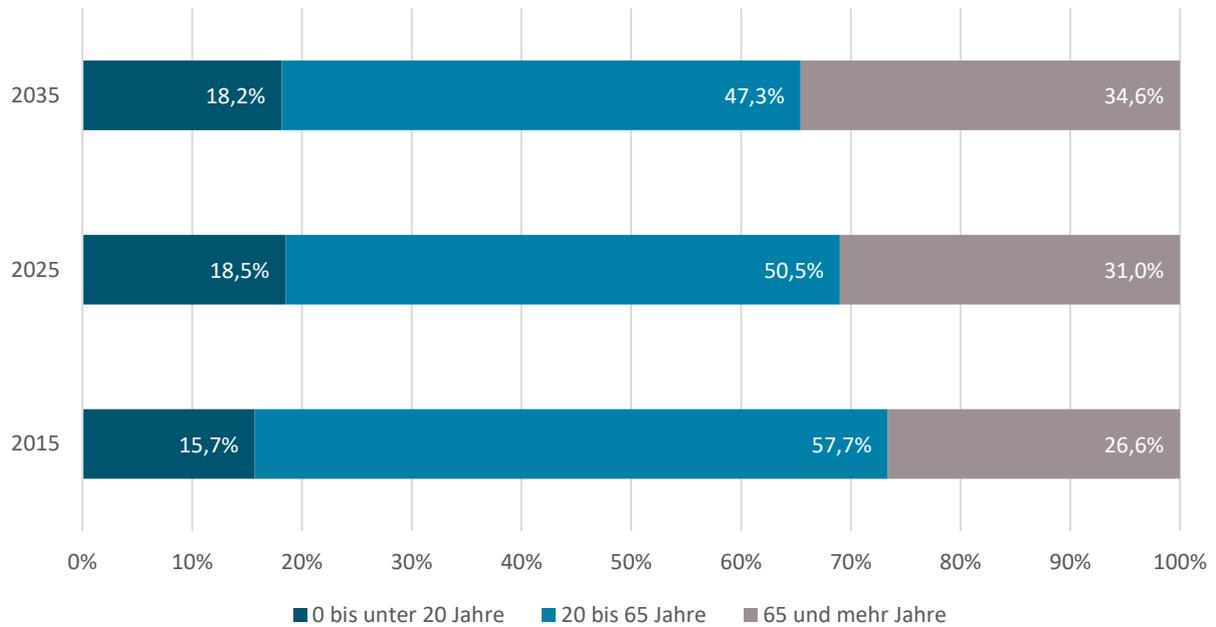


Abbildung 13: Prognose der Altersgruppen 2015 bis 2035 (Datenquelle: Statistisches Landesamt Thüringen, Eigene Darstellung)

3. Gebäudebestand im Quartier

3.1. Nutzungsart und Eigentümerstruktur

Im vorherigen Kapitel konnte bereits gezeigt werden, dass der deutlich überwiegende Anteil der Wohnobjekte in Apolda durch Einfamilienhäuser gebildet wird. Dabei sind die Wohngebäude zu knapp 80 % im Besitz von Privatpersonen. Circa 9 % werden durch eine Gemeinschaft von Wohnungseigentümern verwaltet und circa 7 % werden durch die Kommune Apolda bzw. die Wohnungsgesellschaft Apolda mbH verwaltet. Weitere drei Prozent der Wohnungen liegen im Besitz der Apoldaer Wohnungsbau Genossenschaft eG.

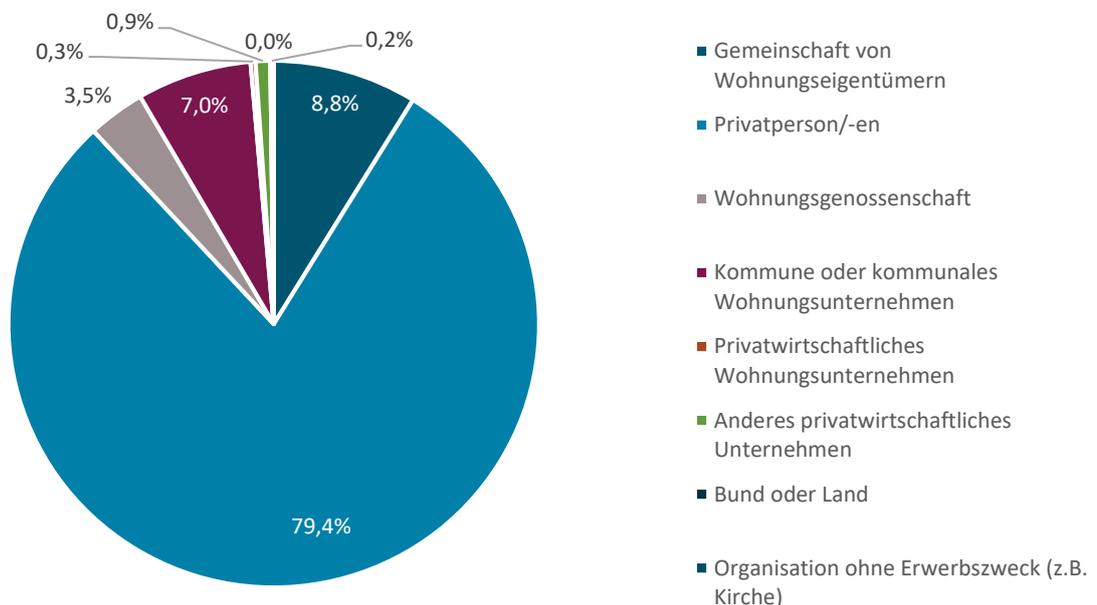


Abbildung 14: Nutzungsart und Eigentümerstruktur (Datenquelle: ZENSUS)

3.2. Gebäudetypologie

Im folgenden Abschnitt soll eine Ausgangsanalyse des Wohnraumes in Apolda erfolgen. Die nachfolgenden Daten beruhen primär auf Auswertungen der Zensus-Erhebung sowie weiterführende Daten der Stadt Apolda und des Landesamtes für Statistik Thüringen.

Auf dem Gebiet der Stadt Apolda befanden sich demnach im Jahr 2021 4.884 Gebäude mit Wohnraum. Die meisten Gebäude sind dabei in der Jahrhundertwende, sowie in den 20er und 30er Jahren des letzten Jahrhunderts gebaut worden. Dabei dominieren vor allem zwei Gebäudetypen, zum einen der des gereihten Hauses mit knapp 45% Anteil aller Gebäude, sowie der des freistehenden Hauses mit circa 40%.

In den letzten 18 Jahren kam es nach Angabe des Landesamtes für Statistik Thüringen wieder zu verstärkten Bau-tätigkeiten, sodass auf diese Periode knapp 5% des aktuellen Gebäudebestandes Apoldas entfallen. Dies steht in Korrelation zu dem Zuwachs der Einwohnenden in den vergangenen Jahren.

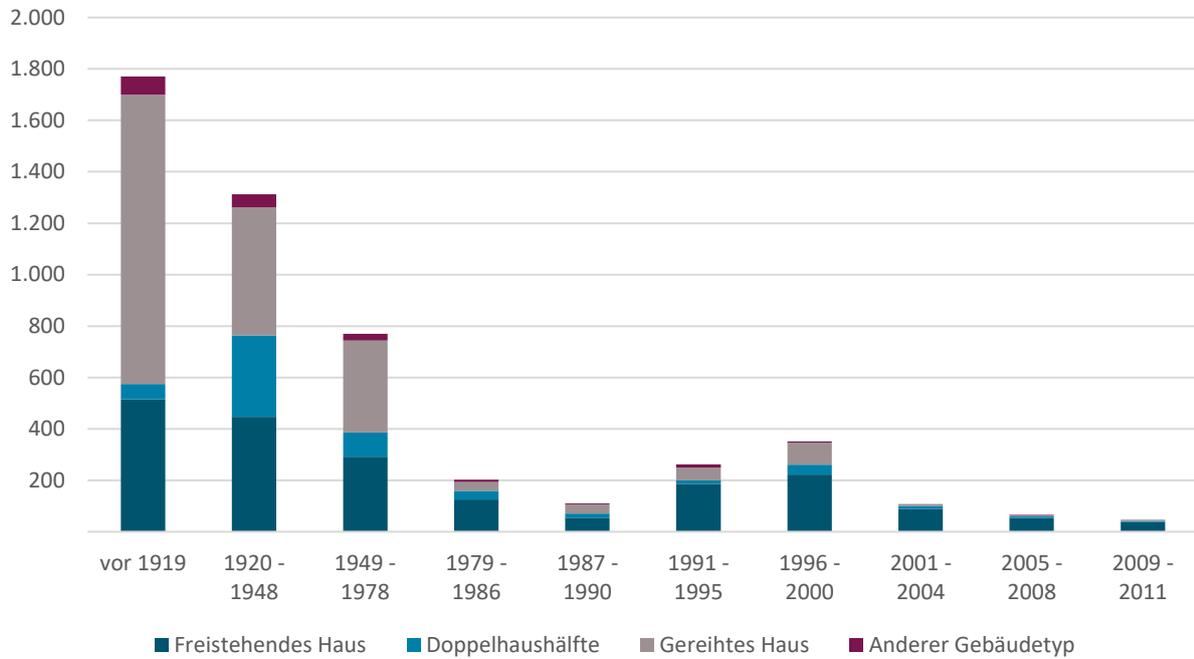
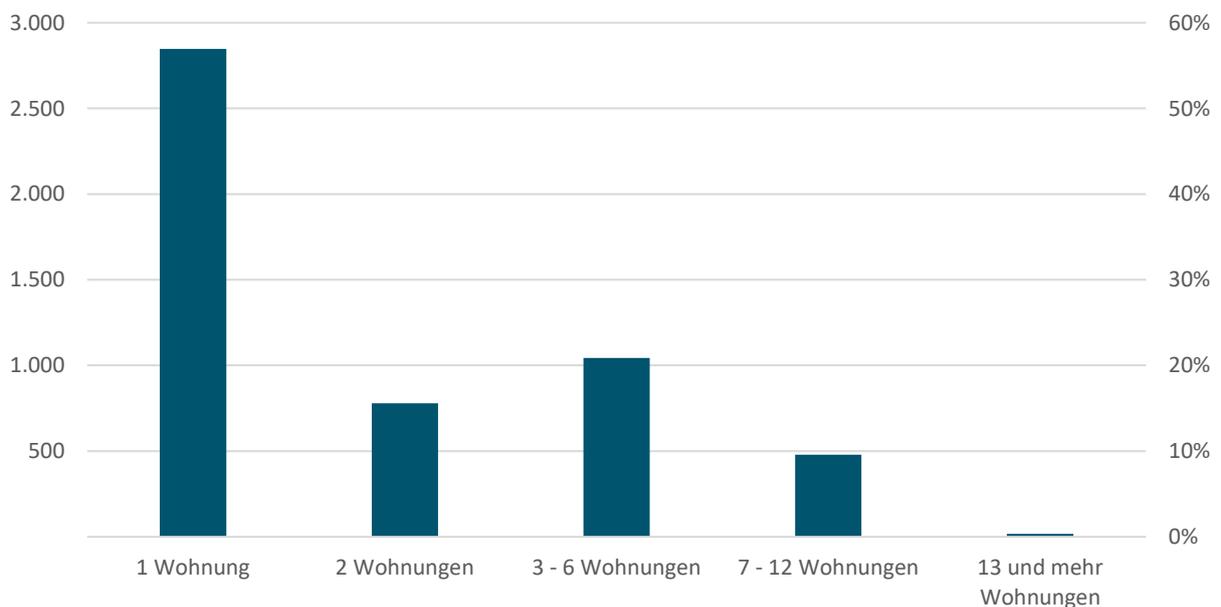


Abbildung 15: Baualtersklassen im Quartier (Datenquelle: ZENSUS)

Ein detaillierter Blick auf die Aufteilung der Gebäude verdeutlicht, dass circa 56% der Wohngebäude mit nur einer Wohnung ausgestattet sind. Am zweithäufigsten mit rund 21% sind Mehrfamilienhäuser mit drei bis sechs Wohnungen im Stadtgebiet vorzufinden. Darauf folgen Wohngebäude mit zwei Wohnungen und den geringsten Anteil haben größere Wohngebäude mit mehr als sieben Wohneinheiten.



In der folgenden Abbildung ist die Fortschreibung des obigen Diagrammes bis zum Jahr 2021 zu sehen. Damit zeigt sich, dass, wie bereits erwähnt, in den letzten 10 Jahren der Bestand an Gebäuden mit Wohnnutzung zunahm, von 4.729 auf circa 4.900. Mit dieser Zunahme erhöht sich ebenfalls die Anzahl der Wohnungen in der Stadt von 12.306 im Jahr 2011 auf 12.757, Ende 2021.

Ebenfalls wird ersichtlich, dass der bereits beschriebene Anteil an Wohngebäuden mit einer Wohnung weiterhin die am häufigsten vertretene Form in Apolda darstellt. Darauf folgen Wohngebäude mit 3 oder mehr Wohnungen und danach Wohngebäude, die mit zwei Wohnungen ausgestattet sind.

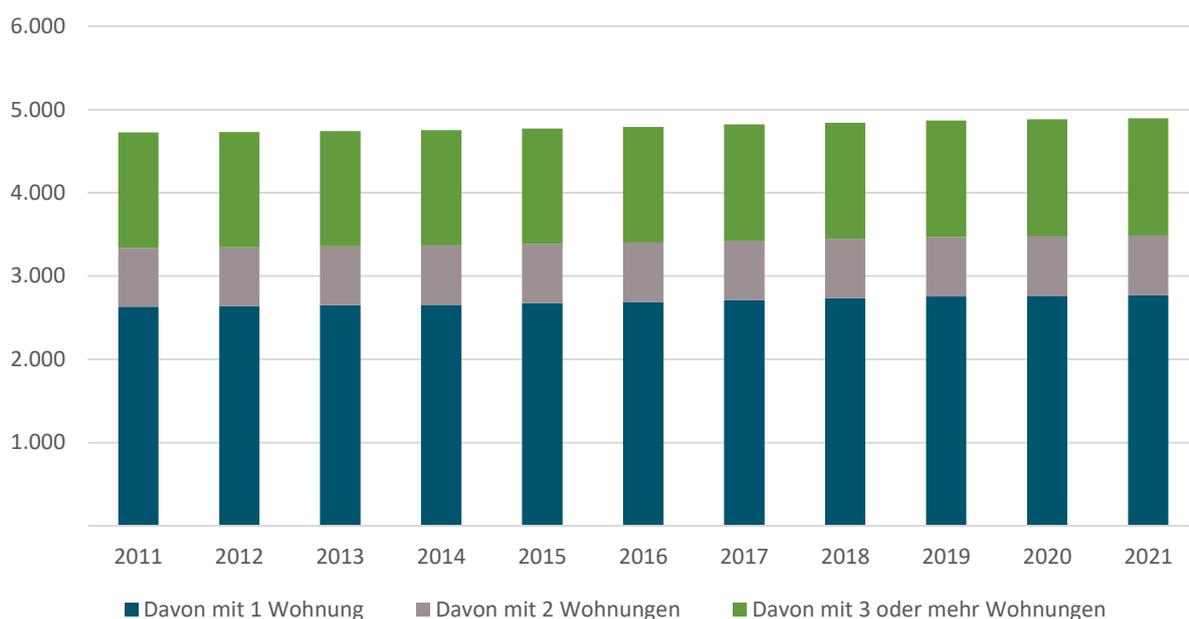


Abbildung 17: Wohnungen pro Gebäude (Datenquelle: ZENSUS)

Durch die Auswertung der Daten konnte festgestellt werden, dass die Stadt Apolda geprägt ist durch freistehende und gereihete Einfamilienhäuser, sowie eher kleine Mehrfamilienhäuser. Damit entspricht die Struktur der Stadt, der Bebauung suburbaner Gebietsformen, die meist außerhalb von Kernstädten anzutreffen sind.

Bei der Betrachtung der Wärmebereitstellung in Gebäuden mit Wohnfläche ist festzustellen, dass dies in den meisten Fällen durch eine Zentralheizung (65%) erfolgt. Darauf folgt die Etagenheizung (14,02%) und die Einzel-/ Mehrraumöfen (9,18%). Auf die Bereitstellung mittels Fernwärme (5,92%), sowie Blockheizung (4,47%) entfallen die wenigsten Anteile. Außerdem verfügten im Jahr 2011, 27 Gebäude (0,57%) mit Wohnfläche über keine Heizung.

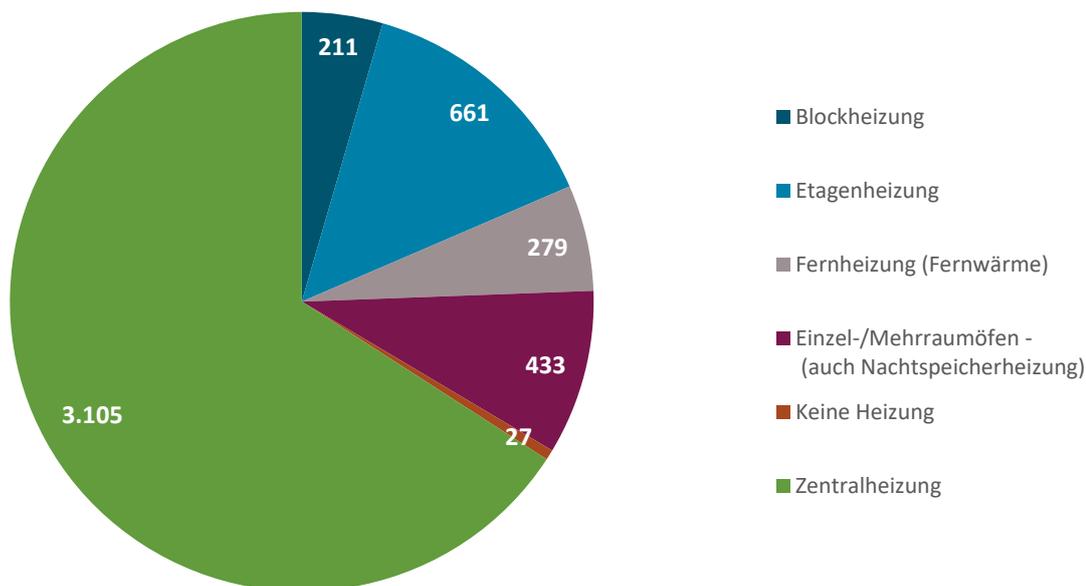


Abbildung 18: Wärmequelle (Datenquelle: ZENSUS. Eigene Darstellung)

Ebenfalls von Bedeutung ist die Betrachtung der verwendeten Energie zur Wärmebereitstellung in Neubauprojekten. Dazu liegen Daten lediglich aus den Jahren 2020 und 2021 vor. Bei der Betrachtung dieser, wird deutlich, dass bei den Neubauprojekten die Nutzung erneuerbarer Energien zwar einen deutlich höheren Anteil einnahm als im Bestand, fossile Energien (Erdgas) jedoch weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Vor Erdgas erfolgt die Nutzung von Umweltwärme, d.h. Luftwärmepumpen. Geothermie kam in diesem Zeitraum lediglich einmal zum Einsatz.

Tabelle 1: Heizungstechnik in Neubau-Wohngebäuden 2020-2021

	Anzahl	Gas	Strom	Fernwärme	Geothermie	Umweltwärme
Wohngebäude zusammen	22	8	1	-	1	12
Wohnungen zusammen	42	8	1	-	1	32
Wohngebäude mit 1 Wohnung	19	8	1	-	1	9
Wohngebäude mit 2 Wohnungen	-	-	-	-	-	-
Wohngebäude mit 3 und mehr Wohnungen	3	-	-	-	-	3
Wohnungen in Wohngebäuden mit 3 und mehr Wohnungen	23	-	-	-	-	23

3.3. Kommunale Liegenschaften

Im Rahmen der Konzepterstellung wurden seitens der Stadt Daten zu den kommunalen Liegenschaften zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden Angaben zu ca. 70 Energie-Abnahmestellen gemacht, von denen jedoch einige keine Objekte darstellen (z.B. Festwiesen, Brunnen, Illumination) und zahlreiche nicht direkt durch die Stadt, sondern durch externe Träger genutzt werden (z.B. Kitas). Auf die Abbildung der Erhebungstabelle bzw. der übermittelten Werte wird an dieser Stelle verzichtet. Es erfolgt lediglich eine kumulierte Darstellung.

Tabelle 2: Energieverbrauch kommunale Objekte/Infrastruktur

Energie	kWh
Wärme	2.957.067
Wärmepumpe (Strom)	20.000
Heizöl	311.600
Erdgas	2.333.907
Fernwärme	1.344.560 (Daten EVA)
Strom	659.974

Die Daten wurden in der Energie- und Treibhausgasbilanzierung berücksichtigt.

Daten für einzelne Stellen lagen nicht vor und mussten durch qualifizierte Schätzung auf Basis von Kennwerten und Flächen abgeleitet werden. Zudem wurden Diskrepanzen zwischen den Daten des Wärmeversorgers und der Stadt festgestellt. Die Qualität der übermittelten Daten verdeutlicht den Bedarf für die Einführung eines systematischen kommunalen Energiemanagements, die Ausstattung der Objekte (im ersten Schritt insbesondere der großen Verbraucher) mit digitaler Mess- und Steuerungstechnik inkl. Sensorik für Fehlererkennung ist ebenso relevant. Aufgrund der hohen Anzahl der Objekte ist zudem ein systematischer strategischer Ansatz im Hinblick auf die energetische Ertüchtigung wichtig. Hierzu sollte möglichst auf Grundlage objektiver Kriterien ein Sanierungsfahrplan für den kommunalen Gebäudebestand erstellt werden. Ziel ist es investive Tätigkeiten möglichst effektiv einzusetzen, d.h. mit einem möglichst hohen energetischen Einspareffekt.

Darüber hinaus ist auch die kontinuierliche Ausstattung der kommunalen Objekte mit EE-Anlagen voranzutreiben. Dies ist vor allem auch mit Blick auf die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand wichtig, stellt mittlerweile aber auch ein wirtschaftlich tragfähiges Modell dar.

3.4. Baudenkmale und erhaltenswerte Bausubstanz

Die Geschichte Apoldas geht zurück auf das Jahr 1119, in dem der Name der Stadt erstmals urkundlich erwähnt wurde. Folglich ist nachvollziehbar, dass die Stadt eine traditionsreiche Geschichte vorzuweisen hat, die sich auch heutzutage im Thema Denkmalschutz widerspiegelt. Im gesamten Stadtgebiet gibt es insgesamt 94 Denkmalschutz Objekte und zusätzlich vier Denkmalensembles. In der folgenden Darstellung, sind alle Straßen markiert, in denen sich mindestens ein denkmalgeschütztes Objekt befindet. Des Weiteren wurde bei einer Clusterung von Objekten innerhalb einer Straße, die farbliche Markierung verstärkt. Zusätzlich wurde die Fläche der Ensembles markiert, um auch deren Größe und Bedeutung für die Stadt darzustellen. Durch die Verortung der Denkmäler wird erkennbar, dass die Kernstadt Apoldas durch viele geschützte Gebäude gekennzeichnet ist, besonders die Bahnhofsstraße mit 17 Einzelobjekten und dem Denkmalensemble. Die Straße bzw. das gesamte Ensemble ist geprägt durch Häuser aus der gesamten Gründerzeit (1860 – 1918). Aber auch der Markt, südwestlich der Bahnhofsstraße, ist durch eine Vielzahl von Objekten aus der Gründerzeit gekennzeichnet. Damit stellen die beiden Kernstadtbereiche u.a. das historische Zentrum der Stadt dar.

Im Süden der Stadt befindet sich mit der Gartenstadt das dritte Denkmalensemble Apoldas. Die Gartenstadt wurde ab 1926 erbaut und ist eine der wenigen Siedlungen in Thüringen, die sich auf die Prinzipien der deutschen Gartenstadt Gesellschaft bezog und ist damit auch überregional von historischer Bedeutung (vgl. Thüringer Allgemeine Zeitung, 2020).

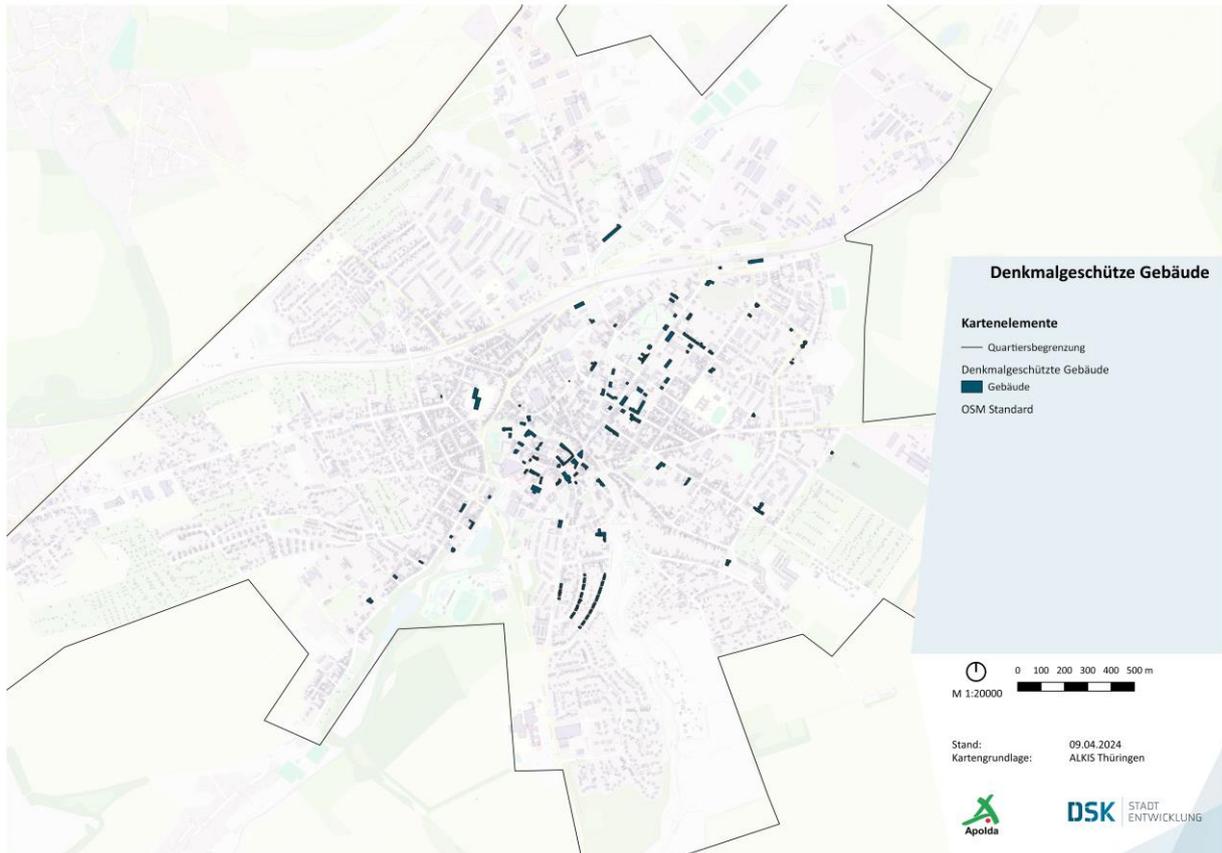


Abbildung 19: Denkmalgeschützte Gebäude in Apolda (Datenquelle: Untere Denkmalschutzbehörde, Eigene Darstellung)

Anforderungen an den Denkmalschutz stellen insbesondere bei energetischen Sanierungen an der Gebäudehülle eine relevante Beeinträchtigung der Handlungsoptionen dar, sie haben jedoch im Hinblick auf die Bewahrung des besonderen Charakters der Quartiere große Bedeutung. Denkmalgeschützte Objekte müssen bei energetischen Sanierungen geringere Standards erfüllen und können zudem besondere Fördermöglichkeiten (z. B. KfW) nutzen.



Abbildung 21: Marktplatz in Apolda (Quelle: Thomas Burkhardt)



Abbildung 20: Bahnhofstraße in Apolda (Quelle: Krzysztof Golik)

4. Energieversorgung

4.1. Versorgungsinfrastruktur

Das Untersuchungsgebiet ist mit dem Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetz erschlossen. Betreiberin der Strom und Gasnetze ist die ENA Energienetze Apolda GmbH. Das Fernwärmenetz wird durch die EVA- Energieversorgung Apolda betrieben. Die Unternehmen wurden im Rahmen der Datenerhebung angefragt und haben DSGVO konforme Daten zu den Absatzmengen bereitgestellt.

Fernwärme

Apolda verfügt, wie bereits erwähnt, über ein Fernwärmenetz im Norden der Stadt. Für die Wärme kommt derzeit ausschließlich Erdgas zum Einsatz. Das Netz wird aus dem Heizwerk in der Franckestraße gespeist und verbraucht derzeit 16.885 MWh, was wiederum inklusive Vorkette 9.921 t pro Jahr CO₂ Emissionen erzeugt. Das Netz verfügt dabei über eine Länge von knapp 4 Kilometern. Es versorgt ein Mehrfamilienhauswohngelände, in dem insbesondere Objekte der AWG und WGA sowie ein gewerbliches Objekt vertreten sind. Darüber hinaus sind die Schule mit Turnhalle und Kita sowie das lokale Schwimmbad angeschlossen.

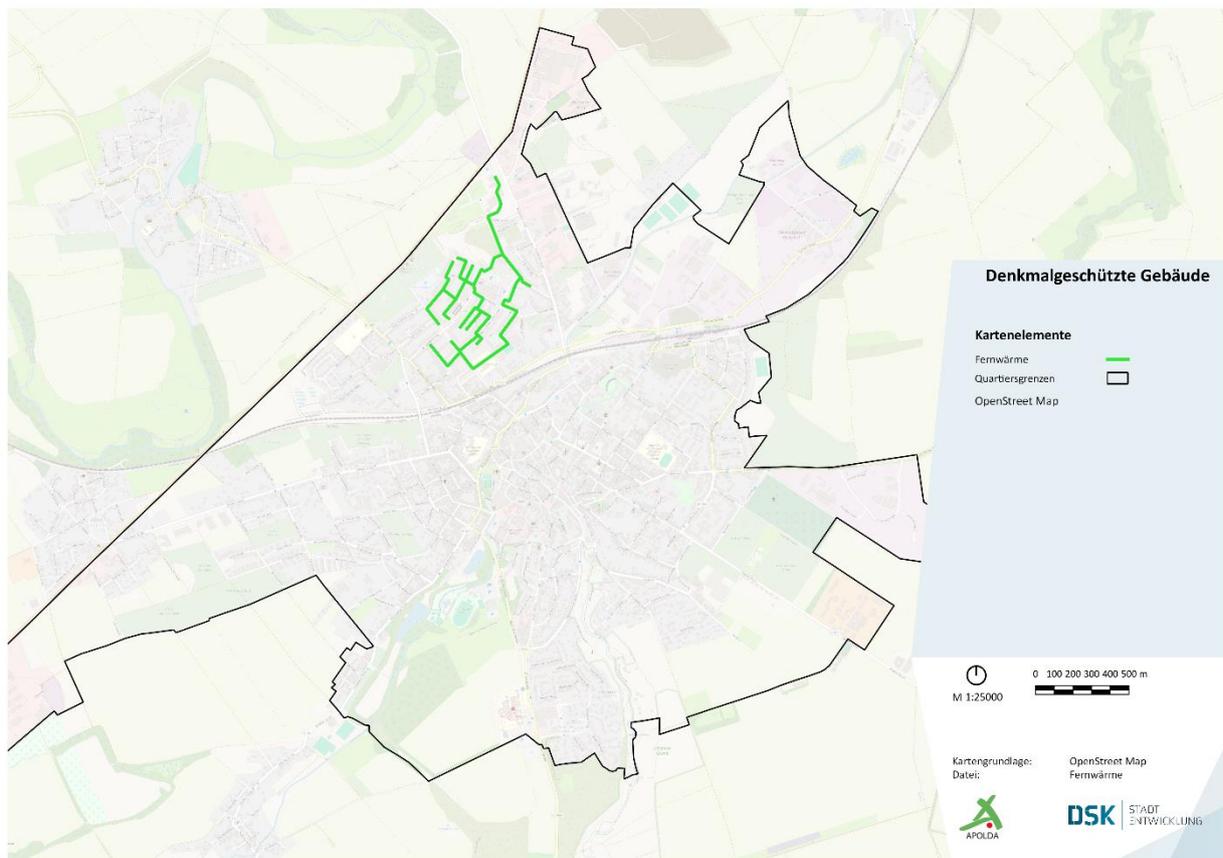


Abbildung 22: Vorhandenes Fernwärmenetz in Apolda (Eigene Darstellung)

4.2. Anlagentechnik

In den Tabellen Tabelle 3: Angaben des Netzbetreibers zu den Stromabsatzmengen [MWh] und Tabelle 4: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen [MWh] sind die Angaben des lokalen Netzbetreibers zu den Strom- und Gasabsatzmengen auf dem Gebiet der Stadt aufgeführt, so wie diese übermittelt wurden. Die Datenbereitstellung erfolgte nach detaillierter Beschreibung der Bilanzierungsanforderungen und mehrfacher telefonischer und schriftlicher Rücksprache. Die EVA agierte dabei kooperativ.

Tabelle 3: Angaben des Netzbetreibers zu den Stromabsatzmengen [MWh]

	2021
Private Haushalte	20.563
Gewerbe & Kleinverbrauch sowie Landwirtschaft	13.329
Strom für Wärme (Heizstrom)	955
Strom für Wärmepumpen	1.389
Straßenbeleuchtung	989
Summe	37.225
SVK-Strom	66.232
Insgesamt	103.457

Tabelle 4: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen [MWh]

	2021
Haushalte	117.236
Gewerbe	12.383
Kommune	10.500

Im folgenden Diagramm ist der Gasverbrauch nochmals prozentual auf die einzelnen Sektoren verteilt zu erkennen. Dabei wird deutlich, dass der Verbrauch durch die Haushalte mit 84 % den Großteil ausmacht. Danach kommt der Verbrauch des Gewerbes und der Haushalte, die den geringeren Teil im Quartiers verbrauchen.

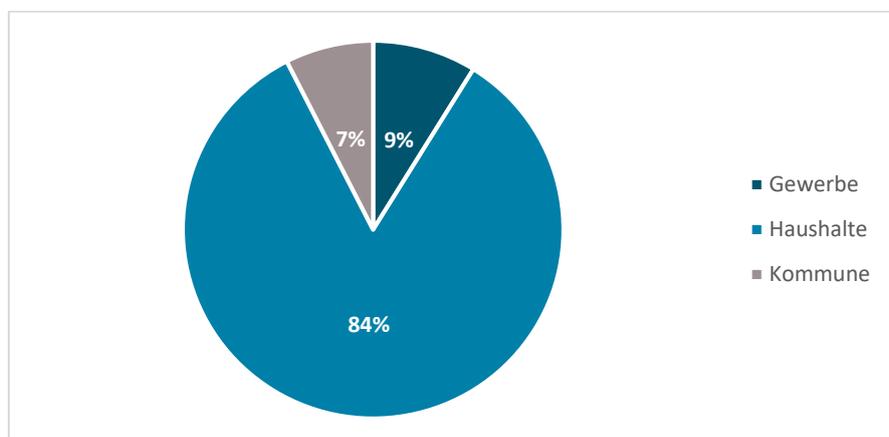


Abbildung 23: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen

Dieser Verbrauch lässt sich ebenfalls in sechs Kategorien (sonstige betriebliche Dienstleistungen, Beherbergung, Gaststätten, Einzelhandel (Großhandel), Handel (Dienstleistungen), haushaltähnliche Gewerbebetriebe und Metall/Kfz) unterteilen. Dabei wird ersichtlich, dass besonders drei Kategorien ins Gewicht fallen. Am stärksten die sonstigen betrieblichen Dienstleistungen. Darauf folgt der Verbrauch des Einzel- und Großhandels, sowie der Metallverarbeitenden, sowie Kfz-Betriebe.

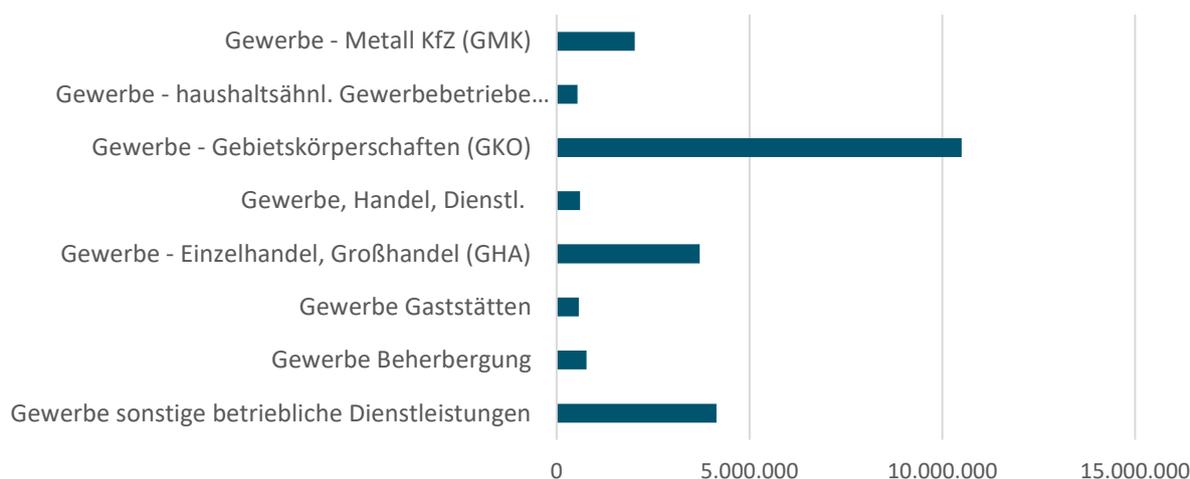


Abbildung 24: Angaben des Netzbetreibers zu den Gasabsatzmengen im gewerblichen Sektor [kWh]

Die Verbrauchskategorisierung seitens der Netzbetreiber entspricht nicht in Gänze der Verbrauchsrealität. Dies geht darauf zurück, dass die Betreiber mit Lastprofilen arbeiten, die zum Teil sektorübergreifend Anwendung finden. So bestehen nicht für alle Gewerbearten gesonderte Lastprofile. Gewerbetreibende werden oft über ein Standardlastprofil (SLP) abgerechnet, das ebenfalls für private Haushalte Anwendung findet. Ähnlich werden auch kommunale Liegenschaften insbesondere bei Erdgas über SLP erfasst und fallen somit in der obigen Kategorisierung in den Bereich „Haushalt“. Im Strombereich geht aus den Daten des Netzbetreibers hervor, dass es ein besonderes Profil für Straßenbeleuchtungsanlagen gibt, andere Abnahmestellen werden in der Regel als „Gewerbe“ in seltenen Fällen als „Haushalt“ erfasst.

Trotz engagierter Anstrengungen erwies sich die Schornsteinfegerinnung als nicht kooperationsbereit, die für die Bilanzierung notwendigen Daten bereitzustellen. Als Begründung wurden Datenschutzbedenken sowie das angebliche Interesse der Allgemeinheit an der Geheimhaltung solcher Informationen angeführt. Des Weiteren äußerte die Innung Vorbehalte gegenüber der Methodik des Bilanzierungsprozesses und zweifelte die Genauigkeit der daraus resultierenden Ergebnisse an. Diese Haltung ist besonders in Anbetracht des breiten gesellschaftlichen Engagements für den Klimaschutz und der Bedeutung dieser Daten für eine nachhaltige Stadtplanung bedauerlich und kontraproduktiv.

4.3. Erneuerbare-Energien-Anlagen

Die Nutzung regenerativer Energien im Untersuchungsgebiet erfolgt primär durch Anlagen zur Verwertung von Sonnenenergie. Hierbei handelt es sich zum einen um Photovoltaik-Anlagen, die zur Erzeugung von Strom dienen, sowie zum anderen um solarthermische Anlagen, die primär für die Warmwassererzeugung zum Einsatz kommen. Windenergie wird im Untersuchungsgebiet derzeit nicht genutzt. Wasserkraft und Biomasseanlagen sind im Thüringer Energieatlas nur mit sehr geringen Leistungen verortet (aus den Daten des Netzbetreibers ergibt sich auf dem Stadtgebiet eine Wasserkraftanlage mit einer Leistung von 120 kW und einer Stromerzeugung von 213 MWh). Kleine Anlagen werden bereits im Bereich der Heizungstechnik berücksichtigt (Biomasse, Umweltwärme).

Eine grobe Abschätzung des PV-Anlagen-Bestands lässt sich aus den Daten des Thüringer Energieatlas treffen. Wie in dargestellt, beträgt die installierte PV-Leistung in der gesamten Gemeinde Apolda 24,4 MWp (05.03.2024). Dabei sind jedoch auch die kleineren Ortsteile inbegriffen. Auf Grundlage des Thüringer Energieatlas ist in der Abbildung 25 zu sehen, wie sich die installierte PV-Leistung in der Gemeinde Apolda seit 2008 entwickelt hat.

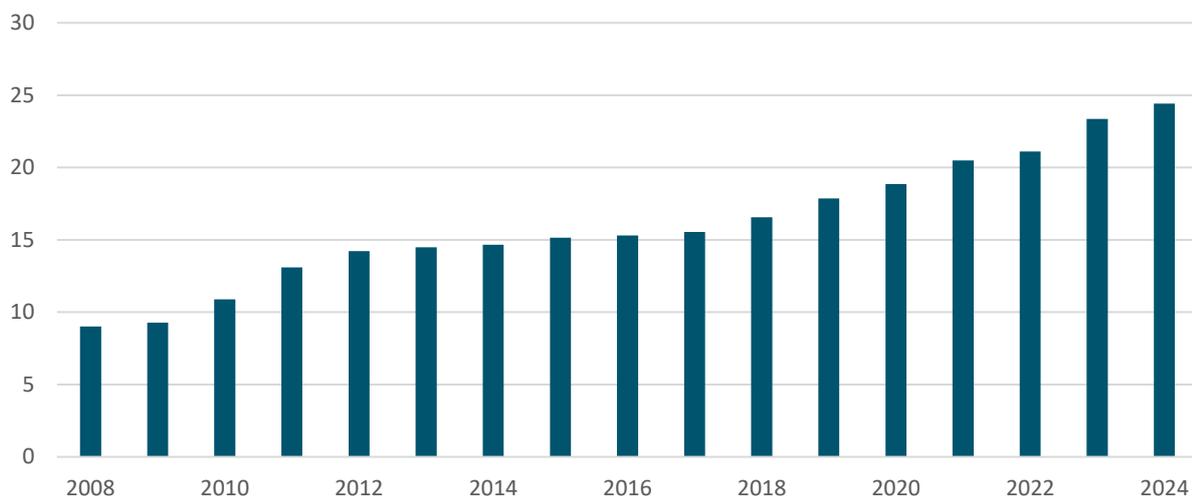


Abbildung 25: Entwicklung der installierten PV-Leistung in der Gemeinde in MW (Eigene Darstellung) ¹

Aus einer Aufstellung vom Netzbetreiber geht hervor, dass im Jahr 2022 insgesamt 270 PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 9.637 kW im Untersuchungsgebiet installiert waren. Die durchschnittliche Leistung der Anlagen beträgt somit 35 kW. Zur Bewertung der aktuell installierten Photovoltaik-Anlagen werden diese nach ihrer Leistung geordnet. Anschließend wird der jeweilige Anteil an der Gesamtleistung kumuliert. Aus dieser Aufstellung geht hervor, dass die größten acht Anlagen zusammen für die Hälfte der gesamten installierten Leistung verantwortlich sind. Die kleinsten 179 PV-Anlagen tragen zusammen 10 % zur installierten Gesamtleistung bei. Diese Übersicht zeigt deutlich, wie die Leistung der verschiedenen Anlagengrößen verteilt ist.

¹ Energieatlas Thüringen, 2024, <https://www.thega.de/energieatlas/>

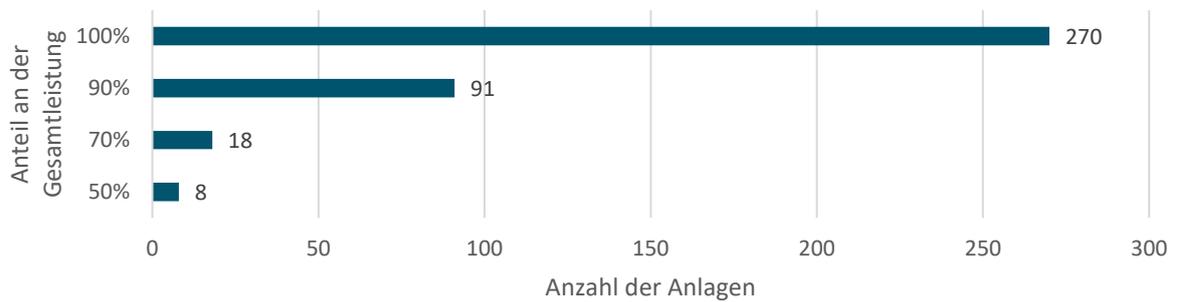


Abbildung 26: Größenverteilung der PV-Anlagen (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 27 zeigt die Nutzungs- und Vermarktungswege des PV-Stroms auf Grundlage der Netzbetreiberdaten für das Quartier Apolda. Im Jahr 2022 wurden demnach 8.973 MWh Strom erzeugt.

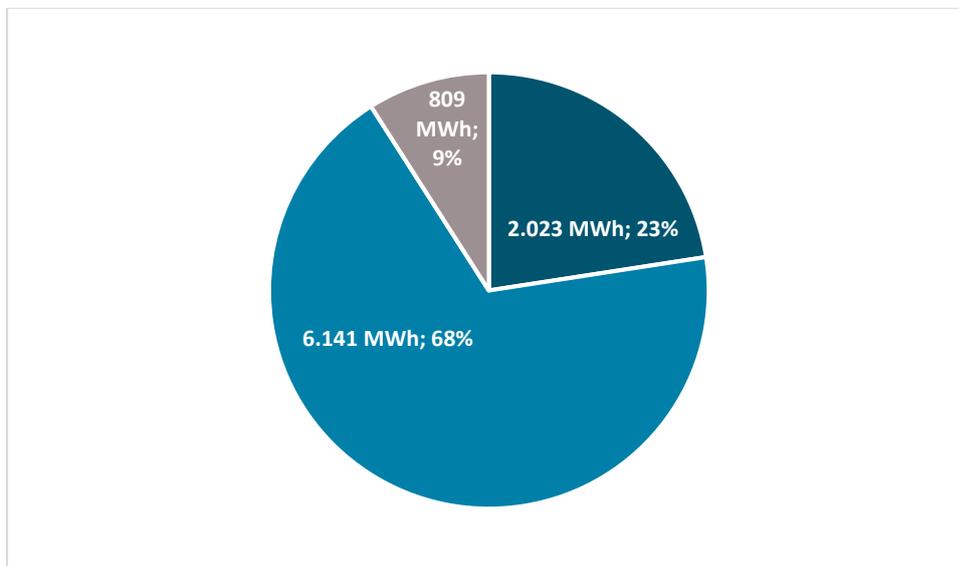


Abbildung 27: Nutzung- und Vermarktungswege des PV-Stroms (Eigene Darstellung)

Das Untersuchungsgebiet weist zwei Freiflächen mit PV-Anlagen auf. Großflächige Anlagen sind auch auf den weitläufigen Dachflächen einiger gewerblich genutzter Objekte installiert.

Mit Hinblick auf die solarthermischen Anlagen sind im Thüringer Energieatlas auch Daten für Apolda vorhanden. Dabei wird wie in der Tabelle 5: Solarthermische Anlagen in Apolda und im Quartier dargestellt in Warmwasserbereitung, Heizungsunterstützung und sonstige Anlagen unterschieden.

Tabelle 5: Solarthermische Anlagen in Apolda und im Quartier

	Kollektorfläche in m ²
Anlagen zur Warmwasserbereitung	446
Anlagen zur Heizungsunterstützung	909
Sonstige Anlagen	53
Gesamt	1.427

Aufgrund der veränderten Förderkonditionen und den Entwicklungen auf dem Strommarkt, ist in der Zwischenzeit mit einem Zubau der installierten Leistung insbesondere bei privat genutzten Wohnobjekten und somit auch der Erzeugung zu rechnen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Untersuchungsgebiet eine intensive Nutzung der Sonnenenergie zur Stromerzeugung besteht. Dennoch sind insbesondere auf Dachflächen der Wohnobjekte weiterhin Potenziale zur weiteren Ausweitung der Nutzung von Solarenergie vorhanden.

4.4. Straßenbeleuchtung

Im Untersuchungsgebiet befinden sich Leuchten unterschiedlicher Bauart und Leistung, was auch die unterschiedlichen Anforderungen an Eigenschaften der Beleuchtung reflektiert. Beobachtungen vor Ort zeigten, dass neben modernen LED-Leuchten hier weiterhin auch HQL oder HME-Leuchtmittel im Einsatz sind. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass defekte Leuchtmittel schon aktiv auf LED-Leuchten umgerüstet werden, sodass ein Anteil von 50% LED zu 50% konventionellen Leuchten angenommen wird. Daraus resultiert, nach Angaben der ENA ein Stromverbrauch von ca. 989.299 kWh/a.

5. Mobilität

5.1. Regionale Verflechtungen

5.1.1. Nächstgelegene zentrale Orte

Innerhalb des Systems zentraler Orte ist Apolda ein Mittelzentrum. Die nächstgelegenen zentralen Orte sind nachfolgend gelistet. Apolda liegt in direkter Nähe der Metropolregion Mitteldeutschland.

Tabelle 6: Entfernung zu zentralen Orten in der Umgebung

Zentraler Ort	Funktion	Entfernung der Straßen-km
Ilmtal-Weinstraße (Pfiffelbach)	Grundzentrum	8
Bad Sulza	Grundzentrum	15
Jena	Oberzentrum	16
Weimar	Mittelzentrum mit Teilfunktion eines Oberzentrums	20
Erfurt	Oberzentrum	45
Halle	Oberzentrum	90
Leipzig	Oberzentrum	100

5.1.2. Pendlerbewegungen

Etwa 9.800 Menschen in Apolda pendeln. Zu je etwa gleichen Anteilen sind das Wege innerhalb von Apolda und nach außerhalb. Den gut 5.200 auspendelnden Menschen stehen dabei gut 4.600 einpendelnde Menschen gegenüber.

Die nachgefragtesten Ziele der auspendelnden Menschen sind Jena (1.400; 26%), Weimar (800; 15%) und Erfurt (660; 13%). Einpendelnde Menschen kommen am ehesten aus Bad Sulza (1200; 26%), Ilmtal-Weinstraße (605; 13%) und Weimar (538, 11%). Hieraus ist eine ausgeprägte Umlandvernetzung abzuleiten. Entsprechend müssen die Wege der Menschen zu ihren Bildungs- und Arbeitsstätten durch entsprechende Mobilitätsangebote abgebildet werden.

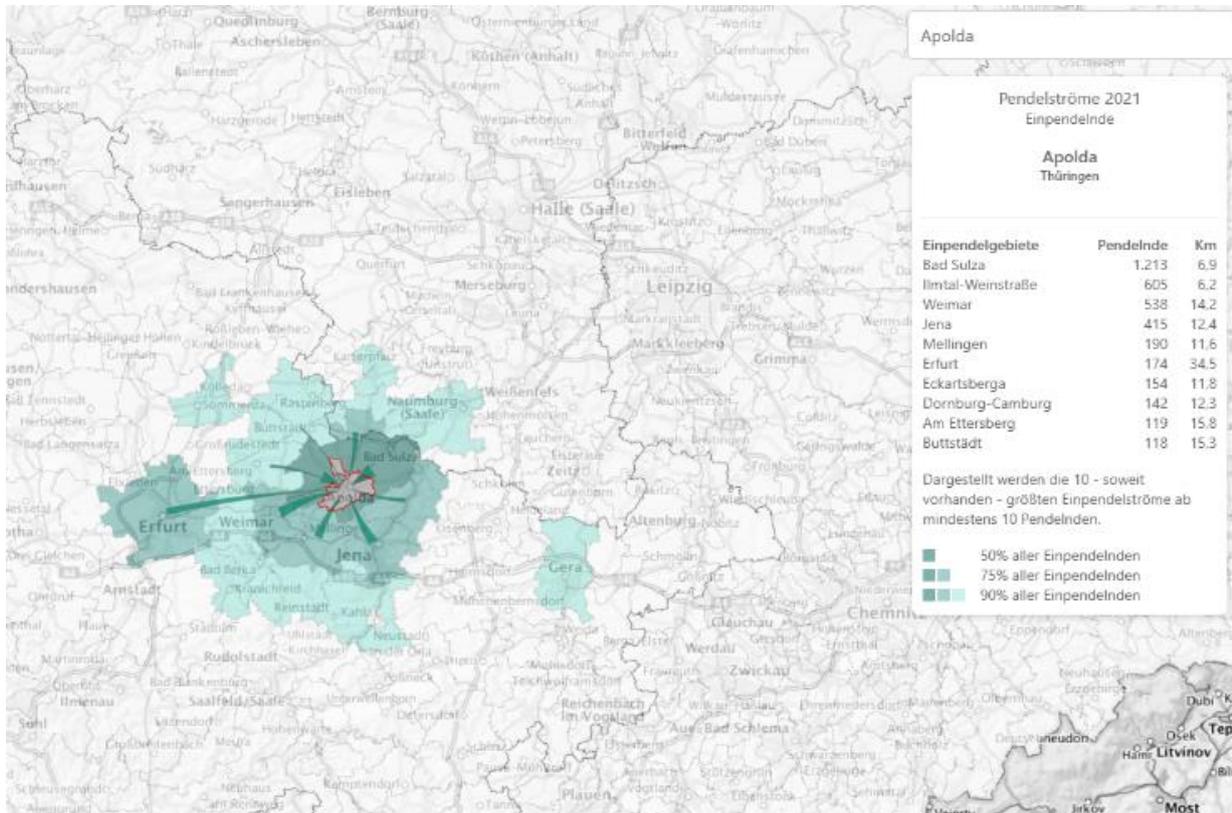


Abbildung 28: Eingehende Personen nach Apolda (Datenquelle: Statistische Ämter der Länder 2023)

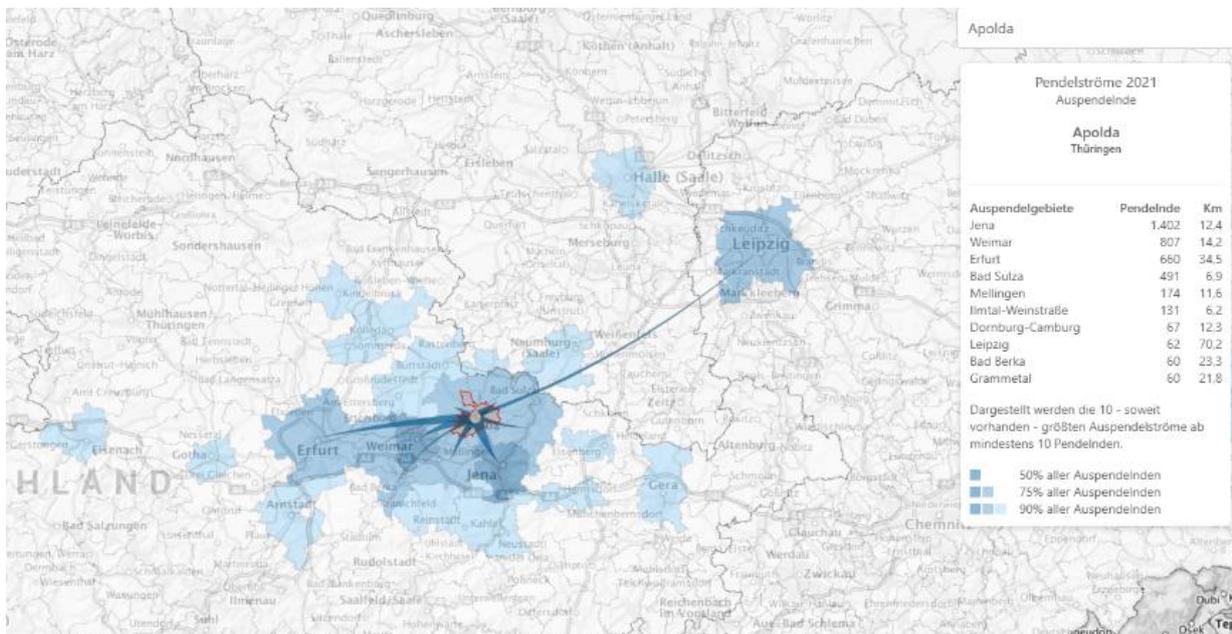


Abbildung 29: Auspendelströme (Datenquelle: Statistische Ämter der Länder 2023)

Neben dem Pendlerverkehr erzeugen die Kurier-Express- und Paketdienstleister (KEP) ebenfalls zunehmend Emissionen. Nach Angaben des Bundesverbandes Paket und Express Logistik wurden im Jahr 2021 durch die KEP 4,5 Milliarden Pakete in Deutschland zugestellt, damit wuchs das Sendungsvolumen um 11,2% im Vergleich zum Jahr 2020. Der eingesetzte Wachstumstrend, soll Angaben zu Folge sich kontinuierlich weiterentwickeln, sodass von

einer stetig wachsenden Zunahme des Lieferverkehrs auszugehen ist. Aufgrund der Größe des Quartiers und der damit einhergehenden Anzahl unterschiedlichster Gewerbebetriebe, sowie der Anzahl der privaten Haushalte, ist ebenfalls in Apolda von einer Zunahme des Lieferverkehrs zu rechnen.

5.1.3. Modal Split im Kreis Weimarer Land

Im Zuge der Erstellung des Nahverkehrsplans für den Kreis Weimarer Land wurde ermittelt, welche Verkehrsmittel die Menschen im Kreis typischerweise wählen. Danach benutzen sie in ca. 65% aller Fälle einen Pkw und gehen in ca. 21% aller Fälle zu Fuß. In je 5 bis 7% aller Fälle nutzen sie das Rad oder öffentliche Verkehrsangebote.

5.2. Motorisierter Individualverkehr

5.2.1. Pkw-Melddaten

Im Untersuchungsraum gibt es eine, wie für eine Stadt im ländlichen Raum üblich, vergleichsweise hohe Pkw-Dichte von 0,5 Fahrzeugen pro Einwohner. Nachfolgende Diagramme zeigen die Zahlen gemeldeter Pkw der letzten Jahre. Die Prognosen deuten auf eine Stagnation bzw. eine weitere Zunahme des Pkw-Bestandes.

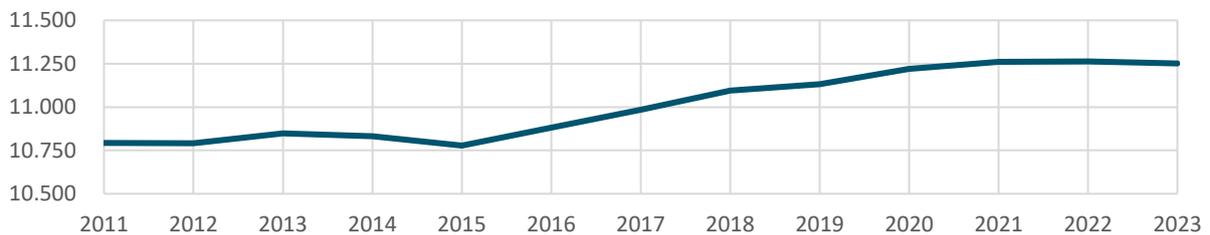


Abbildung 30: Fahrzeugbestand in Apolda (Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2024, Eigene Darstellung)

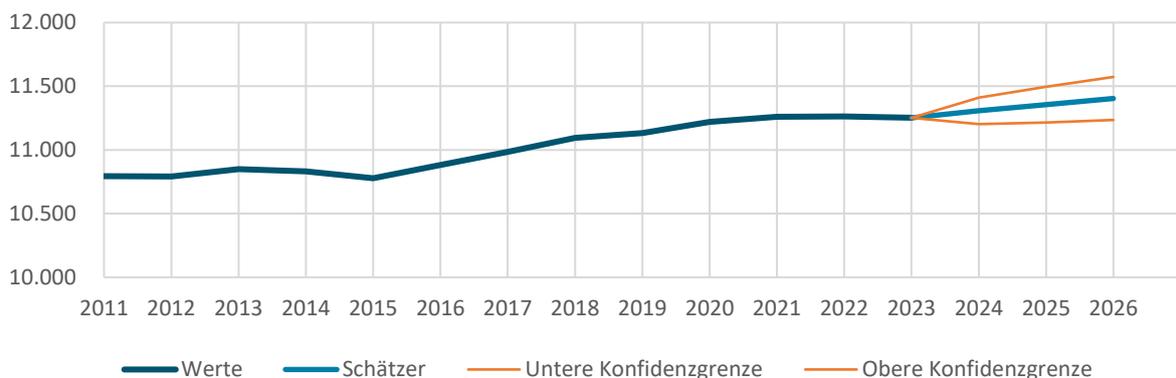


Abbildung 31: Entwicklung des Fahrzeugbestands (Datenquelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2024, Eigene Darstellung)

Die Pkw in Apolda werden fast ausschließlich noch mit fossilen Kraftstoffen betrieben. Lediglich eines von 100 Fahrzeugen wird rein-elektrisch betrieben. Etwa ein Drittel aller Fahrzeuge wird mit Diesel betankt. Bundesweit beträgt der Anteil der Diesel-Fahrzeuge etwa ein Viertel, jedoch machen sie insgesamt 52% der Fahrleistung aus. Das bedeutet, dass Fahrzeuge mit Dieselmotor für deutlich längere Wege benutzt werden.

5.2.2. Erreichbarkeit zentraler Orte

Die nächstgelegenen Zentralen Orte sind alle innerhalb der empfohlenen Zeiten zu erreichen. Lediglich die weiter entfernten Städte Halle und Leipzig (als Teil der Metropolregion Mitteldeutschland) bedürfen einer deutlich längeren Fahrzeit.

Tabelle 7: Erreichbarkeit zentraler Orte nach Reiseinformationsnachweis und mit tatsächlicher Fahrzeit (Eigene Darstellung)

Zentraler Ort	Funktion	Fahrzeit gemäß RIN in Minuten	Tatsächliche Fahrzeit in Minuten
Bad Sulza	Grundzentrum	30	25
Erfurt	Oberzentrum	60	45
Halle	Oberzentrum	60	90
Ilmtal-Weinstraße (Piffelback)	Grundzentrum	30	15
Jena	Oberzentrum	60	30
Leipzig	Oberzentrum	60	90
Weimar	Mittelzentrum mit Teilfunktion eines Oberzentrums	30	30

5.2.3. Fließender Verkehr

Die Bundesstraße 87 tangiert das Stadtgebiet am nordwestlichen Rand. Radial laufen die Landesstraßen 1057, 1059 und 1060 zu. Die B87 führt auf die südwestlich passierende Bundesautobahn 4. Nahe der Stadt liegende Zählstellen lieferten nachfolgende Daten. Für die Prognosen wurden die Werte auf Basis der abnehmenden Einwohnerzahlen extrapoliert.

Die am stärksten belasteten Straßenabschnitte haben hiernach ca. 800 bis 1.000 Verkehrsbewegungen zur Spitzenstunde. Derartige Verkehrsstärken führen auch bei zweistreifigen Querschnitten kaum dazu, dass die Qualitätsstufe C unterschritten wird. Es ist jedoch Sorge dafür zu tragen, dass die Knotenpunkte die Leistungsfähigkeit der Hauptverkehrsstraßen nicht mindern.

Für zu entwickelnde Maßnahmen sind die Zuständigkeiten zu beachten. Die Baulast der Bundesstraße liegt bei der Bundesrepublik Deutschland, die für Landesstraßen beim Freistaat Thüringen.

Herausfordernd stellt sich die Lärmbetroffenheit in Apolda dar. Laut dem Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz gibt es knapp drei Lärmzonen. Diese in der folgenden Abbildung dargestellt. Bis 2030, sieht das Ministerium vor, dass mindestens zwei Lärmzonen durch Umbau oder Neubaumaßnahmen wegfallen. Trotzdem verbleiben zwei Lärmzonen, davon auch der als „Hoch“ eingestufte.

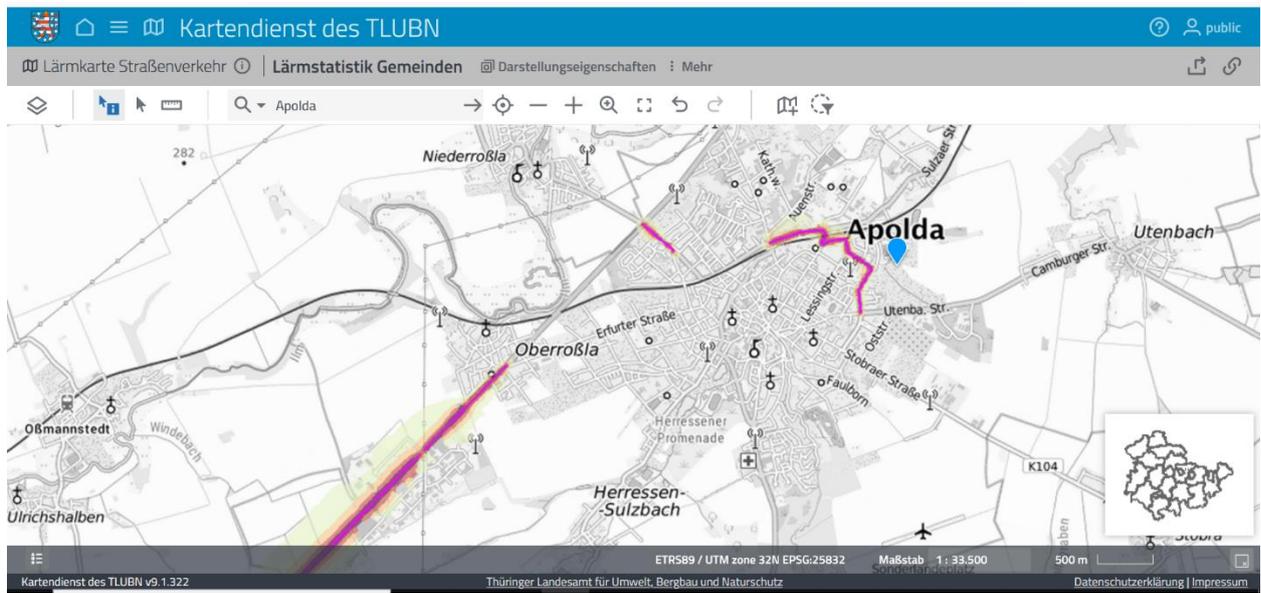


Abbildung 32: Lärmunkte in Apolda (Datenquelle: Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz)

Tabelle 8: Straßenverkehrszählung und Prognosen [Fahrzeuge/Tag] (Eigene Darstellung)

Straße bzw. Straßenabschnitte	DTV 2015	DTV 2022*	DTV 2030*	DTV 2040*
B87, Apolda	6.219	6.182	5.798	5.487
B87, Gewerbegebiet	9.672	9.615	9.017	8.533
L1057, Niederroßla	3.069	3.051	2.861	2.708
L1060, Krankenhaus	7.656	7.611	7.138	6.754
L1060, Bahnhof	3.001	2.983	2.798	2.648
L1059, Saaleplatte	4.184	4.159	3.901	3.691
*extrapolierte Werte gemäß der Entwicklung der Einwohner:innenzahlen				

Neben den Lärmpunkten stellt die bisherige Ausstattung der Straßen eine weitere Herausforderung dar. Durch die Folgen des Klimawandels, muss die Infrastruktur der Stadt auf zukünftige Wetterereignisse, wie Starkregen oder Dürre vorbereitet werden. Nach bisheriger Auswertung der Flächennutzung auf Grundlage der Katasterdaten, hat eine solche Anpassung der Wege bislang nur sehr vereinzelt stattgefunden. So wurde beispielsweise in der Bahnhofstraße Straßenbegleitgrün installiert, was erste Aspekte der BlueGreenStreets erfüllt. Insgesamt sind aber zu viele Flächen innerhalb der Stadt versiegelt.

5.2.4. Ruhender Verkehr

Fahrzeuge können mehrheitlich am Straßenrand abgestellt werden. Ferner gibt es acht größere Stellplatzanlagen. Dabei werden alle Stellplätze bewirtschaftet und sind teilweise kostenpflichtig:

- Parkhaus an der Stadthalle (Kostenpflichtig)
- Parkplatz "Am Sportpark" (Kostenpflichtig)
- Parkplatz "Zentrum" (Wochentags kostenpflichtig)
- Parkdeck der Marktpassage (Einkaufende eine Stunde kostenlos, sonst und danach kostenpflichtig)
- Parkplatz Landratsamt Weimarer Land (Kostenpflichtig)
- Parkplatz Robert-Koch-Krankenhaus (für Patienten frei, sonst kostenpflichtig)
- Busparkplatz ZOB Apolda, Am Busbahnhof (kostenfrei)
- Bahnhof Hugo-Ruppe-Platz (kostenfrei)

5.3. ÖPNV

5.3.1. Verkehrserschließung (räumliche Verfügbarkeit)

Apolda hat eine Bahnstation und einen Busbahnhof. Komplementär zum überörtlichen Verkehrsangebot gibt es auch ein innerörtliches Angebot mit drei Stadtbuslinien. Das gesamte Gemeindegebiet von Apolda wird über 62 Haltestellen erschlossen. Nachfolgende Grafik veranschaulicht alle Haltestellen mit einem Einzugsradius von jeweils 300 Meter. Je dunkler dabei das blau des Kreises, desto besser ist die Abdeckung. Lediglich Randbereiche der Kernstadt sind unzureichend erschlossen.

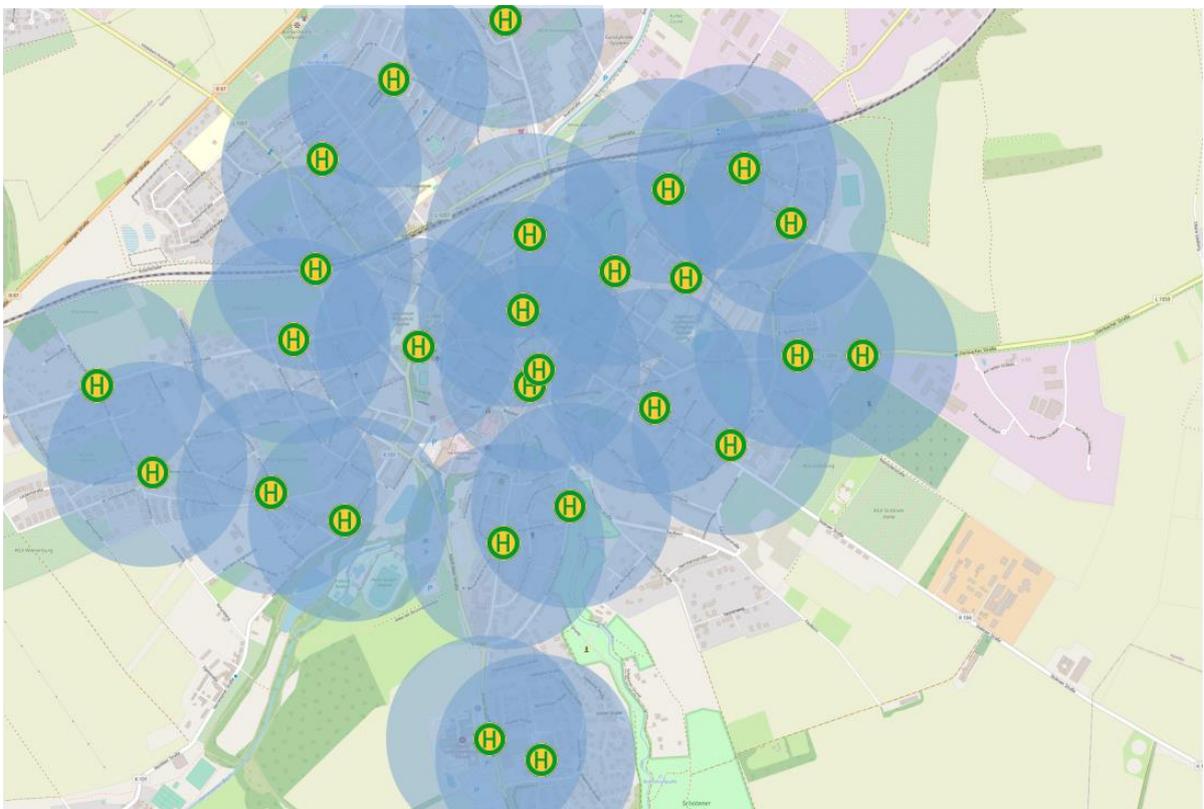


Abbildung 33: Netzabdeckung in Apolda (Eigene Darstellung)

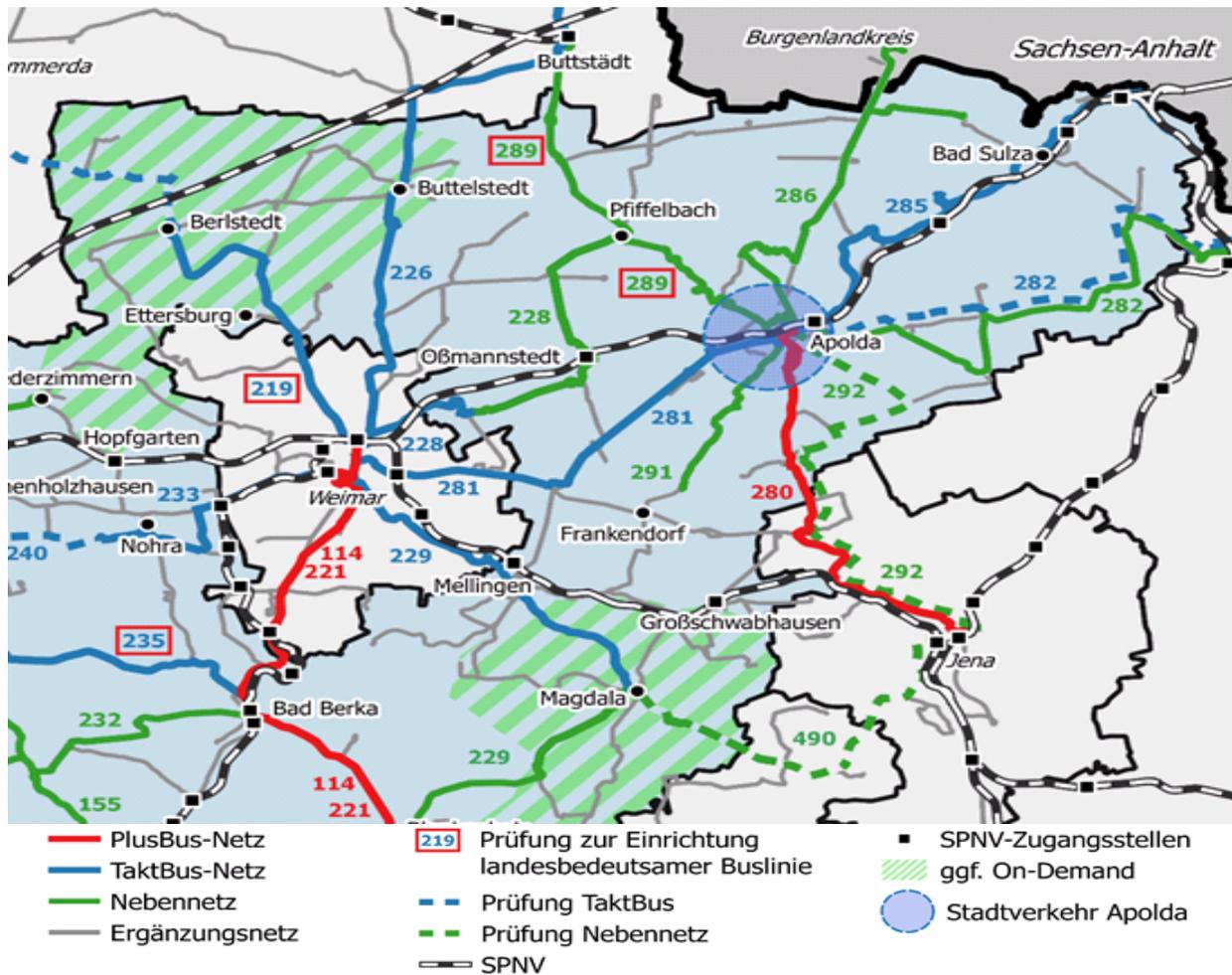


Abbildung 34: Übersicht der Netzebenen im Weimarer Land (Datenquelle: Nahverkehrsplan 2020-2025)

Damit ein öffentliches Verkehrsangebot gegenüber der Fahrt im Pkw angenommen wird, soll die Wegezeit mit dem ÖPNV die Pkw-Fahrzeit maximal um dem Faktor 1,5 übersteigen. Nachfolgende Tabelle dokumentiert die Erreichbarkeit zentraler Orte. Hierbei ist ersichtlich, dass in Bezug auf die reine Fahrzeit das öffentliche Angebot meist sogar deutlich schneller ist.

Tabelle 9: Erreichbarkeit zentraler Orte mit ÖPNV (Eigene Darstellung)

Zentraler Ort	Funktion	Fahrzeit im Pkw in Minuten	Fahrzeit im ÖPNV in Minuten (Faktor)	Art der Verbindung
Bad Sulza	Grundzentrum	25	10 (0,40)	Zug; umsteigefrei
Erfurt	Oberzentrum	45	30 (0,67)	Zug; umsteigefrei
Halle	Oberzentrum	90	55 (0,61)	Zug; umsteigefrei
Ilmtal-Weinstraße	Grundzentrum	15	15 (1,00)	Bus; umsteigefrei
Jena	Oberzentrum	30	35 (1,16)	Bus; umsteigefrei
Leipzig	Oberzentrum	90	70 (0,78)	Zug; umsteigefrei
Weimar	Mittelzentrum mit Teilfunktion eines Oberzentrums	30	10 (0,33)	Zug; umsteigefrei

5.3.3. Beförderungsqualität

Neben der Lage und Erreichbarkeit der Haltestellen und dem Fahrplan gibt es weitere, weichere Kriterien, die für ein modernes öffentliches Verkehrsangebot von hoher Relevanz sind.

Ticketing und Elektronische Dienste

Das öffentliche Verkehrsangebot ist in den Verkehrsverbund Mittelthüringen (VMT) integriert. Dieser stellt Gemeinde-übergreifende Tarifangebote sicher. Auf dessen Internetportal ist eine elektronische Fahrplanauskunft direkt erreichbar. Verbundweit gibt es ein elektronisches Ticketing über eine eigene App.

Das öffentliche Verkehrsangebot selbst wird durch die „Personenverkehrsgesellschaft mbH Weimarer Land“ (PVG WL) betrieben. Auf deren Homepage sind Fahrpläne, Live-Abfahrtszeiten pro Haltestelle, sowie kurzfristige Fahrplanänderungen und Baustellen mit maximal zwei Klicks entfernt, sodass allen Nutzer:innen die Informationen zur Verfügung stehen. Die Option des elektronischen Ticketings wird aktiv beworben. Für die Fahrplanauskunft wird auf dem VMT verwiesen.

Barrierefreiheit und Ausstattung der Haltestellen

Das Personenbeförderungsgesetz gibt vor, dass ab 2022 der gesamte ÖPNV barrierefrei sein muss. Dies ist nicht nur eine Frage der Attraktivität. Für einen größer werdenden Teil unserer Mitmenschen ist dies elementar, um öffentliche Verkehrsmittel nutzen zu können. Die Fahrzeuge im städtischen und regionalen Busverkehr sind mehrheitlich barrierefrei. Die Fahrzeuge im regionalen Eisenbahnverkehr sind vollständig barrierefrei.

Die Tabelle 11 listet alle Bushaltestellen des Stadtbusverkehrs und deren Ausstattungsmerkmale. Hieraus ist ersichtlich, dass dem Anspruch der Barrierefreiheit infrastrukturseitig bislang nicht genüge getan ist. Nur vereinzelt gibt es Fahrgastunterstände und nur teilweise ist der Bordstein abgesenkt. Einrichtungen zur dynamischen Fahrgastinformation sind die Ausnahme.

Der Bahnhof Apolda ist vollständig barrierefrei. Zu- und Übergänge zwischen Bahnsteigen, Vorplatz und Bahnhofsgebäude sind über Rampen und Aufzüge gewährleistet. Alle Bahnsteige sind mit taktilen Leitelementen ausgestattet. Die Ankündigung der nächsten Fahrten geschieht über dynamische Fahrgastinformationssysteme.

Tabelle 11: Stadtbushaltestellen im Quartier (Quelle PVG WL, Eigene Darstellung)

Haltestelle	Netzebene	Barrierefreiheit	Sonstige Ausstattungsmerkmale
Albstädter Straße	Stadtbus		
Am Stadthaus	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
An der Goethebrücke	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
August-Berger-Straße	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand, Statische Fahrgastinformationen
Bahnhof	Stadtbus, Regionalbus	Ja	Fahrgastunterstand, Dynamische Fahrgastinfo
Burkhardstr.	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Busbahnhof	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Fahrgastunterstand, Toiletten, Wartehalle
Carolinenheim	Stadtbus, Regionalbus	Ja	Statische Fahrgastinformationen, Fahrgastunterstand
Compterstraße	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Darrplatz	Stadtbus	Ja	Fahrgastunterstand
Erfurter Straße	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Freitreppe	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Friedhof	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
Gewerbepark, B87	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen, Fahrgastunterstand
Gewerbepark, Filinchen	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Gewerbepark, Ospelt	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen, Fahrgastunterstand
Gewerbepark, R+S	Stadtbus, Regionalbus		
Gewerbepark, Werkstatt	Stadtverkehr	Nein	Statische Fahrgastinformationen, Fahrgastunterstand
Glockenhofcenter	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
Glockenmuseum	Stadtbus	Teilweise <small>Fehler! Textmarke nicht definiert.</small>	Sitzmöglichkeiten
Herressener Straße	Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Jannis	Regionalbus		
Jenaer Str.	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
Kantplatz	Stadtbus	Ja	Fahrgastunterstand
Karl-August-Straße	Stadtbus, Regionalbus		
Lessingstraße	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Luiße-Opel-Platz			
Marienhof	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Fahrgastunterstand, Statische Fahrgastinformationen
Niederroßlaer Straße	Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Oberroßla, obere Haltestelle	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Oberroßla, untere Haltestelle	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen

Paul-Schneider-Straße	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
Peters Karree	Stadtbus	Teil- weise ^{Fehler!} Textmarke nicht definiert.	Sitzmöglichkeiten
Robert-Koch-Kranken- haus	Stadtbus	Nein	Fahrgastunterstand
Schlachthof	Stadtbus	Nein	Teilweise Fahrgastunterstand
Schötener Grund	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Schwimmhalle	Stadtbus, Regionalbus		
Stadtbetriebshof			
Stobraer Str.	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Thüringer Hof	Stadtbus	Teilweise ²	Sitzmöglichkeiten
Utenbacher Str.	Stadtbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen
Wiener Weg	Stadtbus, Regionalbus	Nein	Statische Fahrgastinformationen

² Bordstein abgesenkt

5.4. Radverkehrsnetz

5.4.1. Regionales Radwegenetz

Apolda ist durch vielfältige Weise an das Radverkehrsnetz in Thüringen angeschlossen. Zum einen durch den „Napoleonradweg“, der sich von Jena nach Auerstadt zieht und durch die Innenstadt von Apolda verläuft. Zum anderen durch den „Ilmtal“-Radweg, der sich von Ilmenau nach Bad Sulza erstreckt. Der Teilabschnitt des Radweges verläuft nordwestlich von Apolda und gehört, laut Regionalplanung Mittelthüringen, wie der „Napoleonradweg“ auch, zu dem Radhauptnetz in der Region. Durch die Anbindung an die beiden genannten Radwege, wird Apolda ein Anschluss, an das Oberzentrum Jena und das Mittelzentrum Weimar ermöglicht. Neben den Hauptradwegen verfügt Apolda über ein lokales überörtliches Radnetz, welches die Kernstadt mit den umliegenden Gemeinden verbindet.



Abbildung 36: Radwege in Apolda (Datenquelle: Radroutenplaner Thüringen)

5.4.2. Radverkehrskonzept

Im Jahr 2022 wurde ein Radverkehrskonzept für die Stadt erarbeitet, sodass die Ergebnisse des Konzeptes in die Analyse der Ausgangssituation miteinbezogen werden können. Im Rahmen des Konzeptes wurde evident, dass im gesamten Stadtgebiet kaum gesonderte Radverkehrsanlagen vorhanden sind.

Die Beförderungsqualität in der Stadt wird durch Fahrradstellplätze direkt am Bahnhof, sowie weiteren Stellplätzen in der Stadt unterstützt. Jedoch sind die Plätze am Bahnhof nicht überdacht und auf der Südseite des Bahnhofes würden, laut des Konzeptes, Abstellmöglichkeiten fehlen.

In dem Konzept wurde außerdem deutlich, dass sich 80% der Befragten auf dem Fahrrad unsicher fühlen würden, sowie 60% der Befragten die Wege innerhalb der Stadt als nicht qualitativ ausreichend einstufen. Als eines der

Hauptprobleme konnte der Konflikt der ungleichen Nutzung der Verkehrsflächen für unterschiedliche Mobilitätsformen erkannt werden. Es ergäben sich zwischen den Radfahrenden und PKW oder zwischen Radfahrenden und Zufußgehenden wiederkehrende Konflikte.

Des Weiteren konnte durch die Befragung gezeigt werden, dass die meisten Personen in der Freizeit regelmäßig mit dem Fahrrad unterwegs sind. Zur Schule oder zur Arbeit jedoch kaum bis gar nicht.

Daher empfiehlt das Radverkehrskonzept die Erschließung und den Ausbau von Radfahrwegen, sowohl inner- als auch überörtlich zu fördern. Sowohl um die gesundheitlichen sowie klimaschützenden Vorteile des Radfahrens für die Bevölkerung des Quartiers als auch von Apolda zu unterstützen. Über die Auslastung und Nutzung der Radwegeverbindungen von der Bewohnerschaft der Stadt für Alltagswege liegen keine belastbaren Informationen vor.

5.4.3. Verkehrssicherheit

Nachfolgende Abbildung veranschaulicht Unfälle, an denen Pkw und Fahrräder beteiligt waren. Die Daten stammen aus dem Jahr 2021. Hieraus ist an folgenden Stellen eine örtliche Häufung von Unfällen mit Beteiligung von Fahrrädern abzulesen:

- Bachstraße bzw. der weiterführenden August-Bebel-Straße und Spielplatz August-Bebel-Straße
- Buttstädter Straße

In allen Fällen werden Radfahrer auf der Straße geführt. Die Unfälle geschahen mehrheitlich in direkter Nähe von Knotenpunkten oder Einmündungen.

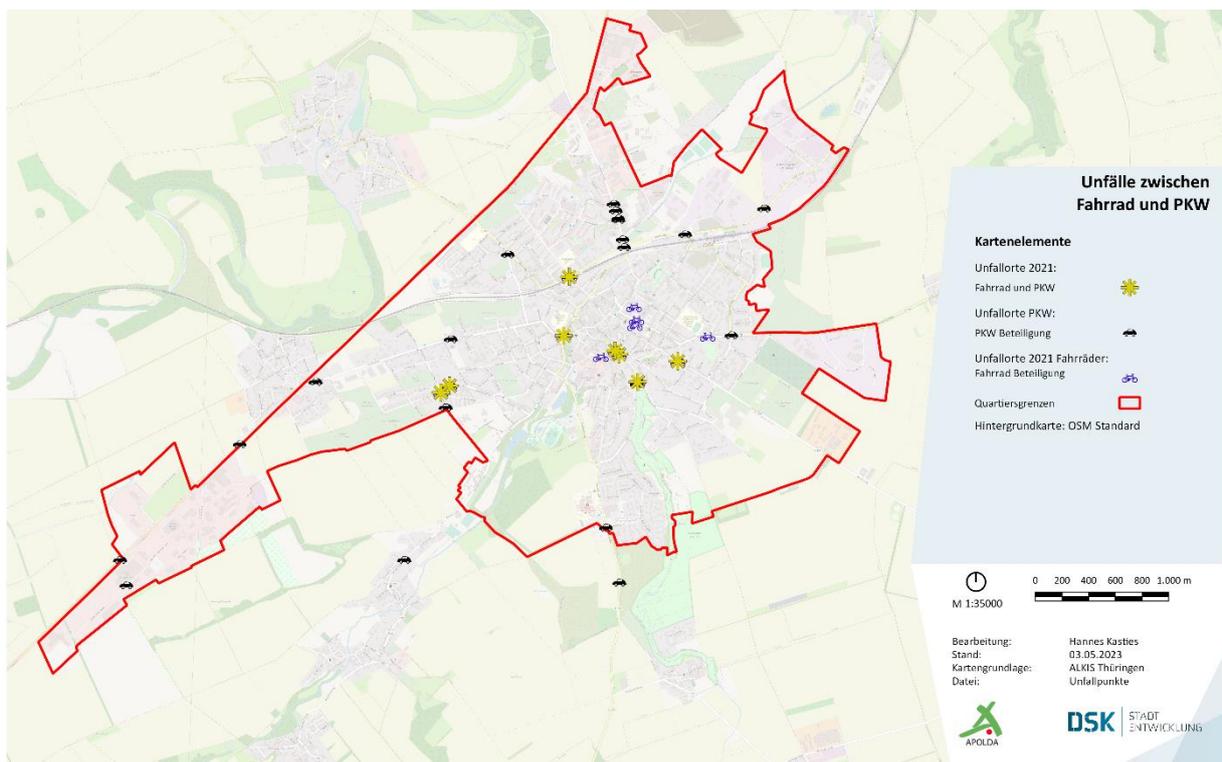


Abbildung 37: Unfälle mit Fahrrad und/ oder PKW-Beteiligung (Datenquelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Eigene Darstellung)

6. Klimatische Veränderungen

Der Klimawandel wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu einem Wandel des Lebens in den Städten führen, daher ist die Betrachtung der Auswirkungen für das energetische Quartierskonzept von grundlegender Bedeutung. Um einen Überblick über die sehr wahrscheinlichen Folgen zu erhalten, hat das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) e. V. eine Website entwickelt, auf der Landkreis spezifisch die Folgen aufgezeichnet und dahingehend zusammengefasst werden.

Damit die Auswirkungen besser eingeordnet werden können, wird sowohl der Zeitraum zwischen 1981 und 2010 als auch zwischen 2021 bis 2050 betrachtet. Der letztere Zeitraum wird dabei durch die drei Klimamodelle prognostiziert. Die Klimamodelle bilden dabei drei Möglichkeiten ab, wie sich das Klima auf der Erde verändern kann. Dafür simulieren sie unterschiedliche Szenarien abhängig der ausgestoßenen Emissionen. RCP 2.6 steht dabei für ein Szenario mit sehr niedrigen Emissionen, die ab jetzt sinken und bis 2080 0 Tonnen pro Kopf erreichen. RCP 4.5 stellt ein mittleres Szenario dar. Bei diesem wächst die Weltbevölkerung auf 9 Milliarden Menschen und die Emissionen sinken von 5 Tonnen pro Kopf und Jahr auf 2,5 Tonnen pro Kopf im Jahr 2080. RCP 8.5 stellt das extremste Szenario dar. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Weltbevölkerung auf circa 12 Milliarden Menschen und der Emissionsverbrauch auf 8,5 Tonnen pro Kopf und Jahr anwächst.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Niederschlagssummen für den Kreis Weimarer Land aufgelistet. Von zentraler Bedeutung ist dabei, die Feststellung, dass die Regenmenge in zwei der drei Szenarien um ca. 10mm pro Jahr abnehmen wird. Dies entspricht 10 Liter pro Quadratmeter. Nur in dem Letzen Szenario wird die Regenmenge um knapp 10mm zunehmen.

Tabelle 12: Mittelwerte für Niederschlagssumme (mm) (Datenquelle: klimafolgenonline)

	Jahr	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
1981-2010	579,4	133,5	174,1	128,1	95,7
2021-2050					
RCP 2.6	572	133	169	129	94
RCP 4.5	576	139	185	125	91
RCP 8.5	598	149	195	127	95
2051-2080					
RCP 2.6	564	131	172	119	89
RCP 4.5	591	147	185	136	99
RCP 8.5	603	156	190	124	104

In dieser Tabelle werden die Tagesmittel der Lufttemperatur dargestellt. Die grundlegende Erkenntnis ist die Zunahme der Temperatur. Dabei kann sie von 0,3 Grad bis zu 0,7 Grad ansteigen. Deutlich bemerkbar macht sich dieses Wachstum an den Temperaturen in den Wintermonaten, die sich von 0,6 Grad im Mittel auf mindestens 1,2 Grad im Mittel erhöhen werden.

Tabelle 13: Tagesmittel der Lufttemperatur, in Grad Celsius (Datenquelle: klimafolgenonline)

	Jahr	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
1981-2010	9,2	8,6	17,1	9,0	0,6
2021-2050					
RCP 2.6	9,5	8,8	18,0	10,0	1,2
RCP 4.5	9,9	9,4	18,2	10,2	1,8
RCP 8.5	9,9	9,4	18,3	10,6	1,5
2051-2080					
RCP 2.6	9,7	9,0	18,3	10,0	1,2
RCP 4.5	10,2	9,9	18,6	10,7	2,4
RCP 8.5	11,3	10,4	19,5	11,9	3,2

Die Tabelle 14 zeigt Klimaindikatoren und die repräsentativen Konzentrationspfade (*representative concentration pathway-RCP*). Dies sind Werte, die zur Charakterisierung des Klimas herangezogen werden. Zusammenfassend ist dabei festzuhalten, dass klimatische Veränderungen immer unvorhergesehener werden, ganz unabhängig der Klimamodelle. Zum einen nehmen die Tage ohne Niederschlag, sowie die Andauer solcher Tage zu, gleichzeitig nehmen aber auch die Tage mit Starkniederschlag zu, sodass es zu längeren Trockenperioden mit anschließend starken Regenereignissen und damit teilweise Überschwemmungen kommen kann. Ebenfalls nehmen die Hitzetage, also Tage an denen die Lufttemperatur mehr als 30 Grad betragen wird, sowie die Aufeinanderfolge dieser Tage zu, sodass es wiederum zu langen Hitzeperioden kommen kann.

Tabelle 14: Klimaindikatoren Apolda (Datenquelle: klimafolgenonline)

		RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	1981-2010	2021-2050			2051-2080		
Tage ohne Niederschlag	253	254	255,6	255	256	253,5	253,7
Starkniederschlag (Tage pro Jahr)	2,1	2,4	2,8	3	2,5	2,8	3,0
Andauer Tage ohne Niederschlag	6,3	6,6	6,6	6,7	6,3	6,7	6,5
Hitzetage (pro Jahr)	5,9	10,3	10,8	19	10,6	11,1	15,0
Aufeinanderfolgende Hitzetage	5,8	7,3	7,9	6,6	7,8	8,7	13,5

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass sich Apolda auf insgesamt stärkere Wetterereignisse einstellen muss. Zum einen wird es deutlich wärmer werden als in den vergangenen 30 Jahren. Dies stellt für die Bewohner:innen und die natürliche Infrastruktur Apoldas eine große Herausforderung dar. In Verbindung mit der Zunahme der Hitzetage, ist festzuhalten, dass Wetterereignisse und Perioden immer schwerer vorherzusagen sind. Stattdessen wird es zu vielen Wetterwechseln und damit auch zu stärkeren und intensiveren Belastungen der Infrastruktur kommen.

7. Energie- und Treibhausgasbilanzierung

7.1. Methodisches Vorgehen

Für die Durchführung der Energie- und Treibhausgasbilanzierung wurde das lizenzierte webbasierte Instrument Klimaschutzplaner verwendet. Dieses ermöglicht die Bilanzierung auf Grundlage des einheitlichen BSKO-Standards. Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage des Territorialprinzips. Hier werden alle auf dem Territorium (Gemarkung) eines Untersuchungsgebietes anfallenden Verbräuche und Emissionen bilanziert und diesem Territorium zugewiesen. Für den Sektor Verkehr bedeutet dies, dass Verbräuche und Emissionen von Transitverkehren in die Bilanz einfließen, Emissionen und Verbräuche von innerhalb des Untersuchungsgebietes zugelassenen Fahrzeugen, die auf Fahrleistungen außerhalb dieses Gebietes zurückzuführen sind, wiederum nicht berücksichtigt werden.

Im Folgenden sollen die wesentlichen Ergebnisse der Bilanzierung in Kürze dargestellt werden. Als Datenbasis dienen die Werte des Netzbetreibers (ENA) und Energieversorgers (EVA) sowie diverse statistische Auswertungen und Datenbanken, die zum Teil auch im Bilanzierungsinstrument hinterlegt sind. Daten der Schornsteinfegerinnung konnten nicht erhoben werden, sodass hierzu lediglich qualifizierte Schätzungen getroffen wurden. Die Daten für kommunale Liegenschaften beruhen auf den von der Stadtverwaltung übermittelten Angaben. Werte für den öffentlichen Nahverkehr beruhen auf Angaben der PVG.

Die Bilanzierung erfolgt im ersten Schritt in Form des Endenergieverbrauchs. Endenergie ist das Endprodukt der Energiebereitstellung, wie sie beim Verbraucher vorliegt. Es handelt sich also um den nach Umwandlungs- und Übertragungsverlusten verbleibenden Teil der Primärenergie, die an den Endenergieverbraucher geliefert und von diesem bezahlt wird.

Darauf aufbauend erfolgt eine auf Primärenergie basierende Darstellung der Energieverbrauchsbilanz. Obwohl diese Energieform für den Endverbraucher schwerer greifbar ist, wird sie auf politischer Ebene als Messgröße für einzelne Minderungsziele verwendet und findet sich auch in den regulatorischen Vorgaben (GEG) für Gebäude wieder. Grundlage für die Bilanzierung in diesem Konzept bilden die Primärenergiefaktoren entsprechend Anlage 4 GEG. Da das GEG keine Faktoren für Kraftstoffe enthält, wurden für Benzin und Diesel Werte recherchiert. Die Berechnung der Primärenergiemengen erfolgt durch die Multiplikation des Endenergiewertes mit dem Primärenergiefaktor für den entsprechenden Energieträger. Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt ebenfalls unter Berücksichtigung des primärenergetischen Einsatzes, d.h. unter Einbeziehung der Umwandlungs- und Übertragungsverluste. So wird beispielsweise der im Endverbrauch emissionsfreie Energieträger Strom mit den Emissionen der zu seiner Erzeugung eingesetzten fossilen Brennstoffe inkl. der Verluste in den Umwandlungsprozessen belastet. Ähnlich werden in den Treibhausgasbilanzen aller anderen fossilen Energieträger sowie Biomasse Energieverbräuche, verbunden mit deren Gewinnung, Transport und ggf. Veredlung, bilanziell berücksichtigt. Die hierzu verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen den BSKO-Faktoren so wie diesen im Klimaschutzplaner hinterlegt sind.

Tabelle 15: Primärenergiefaktoren für relevante Energieträger

Energieträger	Primärenergiefaktor
Benzin	1,2
Biomasse	0,2
CNG	1,1
Diesel	1,1
Erdgas	1,1
Fernwärme	0,7
Heizstrom	1,8
Heizöl	1,1
LPG	1,1
Nahwärme	0,7
Solarthermie	0
Steinkohle	1,1
Strom	1,8
Umweltwärme	0,48 ³

Durch den Emissionsparameter wird nicht nur der Ausstoß von CO₂, sondern auch der anderen treibhauswirksameren Gase berücksichtigt. Diese Gase werden entsprechend ihrer Wirksamkeit in CO₂-Äkquivalente umgerechnet. Daher die Bezeichnung CO_{2äq}.

Die Berechnung der Treibhausgasmengen erfolgt durch die Multiplikation des Endenergiewertes mit dem Emissionsfaktor für den entsprechenden Energieträger,

Tabelle 16: CO₂-Emissionsparameter

Energieträger	g CO _{2äq} /kWh
Benzin	0,312
Biomasse	0,022
CNG	0,278
Diesel	0,313
Erdgas	0,247
Fernwärme	0,151
Heizstrom	0,472
Heizöl	0,318
LPG	0,291
Nahwärme	0,146
Solarthermie	0,023
Steinkohle	0,433
Strom	0,472
Umweltwärme	0,148

³ Beruht auf einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von 3,75

Die Bilanzierung erfolgt auf Grundlage des GEG-Emissionsfaktors für den Strommix. Der Strommix gibt an, zu welchen Anteilen der Strom aus welchen Energieträgern stammt. Energieträger können hierbei fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas sein, aber zudem auch Kernenergie und erneuerbare Energien. Die Bilanzierung auf Basis des allgemeinen d.h. bundesdeutschen Strommixes hat den Vorteil, dass eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse erzielt wird. Der im GEG genannte Faktor ist deutlich schlechter, als der tatsächliche Wert, der jährlich vom Umweltbundesamt ermittelt wird.

7.2. Ergebnisse der Bilanzierung

Der kumulierte Endenergieverbrauch auf dem Gebiet der Stadt beträgt 448.938 MWh. Etwas mehr als die Hälfte davon findet, im gewerblich-industriellen Bereich statt. Auf private Haushalte entfällt knapp ein Drittel des Verbrauches, auf den Verkehrssektor ca. 17 %. Kommunale Liegenschaften und Infrastrukturen machen lediglich 1,3 % aus (Abbildung 39).

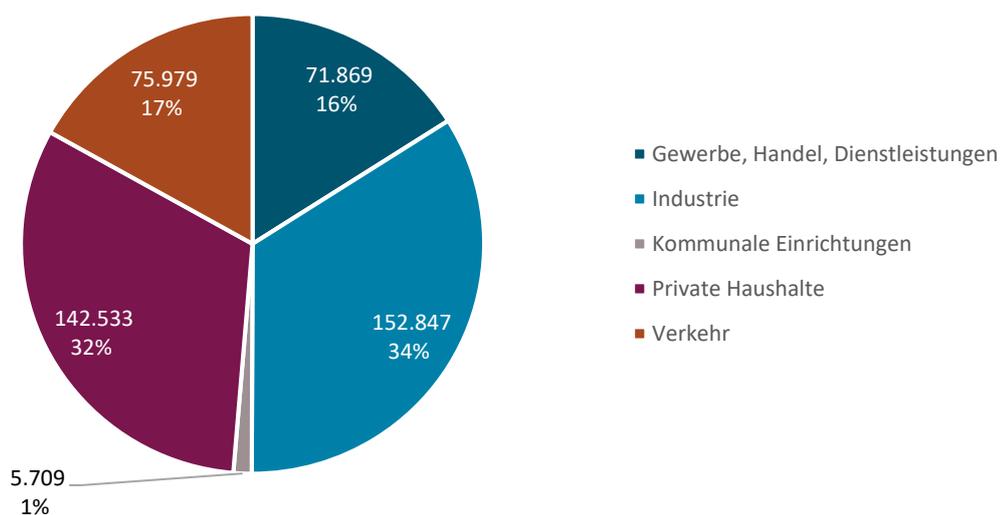


Abbildung 39: Endenergiebilanz Sektoral (MWh)

In Abbildung 40 erfolgt die energieträgerbasierte Darstellung der Endenergieverbräuche. Auf Erdgas (Direktverbrauch) entfällt 50,5 % des Energieverbrauchs, gefolgt von Strom (23,4 %) und Diesel (10,1 %). Netzbasierte Wärme also Fern- und Nahwärme (3,8 % und 1,2 %), bei deren Erzeugung überwiegend Erdgas zum Einsatz kommt, und Heizöl (3,0 %) spielen insbesondere bei der Fokussierung auf die Wärmeversorgung eine relevante Rolle. Weitere Energieträger spielen aktuell nur eine residuale Funktion (Umweltwärme 1,0 %, Solarthermie und Heizstrom jeweils 0,2 %).

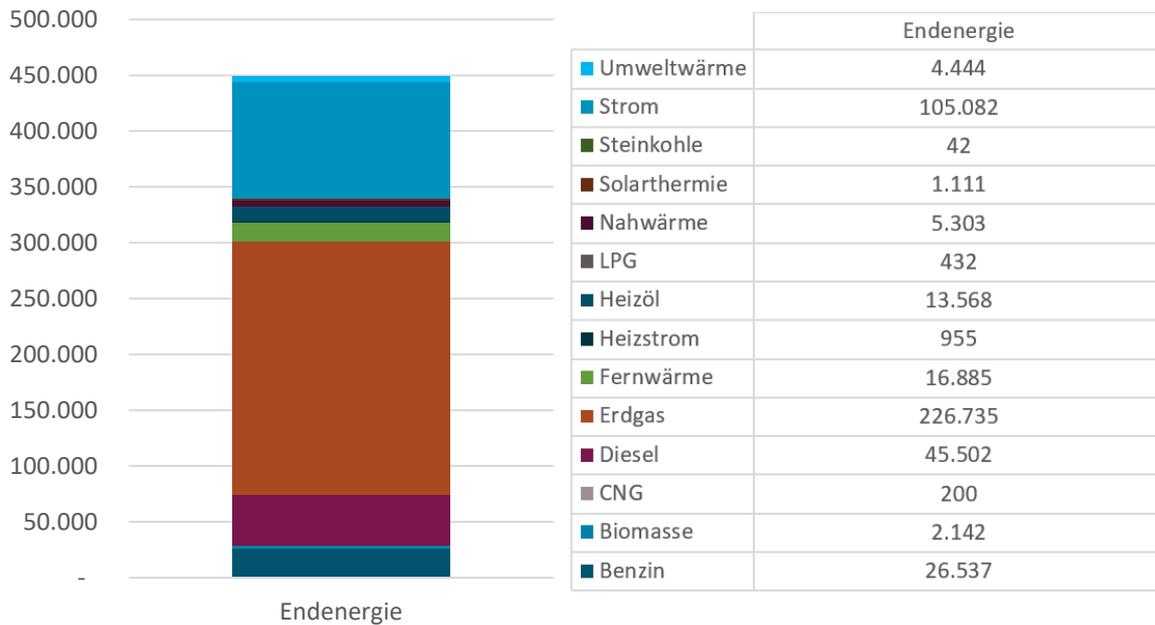


Abbildung 40: Endenergiebilanz nach Energieträgern (MWh)

Durch die Multiplizierung der endenergetischen Werte mit dem Primärenergiefaktor ergibt sich die primärenergetische Bilanz. Aufgrund der primärenergetischen Faktoren verändert sich die Gewichtung einzelner Energieträger in der Bilanz, was man insbesondere bei der Verringerung des Anteils von Erdgas und dem Anstieg des Anteils von Strom erkennen kann. Erdgas bleibt mit 45 % der wichtigste Energieträger, der Anteil von Strom steigt jedoch auf 34 %. Der Anteil netzbasierter Wärme sinkt aufgrund des im Vergleich zum Heizöl oder Erdgas besseren Primärenergiefaktors ebenfalls erheblich. Paradox ist die Bilanzierung von Energieträgern, deren Primärenergiefaktor 0 beträgt (Solarthermie) und die im Ergebnis somit nicht auftauchen.

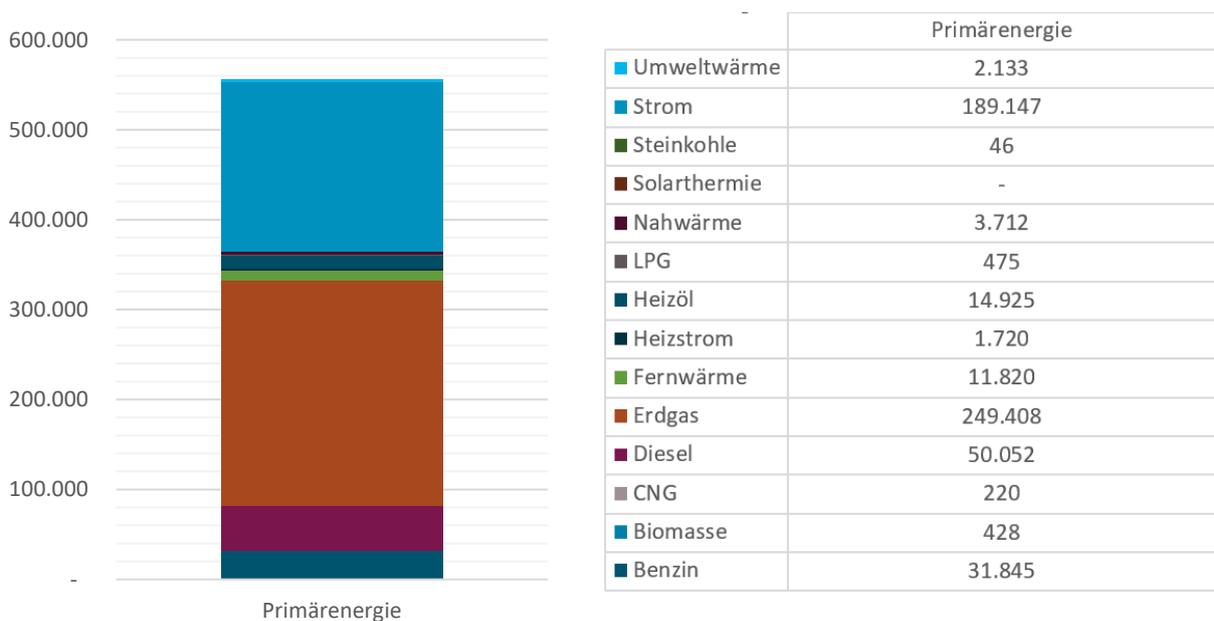


Abbildung 41: Primärenergiebilanz nach Energieträgern (MWh)

Im letzten Schritt erfolgt die Treibhausgasbilanzierung auf Grundlage von CO₂-Äquivalenten. Die Gesamtemissionen auf dem Gebiet der Stadt betragen 137.131 t CO₂äq. Auf den kommerziellen Sektor entfallen davon 53 %, gefolgt von Haushalten mit 28 % und Verkehr mit ca. 18 %. Die kommunalen Einrichtungen und Infrastrukturen der Stadt Apolda verursachen lediglich 1,2 % der Emissionen auf dem Stadtgebiet.

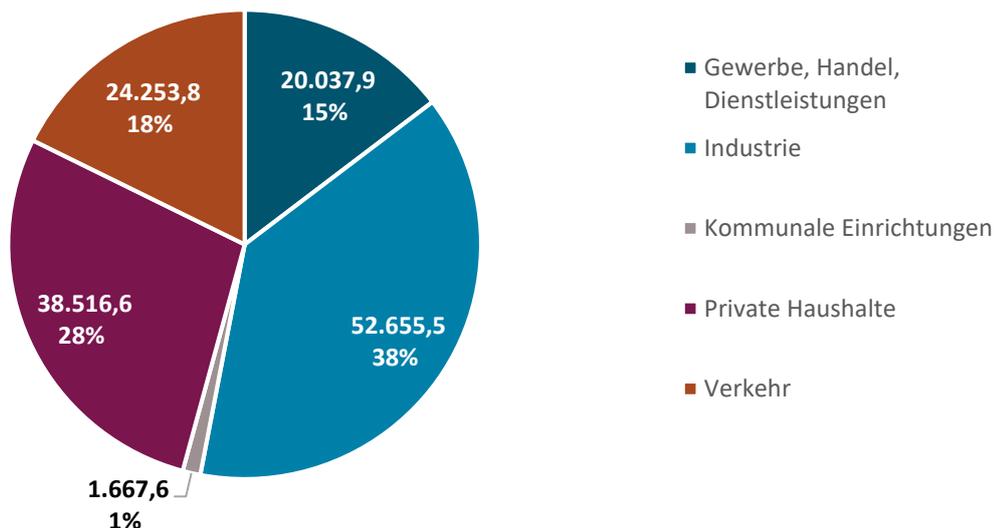


Abbildung 42: THG-Bilanz sektoral (t CO₂äq)

Analog zur endenergetischen Bilanz wird in Abbildung 43 die energieträgerbasierte Bilanzierung der THG-Emissionen dargestellt. Aufgrund der hohen Bedeutung bei der Bedarfsdeckung spielt Erdgas auch bei den Emissionen die entscheidende Rolle (41 %). Aufgrund des aktuell noch deutlich schlechteren Emissionsfaktors für Strom, ist dessen Anteil an den Emissionen jedoch überproportional höher, als bei der Energiebedarfsdeckung (36 %). Dies wird sich mit dem zunehmenden Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien an dem Strommix in der Zukunft jedoch ändern. Auf Diesel (10 %) und Benzin (6 %) entfallen über 16 % der Emissionen. Der Anteil von Heizöl ist aufgrund des schlechteren Emissionsfaktors mit 3,1 % höher als der der netzbasierten Wärme, die in Summe auf einen Anteil von 2,5 % (Fernwärme 1,9 %, Nahwärme 0,6 %) kommt. Auf die strombasierte Wärmeerzeugung entfallen 0,8 % (Heizstrom 0,3 %, Umweltwärme 0,5 %). Die weiteren Energieträger fallen nicht ins Gewicht.

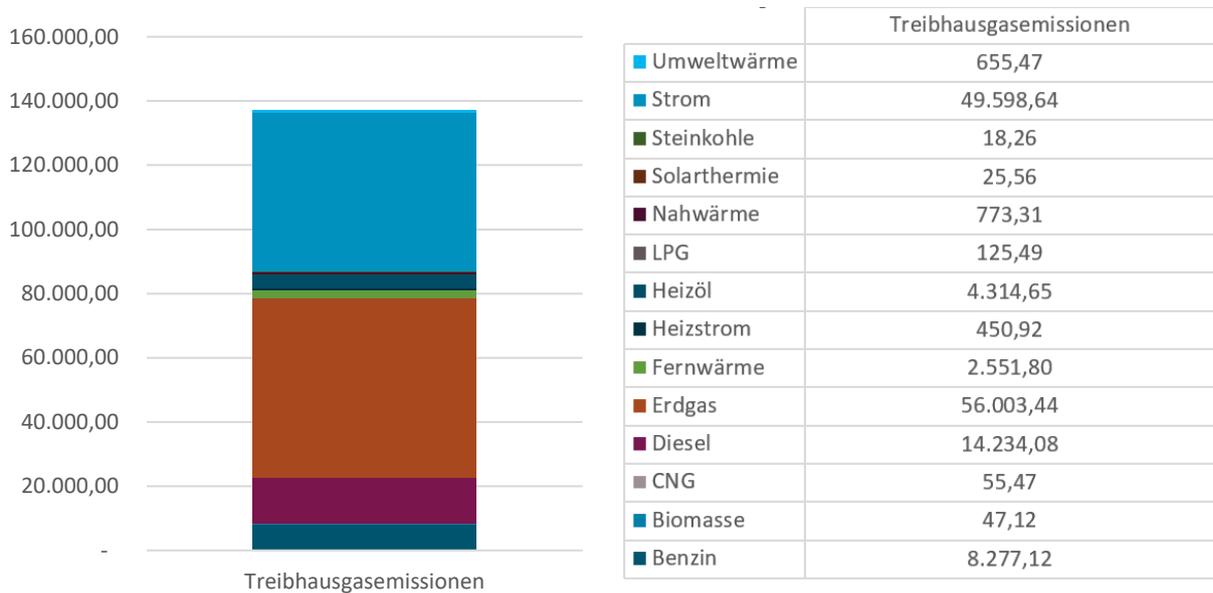


Abbildung 43: THG-Bilanz energieträgerbasiert (t CO_{2äq})

Zur Steigerung der Vergleichbarkeit können Kennwerte gebildet werden. Die verfügbaren Daten erlauben die Bildung personenbezogener Kennwerte. Demnach liegt der THG-Ausstoß pro Kopf bei 6,6 t CO_{2äq}. Dies liegt unterhalb des bundesdeutschen Kennwerts von 9,1 t und oberhalb der Emissionsziele.⁴

⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union>

8. Potenzialbetrachtung

In diesem Kapitel sollen die Potenziale zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in unterschiedlichen Bereichen betrachtet werden. Die Einsparpotenziale können auf diverse Weise erreicht werden, lassen sich aber prinzipiell als „Triade“ darstellen, wobei der Stellenwert einzelner Elemente je nach Anwendungsfall unterschiedlich ausfallen kann:

- Maßnahmen, die zur effizienteren Energienutzung beitragen
- Maßnahmen, die klimaschädliche durch nachhaltige Energieträger ersetzen
- Optimierung des Nutzerverhaltens

Am Beispiel eines Gebäudes lässt sich festhalten, dass die Steigerung der Effizienz der Energienutzung durch die Verbesserung der Dämmeigenschaften (Verringerung des Wärmedurchlaufkoeffizienten) der Gebäudehülle sowie der Effizienz des Wärmesystems erreicht werden kann. Der trotz der Sanierung des Gebäudes noch verbleibende Energiebedarf sollte dann durch die Nutzung einer nachhaltigen Wärmequelle möglichst klimafreundlich gestaltet werden. Ohne die Anpassung des Nutzerverhaltens lassen sich die Potenziale der zuvor durchgeführten Maßnahmen nicht im vollen Umfang nutzen. Denn selbst ein sehr gut gedämmtes Gebäude bedarf viel Energie, wenn das Lüftungsverhalten falsch ist oder die Einstellungen des Heizungsstems ineffizient sind. Festzuhalten ist, dass selbst beim Einsatz klimafreundlicher Energieträger das Nutzerverhalten wichtig ist. Es sind nicht nur die privat anfallenden Kosten der Energieversorgung, sondern auch der Aspekt der Verfügbarkeit, die effizientes Verhalten erfordern.

8.1. Energieeinsparpotenziale durch Gebäudesanierung

8.1.1. Ausgewählte regulatorische Bestimmung

Neben der nachhaltigen Gestaltung der Energieversorgung, stellt die Minimierung des Energiebedarfs den wesentlichen Baustein der energiepolitischen Gesamtstrategie für den Wärmesektor dar. Hierbei kommt der energetischen Qualität der Gebäudehülle eine herausragende Rolle zu. Zumal der Einsatz einzelner Technologien – insbesondere Wärmepumpen - ohne eine entsprechende Ertüchtigung der Gebäudehülle zu hohen Einbußen bei der Effizienz der Anlagentechnik führen würde.

Zur generellen Einschätzung der energetischen Qualität eines Gebäudes wurde in der EnEV 2014 eine Klassifizierung eingeführt. Diese wurde auch in das Gebäudeenergiegesetz (Anlage 10) übernommen. Die Klassifizierung bezieht die Wärmeerzeugung ein und lässt somit nur beschränkt Aussagen über Anforderungen oder die tatsächliche Qualität der Gebäudehülle zu.

Energieeffizienzklasse	Endenergiebedarf
A+	unter 30 kWh pro m ²
A	30 bis max. 50 kWh pro m ²
B	50 bis max. 75 kWh pro m ²
C	75 bis max. 100 kWh pro m ²
D	100 bis max. 130 kWh pro m ²
E	130 bis max. 160 kWh pro m ²
F	160 bis max. 200 kWh pro m ²
G	200 bis max. 250 kWh pro m ²
H	mehr als 250 kWh pro m ²

Abbildung 44: Energieeffizienzklassifizierung von Wohngebäuden nach GEG

Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen erfolgt zuerst eine kurze Begriffsdefinition. Der zu erreichende Energiestandard einzelner Bauteile nach deren Sanierung wird auf Grundlage des sogenannten U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) definiert. Der U-Wert ist ein Maß für die Wärmeverluste eines Baustoffs oder einzelner Bauteile wie Dach, Fassade, Fenster oder Kellerdecke. Der Wert gibt die Höhe der durchgeleiteten Wärmeleistung bei einer Temperaturdifferenz von einem Grad Celsius über einen Quadratmeter eines Bauteils an. Der U-Wert wird von der Stärke/Dicke des Bauteils und der Wärmeleitfähigkeit des Materials bestimmt. Je kleiner der U-Wert, desto besser die Dämmeigenschaften. Die Einheit des U-Werts ist $W/(m^2K)$.⁵

Prinzipiell lassen sich aus der zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Konzeptes geltenden Gesetzgebung keine Pflichten zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle von Bestandsgebäuden ableiten. Es bestehen lediglich Teilanforderungen für einzelne Bauteile bzw. Versorgungsanlagen. Das GEG übernahm hier die zuvor bereits in der EnEV 2014 oder anderen Vorschriften vorgesehenen Nachrüstpflichten:

- Dämmpflicht für bestimmte bislang ungedämmte oberste Geschossdecken oder das darüber liegenden Dach (§ 47 GEG)
- Dämmpflicht für bislang ungedämmte Warmwasser- und Heizungsleitungen sowie deren Armaturen in unbeheizten Räumen (§ 71 GEG)
- Stilllegung von mit flüssigen und gasförmigen Brennstoffen beschickten Heizkesseln, die älter als 30 Jahre sind (§ 72 GEG). Diese Vorschrift ist im GEG unter bestimmten Randbedingungen verbunden mit einem Verbot, ab 2026 Öl-Heizkessel und fossile Festbrennstoffkessel (z. B. als Ersatz für stillgelegte Kessel) in Betrieb zu nehmen. Ausgenommen sind jedoch Niedertemperatur-Heizkessel, Brennwertkessel und Heizkessel kleiner 4 kW oder größer 400 kW.

⁵ D.h. ein Wert von $0,20 W/(m^2K)$ bedeutet, dass bei einem Temperaturunterschied von $1^\circ C$ zwischen Außen- und Innenluft, der Wärmedurchgang über $1 m^2$ des entsprechenden Bauteils $0,2 W$ beträgt. Bei einem Temperaturunterschied von $20^\circ C$ (Innen $20^\circ C$ Außentemperatur $0^\circ C$) beträgt der Wärmedurchgang/Wärmeverlust $4 W$. In 1 Stunde gehen also $4 Wh$ Wärme pro m^2 Bauteilfläche verloren. Der Wert muss durch eine entsprechende Heizleistung kompensiert werden. Vereinfacht dargestellt: die Summe aller Verluste des Gebäudes abzüglich möglicher Gewinne (Sonneneinstrahlung durch Fenster, Wärmeabgabe der Personen usw.) definiert die Anforderungen an die Leistung der Heizungsanlage, die zugleich klimazonenabhängige Tiefswerte für Wintertemperaturen abdecken muss (oft $-14^\circ C$).

- §61 bis 63 sowie 66 GEG sehen zudem Nachrüstpflichten für Regeleinrichtungen bei Heizungs- und Warmwasseranlagen sowie bei Klimaanlage vor

Die Dämmpflicht für die ungedämmte oberste Geschossdecke in Bestandsgebäuden gilt nur dann, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind: das Bestandsgebäude wird beheizt, wird jährlich mindestens vier Monate lang beheizt, wird auf mindestens 19 °C beheizt. Zugleich muss die oberste Decke über den beheizten Räumen an den unbeheizten Dachraum angrenzen, zugänglich sein und NICHT die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz gemäß der Baunorm DIN 4108-2: 2013-02 erfüllen (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz). Dies entspricht $0,91 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Wenn diese Bedingungen alle zutreffen, mussten die Gebäudeeigentümer die Decken ihres Gebäudes bereits bis Ende des Jahres 2015 wie von der EnEV gefordert, dämmen. Das GEG schreibt hierzu analog zur EnEV einen U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vor. Wer diese Pflicht nicht erfüllt, dem drohen bis zu 50.000 Euro Bußgeld.

Nach § 47 Absatz 2 gilt die Dämmpflicht bei Ausführung als Dämmung in Deckenzwischenräumen (z. B. bei Holzbalkendecken) auch als erfüllt, wenn Dämmschichtdicke mit einer Wärmeleitfähigkeit von höchstens $0,035 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ eingebaut wird. Im Falle der Ausführung durch Einblasen von Dämmstoff oder unter Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen beträgt der Höchstwert der Wärmeleitfähigkeit $0,045 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$.

Die vorgenannten Nachrüstpflichten gelten auf Grund von § 47 Absatz 3 (oberste Geschossdecken) bzw. § 73 (Rohrleitungsdämmung, Stilllegung von Heizkesseln) nicht für Ein- und Zweifamilienhäuser, bei denen eine der Wohnungen am Stichtag 1. Februar 2002 vom Eigentümer selbst bewohnt wurde. Im Falle eines Eigentümerwechsels nach dem Stichtag sind die Nachrüstpflichten durch den neuen Eigentümer zu erfüllen; die Frist dafür beträgt 2 Jahre nach dem ersten Eigentumsübergang. Die Privilegierung betrifft nicht die Regelung zur Einschränkung des Einbaus neuer Ölheizungen bzw. neuer Heizkessel für fossile Festbrennstoffe.

Die vorgenannten Nachrüstpflichten enthalten jeweils besondere Befreiungsregelungen, bei denen anders als bei Befreiungen von sonstigen Vorschriften des GEG die Einbindung einer Genehmigungsbehörde nicht vorgesehen ist. Die Pflichten nach § 47 (oberste Geschossdecken) und § 71 (Rohrleitungsdämmung) sind nicht zu erfüllen, wenn die für die Nachrüstung erforderlichen Aufwendungen durch die eintretenden Einsparungen nicht innerhalb angemessener Zeit erwirtschaftet werden können. Dasselbe gilt für die Pflicht, ab 2026 einen stillzulegenden Öl-Heizkessel durch einen nicht mit Heizöl betriebenen Wärmeerzeuger zu ersetzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die aktuell geltenden Anforderungen an Nachrüstpflichten nicht sehr weitreichend und verhältnismäßig leicht zu erfüllen sind oder vergleichsweise großzügige Ausnahmeregelungen enthalten. Es zeichnet sich bereits ab, dass sich dies künftig ändern wird. Auf EU-Ebene wird aktuell die Reform der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) verhandelt. Das EU-Parlament hat hierzu Mitte März strengere Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden beschlossen. Das EU-Parlament vertritt die Haltung, dass alle Wohngebäude bis 2030 die Energieklasse „E“ und bis 2033 sogar die Klasse „D“ erreichen sollten, wobei die Klassen auf einer Skala von "A" bis "G" angegeben werden. Die Klassifizierung muss dabei nicht der in Abbildung 44 entsprechen. Die Staaten sollen selbst festlegen, wie sie die Effizienzklassen einteilen. Die Pläne der EU geben nur vor, dass die Klasse "G" die 15 % der Gebäude eines Landes umfasst, die am ineffizientesten sind.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Konzeptes waren die Verhandlungen zwischen EU-Parlament und dem Rat nicht abgeschlossen. Über die endgültige Ausgestaltung der Richtlinie und die daraus resultierenden Vorgaben kann hier also keine abschließende Aussage getroffen werden.

8.1.2. Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Obwohl keine Verpflichtung zur Sanierung von Bestandsgebäuden bestehen, werden im GEG gewisse Mindeststandards für den Fall aufgestellt, wenn Bauteile ohnehin verändert oder modernisiert werden sollen. Dies gilt beispielsweise wenn der Putz einer Fassade erneuert wird oder die Fenster ausgetauscht werden. Soll das Haus nur neu gestrichen werden, greifen die Vorgaben nicht. Bei der Erneuerung von Bestandsbauten gibt es zwei Möglichkeiten, die Anforderung aus dem GEG zu erfüllen:

- Bei umfassenden Modernisierungen wird – vergleichbar mit einem Neubau – eine energetische Gesamtbilanzierung durchgeführt. In diesem Fall kann eine Bilanzierung nach dem Primärenergie- oder alternativ nach dem Treibhausgas-Verfahren erfolgen (letzteres muss von der Baubehörde genehmigt werden).
 - Beim Primärenergieverfahren darf der Bedarf an Primärenergie des sanierten Gebäudes höher bleiben als der eines entsprechenden Neubaus. Maximal sind ungefähr 155 Prozent mehr erlaubt.
 - Beim Treibhausgasverfahren dürfen die Emissionen maximal die gleiche Höhe wie bei einem vergleichbaren Neubau erreichen. Der Energiebedarf des sanierten Gebäudes darf aber höher ausfallen: Maximal sind etwa 85 Prozent mehr erlaubt.
- Bauteilverfahren - erfolgen nur einzelne Teilsanierungen (zum Beispiel Dämmung der Fassade) oder werden lediglich Bauteile erneuert (etwa Austausch der Fenster), gibt das GEG bestimmte Anforderungs- bzw. Grenzwerte an den Wärmedurchgangskoeffizienten ausschließlich des erneuerten Bauteils vor (Tabelle 17).

In Tabelle 17 werden zum einen die Mindestanforderungen an die U-Werte einzelner Bauteile entsprechend Anlage 7 GEG dargestellt. Darüber hinaus sind Orientierungswerte für deren Erreichen aufgeführt. In der letzten Spalte sind Mindestanforderungen an einzelne Bauteile zum BEG-Förderprogramm aufgelistet, d.h. es handelt sich um Schwellwerte, die im Falle einer Förderung als Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle erfüllt werden müssen.

Tabelle 17: Max. Wärmedurchgangskoeffiziente bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen

Bauteil	Geforderter U-Wert ⁶	Umsetzung (Richtwerte)	Mindestanforderungen BEG-Programm
Außenwände	0,24 W/(m ² K)	Dämmung ca. 12-16 cm	0,20 W/(m ² K)
Einblas-/Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk			$\lambda \leq 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Außenwände mit Sichtfachwerk (Innendämmung bei Fachwerkaußenwänden, Erneuerung der Ausfachungen)			0,65 W/(m ² K)
Außenwände bei Baudenkmalen und erhaltenswerter Bausubstanz			0,45 W/(m ² K)
Fenster, Fenstertüren	1,3 W/(m ² K)	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,95 W/(m ² K)
Fenster, Balkon- und Terrassentüren bei Baudenkmalen und bei besonders erhaltenswerter Bausubstanz			1,4 W/(m ² K)
Fenster, Balkon-/Terrassentüren mit glasteilenden Sprossen bei Baudenkmalen und erhaltenswerter Bausubstanz			1,6 W/(m ² K)
Dachflächenfenster	1,4 W/(m ² K)		1,0 W/(m ² K)
Vorhangfassaden	1,5 W/(m ² K)		1,3 W/(m ² K)
Glasdächer	2,0 W/(m ² K)		1,6 W/(m ² K)
Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasung	2,0 W/(m ² K)		1,3 W/(m ² K)
Sonderverglasung	1,6 W/(m ² K)		1,1 W/(m ² K)
Außentür (Ersatz)	1,8 W/(m ² K)		1,3 W/(m ² K)
Dachschrägen, Steildächer	0,24 W/(m ² K)	Dämmung ca. 14-18 cm	0,14 W/(m ² K)
Dachgauben	0,24 W/(m ² K)		0,20 W/(m ² K)
Oberste Geschossdecken	0,24 W/(m ² K) ^D	Dämmung ca. 14-18 cm	0,14 W/(m ² K)
Dachflächen mit Abdichtung (Flachdächer)	0,20 W/(m ² K)	Dämmung ca. 16-20 cm	0,14 W/(m ² K)
Dachflächen bei Baudenkmalen und bei besonders erhaltenswerter Bausubstanz höchstmögliche Dämmstoffdicke			$\lambda \leq 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken gegen Erdreich	0,30 W/(m ² K)	Dämmung ca. 10-14 cm	0,25 W/(m ² K)
Aufbau oder Erneuerung von Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite	0,50 W/(m ² K)	Dämmung ca. 4-5 cm	0,25 W/(m ² K)
Decken nach unten an Außenluft	0,24 W/(m ² K)	Dämmung ca. 14-18 cm	0,20 W/(m ² K)

⁶ Wohngebäude Innentemperaturen mind. 19°C

Für die Gebäudehülle lassen sich auf Grundlage der Vorschläge des Institutes für Wohnen und Umwelt (IWU) Sanierungsmaßnahmen und Ausführungshinweise ableiten, die in Tabelle 18 dargestellt werden. Dabei sind ästhetische und wirtschaftliche Bedingungen zu beachten. Die erste Sanierungsvariante (SV GEG) stellt die Sanierung auf das gesetzliche Anforderungsniveau, also die Erfüllung der Mindestanforderungen des GEG an Sanierungen im Bestand dar. Die zweite Sanierungsvariante (SV Zukunftweisend) stellt eine anspruchsvolle zukunftsweisende Gebäudesanierung dar, die bei einzelnen Bauteilen Anforderungen an Niedrigstenergieeffizienzhäuser entsprechen.

Maßnahmen zur Verstärkung der bestehenden energetischen Qualität sollten – um wirtschaftlich zu sein – in Verbindung mit ohnehin notwendigen Instandhaltungs- oder Kernsanierungsarbeiten an den Gebäuden durchgeführt werden. Ergebnisse von wissenschaftlichen Studien kommen wiederholt zur Erkenntnis, dass energetisch anspruchsvollere Sanierungen des Gebäudebestandes nur dann als wirtschaftlich gesehen werden können, wenn die energetischen Maßnahmen zusammen mit bereits anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten ausgeführt werden.⁷

⁷ Dena, 2010; Fraunhofer 2016

Tabelle 18: Hinweise zu energetischen Sanierungsmaßnahmen an einzelnen Bestandteilen der Gebäudehülle [IWU]

Bauteil	Anwendungsbereich	Mögliche Komplikationen, zu beachtende Details, weitere Empfehlungen	U-Werte Dämmstärke (inkl. Holzanteil)		
			SV GEG	SV	Zukunft
Steildach	bei Ausbau / Renovierung des Dachraums (raumseitige Erneuerung) bei Erneuerung der Dacheindeckung	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Höhe der vorhandenen Konstruktion meist nicht ausreichend für zukunftsfähige Dämmstandards, daher in der Regel Erhöhung des Querschnitts nötig ➤ Wärmebrücken (durchgehende Hölzer oder Hohlräume) vermeiden ➤ raumseitig dampfbremsende und luftdichte Ebene durch geeignete Folie, Pappe, o. ä. herstellen, dichte Anschlüsse an Durchdringungen, Außen- und Innenwände ➤ bei Erneuerung der Dacheindeckung zweite wasserführende Ebene zum Zweck der Regensicherheit vorsehen (Unterdeckung oder Unterdach); durch eine winddichte Verarbeitung kann dabei das Durchströmen der Dämmschicht mit Außenluft verhindert werden ➤ eine mögliche spätere Außenwanddämmung bei der Dachmodernisierung schon berücksichtigen (Dachüberstände, lückenfreie Fortsetzung der Dämmebene) ➤ auch bei schon durchgeführter Außenwanddämmung ausreichenden Dachüberstand vorsehen: reduziert Risiko der Algenbildung auf Fassaden und schützt Fenster der oberen Geschosse vor sommerlicher Einstrahlung ➤ Möglichkeiten zur Installation von thermischen Solaranlagen und/oder PV-Anlagen prüfen 	0,24	0,10 –	0,15
Zwischensparren Dämmung (Nur als Übergangslösung)	Erneuerung der raumseitigen Verkleidungen, Dämmmatten oder Zellulose (Ausblasen)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ nicht umsetzbar, wenn kein Unterdach oder keine Unterdeckung vorhanden ➤ ggf. Freiräumen des Sparrenzwischenraums erforderlich (Ausmauerung, Strohlehm, ...) ➤ empfehlenswert: raumseitig zusätzliche Dämmlage (vor der Ebene der Luftdichtung, auch für Installationen; siehe „Kombination Zwischen- und Untersparrendämmung“); ➤ sinnvoll: zusätzliche spätere Dämmlage auf Sparren im Zusammenhang mit Neueindeckung (siehe „Kombination Zwischen- und Aufsparrendämmung“) 	12-18 cm abhängig von Höhe des Zwischenraums	Nicht realisierbar	

Kombination Zwischen- und Aufsparrendämmung	Erneuerung der Dacheindeckung in Verbindung mit Einbau einer zweiten wasserführenden Ebene (Unterdeckung/Unterdach)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ falls raumseitige dampfbremsende und luftdichte Ebene von innen nicht herstellbar (bewohnter Dachraum) nach Leerräumen des Sparrenzwischenraums feuchteadaptive Dampfbremse von außen auf die raumseitige Verkleidung ➤ erhöhte Dachlast, ggf. Sparren aufdoppeln ➤ bei Aufdopplung Wärmebrückenwirkung reduzieren (Holzanteil minimieren) und Dämmung zweilagig verlegen 	18 cm	30 cm
Reine Aufsparrendämmung	wie „Kombination Zwischen- und Aufsparrendämmung“, im Fall von Sichtsparren oder falls Freiräumen des Sparrenzwischenraums zu aufwändig	<ul style="list-style-type: none"> ➤ bei der raumseitigen luftdichten und dampfbremsenden Ebene besonders Augenmerk auf Anschlüsse im Traufbereich (Durchdringungen der Sparren) legen 	14 cm	30 cm
Kombination Zwischen- und Untersparrendämmung	im Fall einer Erneuerung der raumseitigen Verkleidung; sonst auch bei erhaltenswerten Traufansichten (Denkmalschutz)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Untersparrendämmung reduziert die Wärmebrückenwirkung der Sparren und kann auch für die Verlegung von Leitungen genutzt werden („Installationsebene“) ➤ Dämmung unter den Sparren wird nach Herstellung der luftdichten Ebene / Dampfbremse eingebaut. Dies gilt jedoch nur, wenn die Untersparrendämmung den kleineren Teil der Gesamtdämmstärke ausmacht. Andernfalls Luftdichtung auf der Unterseite der Untersparrendämmung vorsehen. 	18 cm	30 cm
Oberste Geschossdecke	bei dauerhaft unbeheizten Dachböden oder Spitzböden	<ul style="list-style-type: none"> ➤ raumseitige luftdichte Ebene sicherstellen (z. B. Innenputz, geeignete Folie), dichte Anschlüsse an Außen- und Innenwände ➤ Wärmebrückenwirkung und mögliche Undichtigkeiten insbesondere dort beachten, wo die Dämmebene von Innenwänden durchstoßen wird, aber auch im Bereich von Treppenhauseingängen, -türen und Bodenluken ➤ im Fall von Spitzböden kann je nach Ausführung eine durchgängige Dachflächendämmung sinnvoller sein als die Dämmung und Abdichtung der Kehlbalkendecke 	0,18 – 0,24 W/(m ² K)	0,08 – 0,12 W/(m ² K)

Oberseitige Dämmung	auch unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen leicht umsetzbar Aufblasen von Dämmflocken (Zellulose); Verlegen von Dämmplatten (Mineralwolle, Polystyrol)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Begehbarkeit von Dachböden kann durch Dämmung (Reduktion der Raumhöhe) eingeschränkt werden; kann im Fall von Holzbalkendecken gegebenenfalls durch vorheriges Freiräumen und zusätzliches Dämmen der Gefache verbessert werden ➤ Begehbarkeit der Dämmung durch Spanplatten o.ä. herstellen; bei nicht genutzten Dachböden reichen Laufbohlen ➤ Anschluss an außenseitige Wanddämmung im Bereich des Giebels wärmebrückenfrei kaum herstellbar, schwierig manchmal auch im Traufbereich 	12 cm	30 cm
Flachdach/flach geneigtes Dach		<ul style="list-style-type: none"> ➤ raumseitige luftdichte Ebene sicherstellen (z. B. Innenputz, geeignete Folie), dichte Anschlüsse an Außen- und Innenwände ➤ eine mögliche spätere Außenwanddämmung bei der Dachmodernisierung schon berücksichtigen (Dachüberstände, lückenfreie Fortsetzung der Dämmebene); ➤ Kombination mit Dachbegrünung und/oder Installation einer thermischen Solaranlage / PV-Anlage prüfen 	0,18-0,24 W/(m²K)	0,08-0,12 W/(m²K)
Warmdach oder Umkehrdach: oberseitige Dämmung eines unbelüfteten Flachdachs	im Fall der Erneuerung der Dachabdichtung immer sinnvoll entweder Dachabdichtung über den Dämmplatten („Warmdach“) oder Dämmplatten auf der Dachabdichtung („Umkehrdach“)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ wegen der Kombination mit der Dachabdichtung ist eine fachgerechte Ausführung besonders wichtig (z. B. beim Warmdach Dampfbremse unterhalb / Dampfdruckausgleichsschicht oberhalb der Dämmung) ➤ bei Außendämmung der Wände zur Vermeidung von Wärmebrücken möglichst vorhandene Attika überdämmen 	12 cm	30 cm
Kaltdach: Dämmung des Zwischenraums zwischen Dachabdichtung und Decke	im Fall ausreichender Höhe des Zwischenraums sonst: Umwandlung in Warmdach	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Herstellung / Erhalt einer ausreichenden Hinterlüftung der Dachhaut ➤ Anschluss an außenseitige Wanddämmung kaum wärmebrückenfrei herstellbar 	12 cm	30 cm

Außenwand	Kombination mit außen- oder raumseitiger Erneuerung von Putz oder Verkleidungen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lage der luftdichten Ebene definieren (Innenputz, Außenputz der Bestandskonstruktion) und ertüchtigen ➤ Sicherstellen, dass keine Hinterströmung der Dämmung stattfinden kann ➤ Lösungen für wärmebrückenreduzierte Anschlüsse der Fenster sowie im Trauf- und Ortgangbereich bzw. bei Flachdächern im Attikabereich finden. Dabei auch mögliche Undichtigkeiten insbesondere bei zweischaligem Mauerwerk bzw. Hochlochsteinen beachten ➤ bei anstehender Fenstererneuerung diese mit Fassadendämmung kombinieren; dabei Fenster, wenn möglich in der späteren Dämmebene einbauen ➤ ausreichende Überstände für Dach, Fensterbänke etc. vorsehen 	Außenseitig: 0,20-0,24 W/(m²K) Innenseitig: 0,30 – 0,35 W/(m²K)	0,10-0,15 W/(m²K)
Wärmedämmverbundsystem	Verkleben von Dämmplatten (ggf. Verdübeln) auf der Außenseite der Wände insbesondere bei Instandsetzung der Fassade in Kombination mit Neuverputzung Möglichkeit der optischen Aufwertung / Strukturierung der Fassade, Fensterbänke und Fallrohre müssen erneuert werden	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Wärmebrücken im Bereich auskragender Betondecken sowie im Bereich von Balkonen oder Loggien: wenn möglich abtrennen und thermisch entkoppelt neu vorstellen (bietet Chance der Vergrößerung); Prüfen ob Einbeziehung der Loggien in den Wohnraum möglich / sinnvoll ➤ Vermeidung der Hinterströmung der Dämmung: durchgängige Luftspalte hinter den Dämmplatten verhindern (vollflächiges Verkleben, Punkt-Wulst-Verfahren), Platten im Verband kleben, dichten oberen und unteren Abschluss herstellen ➤ Befestigungen für nachträglich anzubringende Einbauten (Markisen, Jalousien, Briefkästen etc.) berücksichtigen 	12 cm	24 cm
Hinterlüftete Fassade / Vorhangfassade	Verlegen einer Tragkonstruktion; Einbau von Dämmplatten oder Aufsprühen / Einblasen von Zellulose, hinterlüftete Fassadenverkleidung Möglich-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anmerkungen zu Wärmebrücken und Befestigungen analog zum Wärmedämmverbundsystem ➤ Wärmebrückenwirkung der Tragkonstruktion minimieren (gegebenenfalls Wärmebrückenberechnung) ➤ Hinterströmung der Dämmung vermeiden ➤ bei Mineralfaserdämmung äußere Winddichtung herstellen 	12 cm	24 cm

keit der optischen Aufwertung durch Wahl des Fassadenmaterials

Kerndämmung bei zweischaligem Mauerwerk	Einblasen von Dämmstoff in den Luftraum zwischen den beiden Mauerwerksschalen; Dämmgranulate müssen hydrophob (wasserabweisend) sein: z. B. Perlite, Mineralwolle, Polystyrol, ...	<ul style="list-style-type: none"> ➤ mögliche Dämmstärke begrenzt, Wärmebrücken können nicht beseitigt werden; daher gegebenenfalls (später oder in Teilbereichen) zusätzlich Außen- oder Innendämmung vorsehen 	6 cm Abhängig von Dicke des Zwischenraums	Bei alleiniger Umsetzung nicht erreichbar
Innendämmung	im Fall erhaltenswerter Fassaden bei Modernisierung einzelner Räume / Wohnungen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ raumseitig dampfbremsende und luftdichte Ebene durch geeignete Folie, Pappe, o. ä. erforderlich (unbedingt Hinterströmung der Dämmschicht verhindern), dichte Anschlüsse an Durchdringungen, Wände, Decken und Böden ➤ Fassade sollte schlagregensicher sein ➤ Wärmebrücken im Bereich der einbindenden Innenwände ➤ Wasser- und Heizungsleitungen dürfen nicht im Mauerwerk liegen (Frostgefahr) ➤ Entkopplung des Raums von thermischer Wärmespeicherfähigkeit der Außenwand führt zu etwas schnellerer Aufheizung im Sommer 	8 cm	Bei alleiniger Umsetzung nicht erreichbar
Fenster		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fenster so weit wie möglich in die Dämmebene der Außenwand einbauen ➤ bei Herstellung von Anschlüssen beachten: innenseitiger Anschluss sollte luftdicht und dampfdiffusionsdichter als außen sein , mittlere Ebene (Fuge zwischen Rahmen und Wand) wärmege-dämmt, äußerer Anschluss schlagregendicht, aber dampfdiffusionsoffen; Materialien der innen- und außenseitigen Anschlüsse aufeinander abstimmen 	1,1-1,3 W/(m²K)	0,7-0,95 W/(m²K)
Einbau neuer Fenster	Ausbau der alten Fenster, Einbau neuer Fenster, Herstellung eines luftdichten	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verspachtelung der Rohbauöffnung in der Außenwand ➤ Herstellung eines dauerhaft luftdichten Anschlusses zur Luftdichtheitsebene (Außen- oder Innenputz) 	Ja	Ja

	und wärmebrückenminimierten Anschlusses an die Außenwand	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reduzierung der Wärmebrückenwirkung durch Einbau der Fenster in der Dämmebene der Außenwand; dauerhaft elastisches Dämm-Material zwischen Außendämmung und Blendrahmen ➤ kontrollieren, dass vom Hersteller angegebene Fenster-U-Werte tatsächlich für das Gesamt-Fenster gelten (U_w) und nicht nur für die Verglasung (U_g) ➤ auf Ost-/Süd-/West-Seiten außenliegende Verschattungseinrichtungen vorsehen (Rollläden, Klappläden, Jalousien) zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung 		
Erneuerung erhaltenswerter historischer Fenster	Austausch einer Einfach-Scheibe gegen eine 2-Scheiben- Wärmeschutz-Isolierverglasung bei Einfach- Fenstern oder bei Verbund- oder Kastenfenstern	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Flügelrahmen müssen das höhere Gewicht der 2-Scheiben-Verglasung verkraften ➤ gegebenenfalls Wiederherstellung historischer Ansichten (Teilungen) möglich 	Ja	Normalerweise nicht realisierbar
Kellerdecke		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Luftdichte Ebene definieren und ertüchtigen (z. B. Abdichten von Leitungsdurchführungen, Schächten, etc.) ➤ unvermeidbare Wärmebrücken im Bereich aller Anschlüsse an Innen- und Außenwänden; vorteilhaft ist Entfernen nichttragender Innenwände 	<p>Oberseitig 0,40-0,50 W/(m²K)</p> <p>Unterseitig 0,26-0,35 W/(m²K)</p>	0,18-0,25 W/(m ² K)
Oberseitige Dämmung	Entfernen des alten Fußbodenaufbaus, Verlegen von Dämmplatten auf der Rohdecke, Nass- oder Trockenestrich + Fußbodenbelag	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Innentüren müssen gegebenenfalls gekürzt werden; Einschränkung der Dämmstärke bei geringer Höhe der Türstürze oder der Decke im Erdgeschoss ➤ Dampfbremse oberhalb der Dämmschicht auf das Klima der Kellerräume abstimmen 	6 cm	12-20 cm abhängig von Raumhöhe

Unterseitige Dämmung

Verlegung von Dämmplatten oder Abhängen einer Decke und Einblasen von Dämmstoff

- bisweilen höherer Aufwand bei unter der Decke verlegten Strom-, Gas-, Wasser-, Heizungs- und Abwasserleitungen; vorhandene Heizleitungen mitdämmen, dabei Zugänglichkeit von Anschlüssen beachten; gegebenenfalls Neuverlegung
- Einschränkung der möglichen Dämmstärke durch vorhandene Kellerhöhe; ggf. Kombination mit oberseitiger Dämmung
- Einschränkung für vorhandene Kellerfenster; evtl. können sie nicht erhalten werden
- Kellerabgänge soweit wie möglich mitdämmen; dabei nach Möglichkeit auch eine dichte Tür am Kellerabgang einbauen (Vermeidung von thermisch induzierter Kellerluft-Einströmung in die Wohnräume); Alternative prüfen: überdachter außenliegender Kellerabgang bzw. -eingang

6-8 cm
abhängig von Keller-raumhöhe

12-25 cm abhängig von Keller-raumhöhe, ggf. Kombination mit oberseitiger Dämmung

Kombination unten/oben

	Außenwand gegen Außenluft	Außenwand Treppenraum Kellergeschoss	Innenwand Treppenraum Kellergeschoss	Fenster	oberste Geschossdecke	Kellerdecke	Wärmebrücken	Luftdichtheit	Bedarfslüftung	Effizienzhausstandard
unsaniert	Dreischichtplatte $U \approx 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	Betonwand $U \approx 3,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	Betonwand $U \approx 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	2-fach Verglasung $U \approx 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	Spannbetondecke $U \approx 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$	Spannbetondecke $U \approx 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	ohne Nachweis $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	ohne Nachweis	Fenster	-
GEG	10 cm WLG 035 $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	14 cm WLG 040 $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	12 cm WLG 035 $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	2-fach Verglasung $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	14 cm WLG 035 $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	10 cm WLG 035 $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	ohne Nachweis $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	ohne Nachweis	Fenster	EH 100
BEG EM	14 cm WLG 035 $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	16 cm WLG 040 $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	14 cm WLG 035 $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	3-fach Verglasung $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$	24 cm WLG 035 $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$	14 cm WLG 035 $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$	mit Nachweis $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	mit Nachweis	Fenster	EH 70
Passivhauskomponenten	18 cm WLG 035 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	26 cm WLG 040 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	22 cm WLG 035 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	3-fach Verglasung $U = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$	22 cm WLG 035 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	22 cm WLG 035 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	mit Nachweis $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$	mit Nachweis	RLT-Anlage mit 80% WRG	EH 55

Abbildung 45: Maßnahmenpakete zur Erreichung unterschiedliche Effizienzhausstandards

In Tabelle 19 werden die Auswirkungen der zuvor skizzierten Sanierungsmaßnahmen auf die energetische Qualität von ausgewählten Bauteilen eines für das Quartier typischen Gebäudes (EFH Baualtersklasse 1968-78) dargestellt. Die kumulierten – also sich aus dem Zusammenspiel aller Maßnahmen ergebenden – Auswirkungen auf die energetische Qualität des Gebäudes in Form des Heizwärmebedarfs sind Abbildung 50 zu entnehmen.

Tabelle 19: Auswirkungen Sanierungsmaßnahmen auf energetische Qualität von Bauteilen (EFH Baualtersklasse 1968-78)

	Ausgangszustand	Sanierung GEG	Sanierung Zukunftsweisend
Fassade			
Maßnahme		Dämmung 12 cm WLS 035 Dämmputz 20 mm	Dämmung 24 cm WLS 035 Dämmputz 20 mm
U-Wert	1,00 W/(m²K)	0,22 W/(m²K)	0,125 W/(m²K)
Dach			
Maßnahme		Zwischensparrendämmung 18 cm WLS 035; falls Sparrenhöhe geringer, Kombination mit Unter- sparrendämmung erforderlich	Zwischensparrendämmung 18 cm WLS 035 + Untersparrendämmung 12 cm WLG 035
U-Wert	0,5 W/(m²K)	0,20 W/(m²K)	0,12 W/(m²K)
Unterer Gebäudeabschluss			
Maßnahme		Dämmung mit 8 cm WLG 035 unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußbodensanie- rung)	Dämmung 12 cm (WLG 035) unter der Decke (bei ausreichender Keller- raumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußbodensanie- rung) oder Kombi. unter/auf
U-Wert	0,77 W/(m²K)	0,28 W/(m²K)	0,21 W/(m²K)
Fenster			
Maßnahme		Fenster mit 2-Scheiben-Wärme- schutz-Verglasung	Fenster mit 3-Scheiben-Wärme- schutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)
U-Wert	2,8 W/(m²K)	1,3 W/(m²K)	0,8 W/(m²K)
Nutzwärme (nicht kor.)	224 kWh/m²*a	105 kWh/m²*a	41 kWh/m²*a
Nutzwärme (Nutzerkor.)	153 kWh/m²*a	99 kWh/m²*a	43 kWh/m²*a
Einsparung (nicht kor.)		119 kWh/m²*a	183 kWh/m²*a
Einsparung (Nutzerkor.)		54 kWh/m²*a	110 kWh/m²*a

Im Folgenden soll in Kürze auf zwei Aspekte der Sanierung von Mehrfamilienhäusern eingegangen werden.

- Dämmung bereits gedämmter Fassaden
- Beispielhafte Darstellung einer sehr ambitionierten Sanierungsmaßnahme

Dämmung bereits gedämmter Fassaden

Grundsätzlich zeichnet sich ein hoher Anteil des industriellen Mehrfamilienhausbestandes bereits durch Ertüchtigungen der Gebäudehülle aus. Eine erste große Sanierungswelle fand in den Ostdeutschen Bundesländern ca. im Zeitraum 1993-1998 statt. Sie führte zu einer erheblichen Steigerung der energetischen Qualität der Hülle (Fassade). Die Ergebnisse der Sanierungen entsprechen jedoch mittlerweile nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik und den gesetzlichen Mindestanforderungen. Mit Hinblick auf die üblichen Sanierungszyklen sehen sich die Gebäudeeigentümer mit der Frage konfrontiert, ob eine zusätzlich energetische Ertüchtigung durchgeführt werden soll.

Prinzipiell kann für Mehrfamilienhäuser genauso wie für Einfamilienhäuser aktuell keine rechtliche Anforderung zur Steigerung der energetischen Qualität der Gebäudehülle abgeleitet werden. Auch hier gelten die bereits weiter oben dargestellten Regelungen. Selbst im Falle von Maßnahmen zur optischen Aufwertung von Fassaden sind Schritte zur Verbesserung der energetischen Qualität der Hülle nicht unbedingt verpflichtend. Zwar besagt die Regelung, dass bei einer Erneuerung des Außenputzes der U-Wert der Außenwand nach der Erneuerung nicht mehr als $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ betragen darf. Jedoch gelten folgende Ausnahmen:

1. die Fläche des verbesserten Putzes macht nicht mehr als 10 % der gesamten Bauteilfläche aus,
2. der bestehende Wandaufbau wurde nach dem 31.12.1983 errichtet oder erneuert und die damaligen energiesparrechtlichen Vorschriften wurden eingehalten,
3. ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, dann gelten die Anforderungen bereits als erfüllt, wenn die nach den anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ eingebaut wird.
4. das geänderte Wohngebäude unterschreitet die Anforderung an den Höchstwert des Jahresprimärenergiebedarfs des Referenzhauses und die Anforderung an den Höchstwert des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlustes um nicht mehr als 40 %.

Punkt 2 der Ausnahmeregelung erlaubt es also, dass Gebäude mit nachträglich angebrachten Dämmsystem trotz Unterschreitung der Anforderungen an den Mindestdämmschutz nicht weiter saniert werden müssen. Es ist somit eher der Aspekt des Klimaschutzes und der Wertsteigerung des Objektes, der bei den Überlegungen zur nachträglichen Dämmung zum Tragen kommt. Mit Rücksicht auf Ressourcenschonung, Umweltschutz und Abfallvermeidung sollte bei derartigen Überlegungen immer auch die weitere Nutzung des vorhandenen Dämmsystems bedacht werden.

Eine Untersuchung des Fraunhofer IFAM hat ausführlich die Möglichkeiten der sogenannten Aufdopplung bestehender WDVS betrachtet.⁸ Beachtet wurden die Aspekte: bauaufsichtliche Zulassung, Brandschutz, Tragfähigkeit, Energieeinsparung, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz und Ausführung sowie Wirtschaftlichkeit. An dieser Stelle soll nicht vertieft auf die frei zugängliche Studie eingegangen werden. Im Fazit kann folgendes festgehalten werden: auf dem Markt besteht eine Vielzahl an zugelassenen WDV-Systemen, die für eine Aufdopplung in Frage kommen und bei fachgerechter Ausführung alle technischen Anforderungen (Tragfähigkeit, Brandschutz, Feuchteschutz, Schallschutz) erfüllen. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit wurde in der IFAM-Studie die Aufdopplung eines bestehenden 6 cm WDV-Systems um weitere 10 cm untersucht, die zu Einsparungen im Umfang von 8,8 bis 19,9 kWh/m²*a führt. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt unter den getroffenen Annahmen (insbesondere: 84,5 % der Aufdopplungskosten sind nicht Instandhaltung, also auf Mieter:innen umlegbar; sowie einer geringen Energiepreissteigerungsrate von 0,3 %), dass sich die Investition einer Aufdopplung eines WDVS aus der Sicht des Vermieters und über die gesamte zu erwartende Lebenserwartung der Investition (40 Jahre) wirtschaftlich nur lohnt, wenn die gesetzlich erlaubten 8 % der Modernisierungskosten dauerhaft voll auf die Mieter umgelegt werden können und der Vermieter diesen Spielraum auch voll ausschöpft. Für Mieter hingegen führt diese Modernisierungsumlage zu erheblichen Mehrkosten, die – bei der Annahme einer eher niedrigen Energiepreissteigerung - nicht durch sinkende Energiekosten ausgeglichen werden können. Lediglich bei Gebäuden, in denen eine hohe Wärmebedarfsersparung erreicht wird (19,9 kWh/m²*a) und bei stärker steigenden Wärmepreisen (5%), lassen sich auch für Mieter positive Effekte erreichen. Hingewiesen wir darauf, dass zum Zeitpunkt der IFAM-Untersuchung Auswirkungen einer möglichen CO₂-Bepreisung nicht bedacht wurden, die aktuell – im Falle der weiteren Verwendung fossiler Energien - als erheblicher Faktor der Preissteigerung zu sehen sind.

Tabelle 20 zeigt die Auswirkungen der Aufdopplung für typische bestehenden Dämmsysteme durch eine 10 cm starke Dämmschicht der Materialgruppe WLG 032. Durch diese Maßnahme werden die oben genannten Anforderungen des GEG an den Höchstwert der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen für die Fassade bei den aufgeführten Gebäudetypen erreicht. Es werden auch die Anforderung nach BEG an die Förderung als Einzelmaßnahme erfüllt.

Tabelle 20: Auswirkung der Aufdopplung von WDVS an Mehrfamilienhäusern im Quartier U-Wert [W/(m²K)]

Gebäudetyp	Ausgangszustand	Mit 6 cm WLG040	Aufdopplung mit 10 cm WLG 032
MFH 1958-68	1,10	0,413	0,180
MFH 1969-78	1,10	0,413	0,180
MFH 1979-83	0,90	0,381	0,173
MFH 1984-94	0,60	0,314	0,158

⁸ Fraunhofer IFAM, 2016: Nachdämmung („Aufdoppelung“) alter Wärmedämmverbundsysteme an Wohngebäuden

Anspruchsvolle Sanierung von Plattenbaugebäuden

In Abbildung 45 werden für einen im Untersuchungsgebiet vertretenen Gebäudetyp der Baureihe WBS 70 unterschiedliche Sanierungspakete und die damit zu erreichenden Energieeffizienzstandards (hier als Energieeffizienzhaus der KfW-Typologie bezeichnet) dargestellt. Um die Förderkriterien zu erfüllen sind zudem Anforderungen an ein Lüftungskonzept und den sommerlichen Wärmeschutz zu beachten. Ersichtlich ist, dass selbst durch die Sanierung mit Passivhauskomponenten d.h. Maßnahmen, die für das jeweilige Bauteil zum Erreichen des erforderlichen U-Werts führen, rechnerisch nur ein Effizienzhaus 55 erreichbar ist. Höhere Standards lassen sich nur erreichen, wenn neben einer weiteren Erhöhung des Dämmstandards auch weitere technische Maßnahmen durchgeführt werden. Hierzu zählt insbesondere der Einbau von RLT-Technik.

An dieser Stelle soll in Kürze ein Beispiel für ein anspruchsvolles Sanierungsprojekt gemacht werden. Das Beispiel ist insbesondere dann anwendbar, wenn auch ein Teilrückbau eines Gebäudes als Option zur Verfügung steht. Dies kann in Apolda mit Blick auf die demografische Entwicklung mancherorts relevant sein.

Das im Folgenden vorgestellte Projekt bezieht sich auf die Sanierung eines Plattenbaugebäudes auf Passivhausstandard. Es wurde von der WBG – Wohnungsbaugesellschaft mbH Weißwasser durchgeführt. Hier erfolgte der Teilrückbau des Gebäudes Heinrich-Hertz- Straße 26 – 30 von 5 auf 3 Etagen. Nach dem Teilrückbau verblieben 30 WE (davon: 25 x 3-Raum-WE, 5 x 2-Raum-WE). Die Maßnahme erfolgte im 3. Quartal 2021. Das Projekt wurde wissenschaftlich von der BTU begleitet und die detaillierten Ergebnisse können unter der Quelle in der Fußnote erfahren werden.⁹

Das Projekt in Weißwasser zeigt beispielhaft, wie eine energetisch anspruchsvolle Sanierung von Plattenbaugebäuden möglich ist. Vor dem zuvor dargestellten Hintergrund lässt sich eine Anforderung an die Verbesserung der energetischen Qualität der Gebäudehülle bei Mehrfamilienhäusern jedoch nicht aus bestehenden gesetzlichen Anforderungen, sondern nur aus klimaschutzpolitischen Überlegungen ableiten.



Abbildung 46: Zustand vor Sanierung und Teilrückbau [BTU]

⁹ BTU, 2012: Endbericht zum Forschungsprojekt: Energetische Optimierung eines Plattenbaukarrees –ein Beitrag zum städtischen Klimaschutz



Abbildung 47: Zustand nach Sanierung und Teiltrückbau (Straßenansicht) [BTU]

Unter ausschließlich klimapolitischen Gesichtspunkten wird vom Gesetzgeber eine möglichst tiefgehende Sanierung d.h. das Erreichen einer möglichst guten Gebäudeeffizienzklasse bevorzugt. Entsprechende technische Möglichkeiten und Lösungen sind auf dem Markt verfügbar und die Umsetzung ist in der Praxis in der Regel mehrfach erprobt. In der Realität muss jedoch ein Gleichgewicht zwischen dem energetischen Niveau und den Kosten gesucht werden. Die Umsetzung muss zudem vereinbar mit den Anforderungen und dem Leistungsvermögen der Mieter hinsichtlich der Miethöhe sein. Denn die erreichten Einsparungen im Bereich der Energiekosten können in der Regel nicht in Gänze die Steigerungen der Kaltmiete auffangen. Zudem ist die Umsetzbarkeit einzelner Maßnahmen bspw. Aufdopplung der Dämmung im Bereich ausgebauter Dachgeschosse, nur schwer bei bewohnten Objekten umzusetzen.

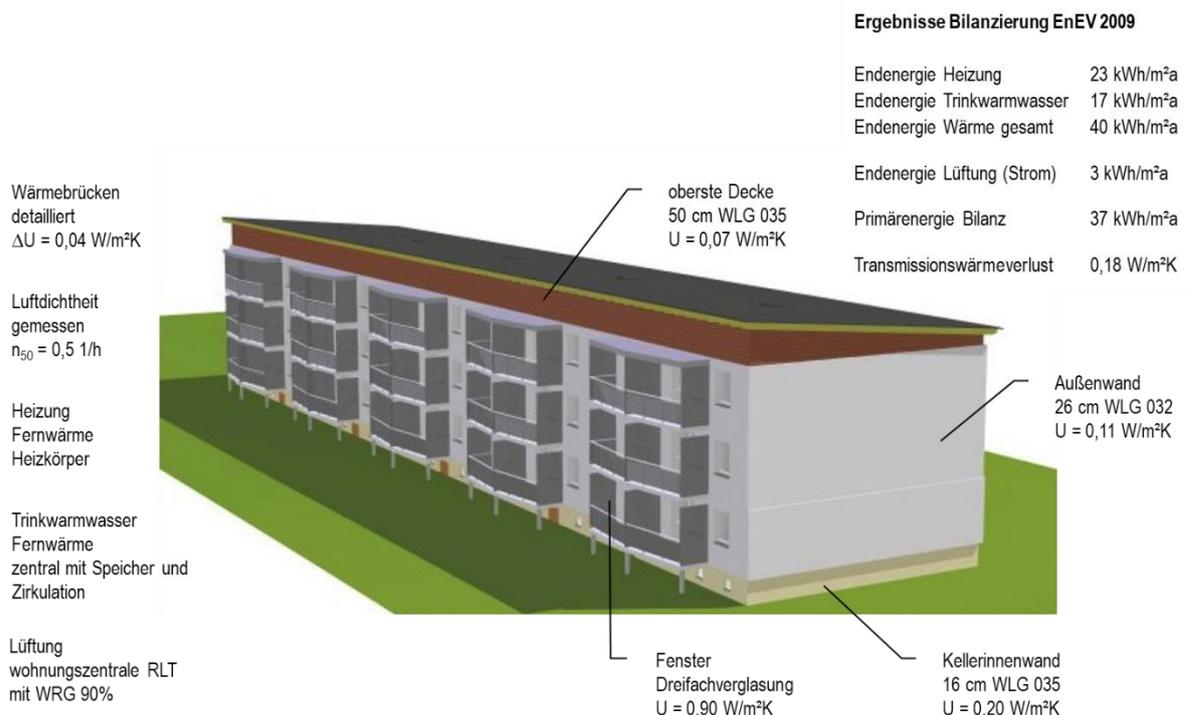


Abbildung 48: Projektumsetzung in Weißwasser [BTU]

Quantifizierung der Effekte von Sanierungsmaßnahmen

Bevor die möglichen Einsparpotenziale durch die Sanierungsmaßnahmen dargestellt werden, soll eine kurze Begriffsklärung erfolgen. In der Fachliteratur und Gesetzgebung werden zur Beschreibung der energetischen Qualität eines Gebäudes die Begriffe Primär/Endenergiebedarf und Primär/Endenergieverbrauch genutzt. Beim Bedarf handelt es sich um einen rechnerisch ermittelten Wert, wobei Standardrandbedingungen für Außen- und Innentemperatur, Anlageneinstellungen, Nutzerverhalten usw. angenommen werden. Dagegen bezieht sich der Verbrauch auf die reell gemessene Energienutzung. Zwischen Bedarf und Verbrauch von Gebäuden können zum Teil große Unterschiede bestehen (Abbildung 49), die in der Regel primär durch das Nutzerverhalten (bevorzugte Innentemperatur liegt über/unter der Normvorgabe, das Lüftungsverhalten weicht vom Standard ab, die Heizung ist nicht optimal eingestellt, räumliche und zeitliche Teilbeheizung, Warmwasserverbrauch unterscheidet sich von den Annahmen usw.) und die Witterung erklärt werden. Insbesondere bei älteren Gebäuden liegt der tatsächliche Energieverbrauch in der Regel deutlich unter dem rechnerischen Energiebedarf, was oft durch die wegen der hohen Wärmekosten resultierende Bereitschaft zur Anpassung des Nutzerverhaltens erklärt wird. Daraus ergibt sich wiederum, dass die tatsächliche Einsparung (in reellen Betrieb bzw. auf der Heizkostenabrechnung), die durch Sanierungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden erreicht wird, in der Regel geringer ausfällt, als die rechnerisch ermittelten Werte. Prinzipiell lassen sich die Abweichungen zwischen Bedarf und Verbrauch nicht ausschließlich durch das Nutzerverhalten erklären, sodass in diesem Bereich weitere Untersuchungen und Praxisstudien laufen.

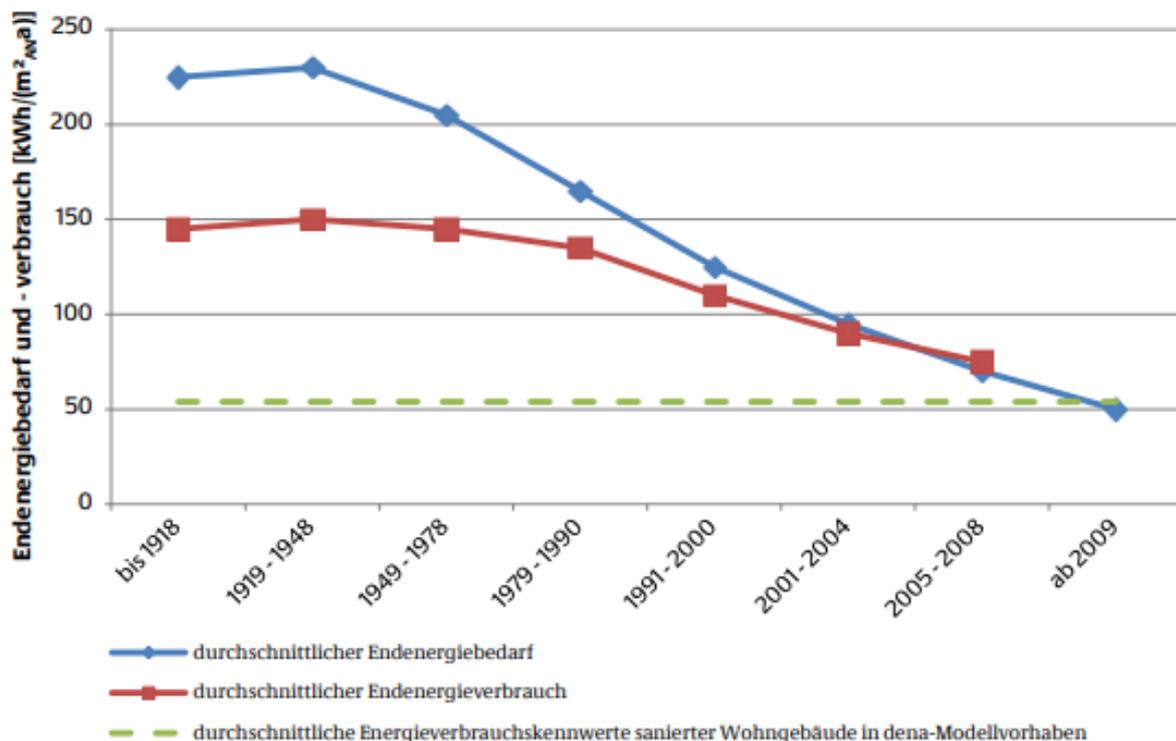


Abbildung 49: Durchschnittlicher Energiebedarfs- und Energieverbrauchskennwert nach Baualterklassen¹⁰

¹⁰ Dena, 2016

Die Maßnahmen an der Gebäudehülle haben Auswirkungen auf den Nutzwärmebedarf bzw. Heizwärmebedarf. Der Heizwärmebedarf (nach DIN V 4108-6) bzw. Nutzwärmebedarf einer Heizung (nach DIN V 18599-2) ist die rechnerisch ermittelte Energiemenge in kWh, die dem Gebäude über ein Heizsystem zur Aufrechterhaltung einer gewünschten Raumtemperatur zugeführt werden muss.¹¹

In den folgenden Abbildungen werden die Auswirkung der zuvor beschriebenen beiden Sanierungspakete auf den Nutz/Heizwärmebedarf von Einfamilienhäusern (Abbildung 50) und Reihenhäusern (Abbildung 51) dargestellt. Die Abbildungen zeigen zumal die theoretischen also rein rechnerisch –d.h. auf Grundlage von Normrahmenbedingungen - ermittelten Werte. Zugleich werden aber auch die um das Nutzerverhalten korrigierten Werte (KOR) gezeigt. Zu erkennen ist insbesondere, dass die theoretischen Werte vor allem für den Ausgangszustand einen deutlich höheren Energiebedarf darstellen als die korrigierten Werte. Daraus ergibt sich in der Praxis in der Regel ein erheblich geringeres Einsparpotenzial. Ersichtlich ist auch, dass das Einsparpotenzial durch die ambitionierte zukunftsweisen Sanierung nach Korrektur um das Nutzerverhalten geringer ausfällt, als es entsprechend der theoretischen Berechnungen sein sollte. Dagegen können mit dem weniger ambitionierten Sanierungspaket in der Praxis oft leicht bessere Werte erreicht werden, als theoretisch ermittelt. Die Werte basieren auf Berechnungen des Institutes für Wohnen und Umwelt.

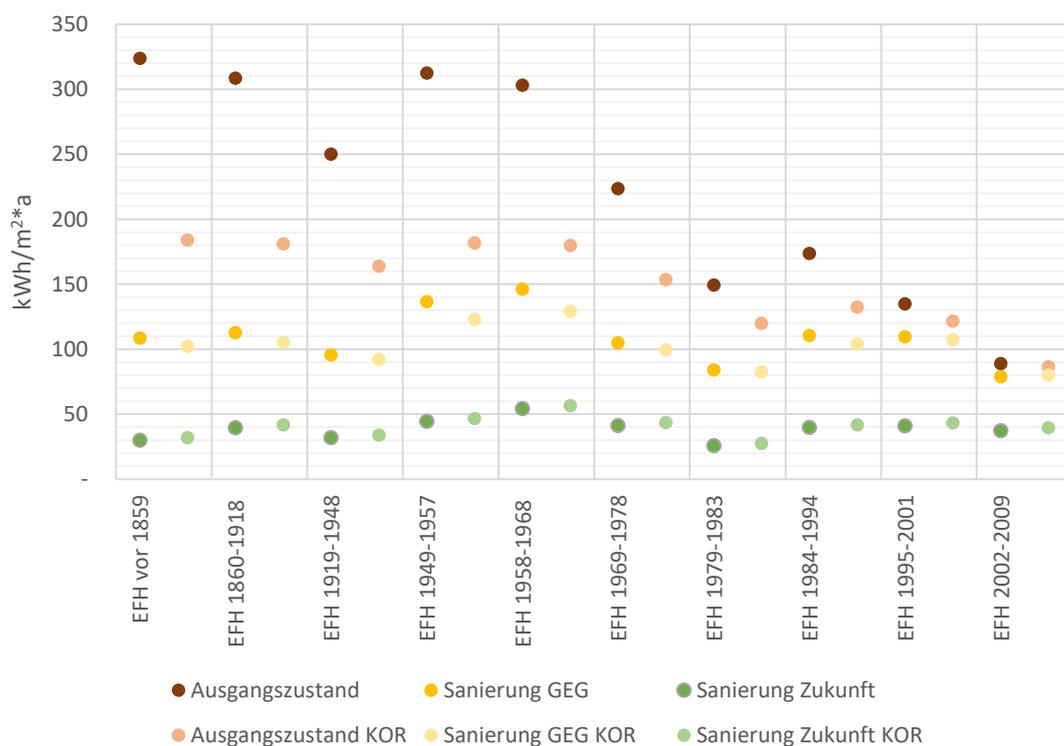


Abbildung 50: Auswirkung Sanierung auf Nutzwärmebedarf (ohne Warmwasser) – Einfamilienhaus

¹¹ Der Wert errechnet sich durch Addition des Transmissionswärmeverlustes (kumulierter U-Wert aller Bauteile) und Lüftungswärmeverlust unter Abzug der nutzbaren internen Wärmegewinne und der solaren Wärmegewinne.

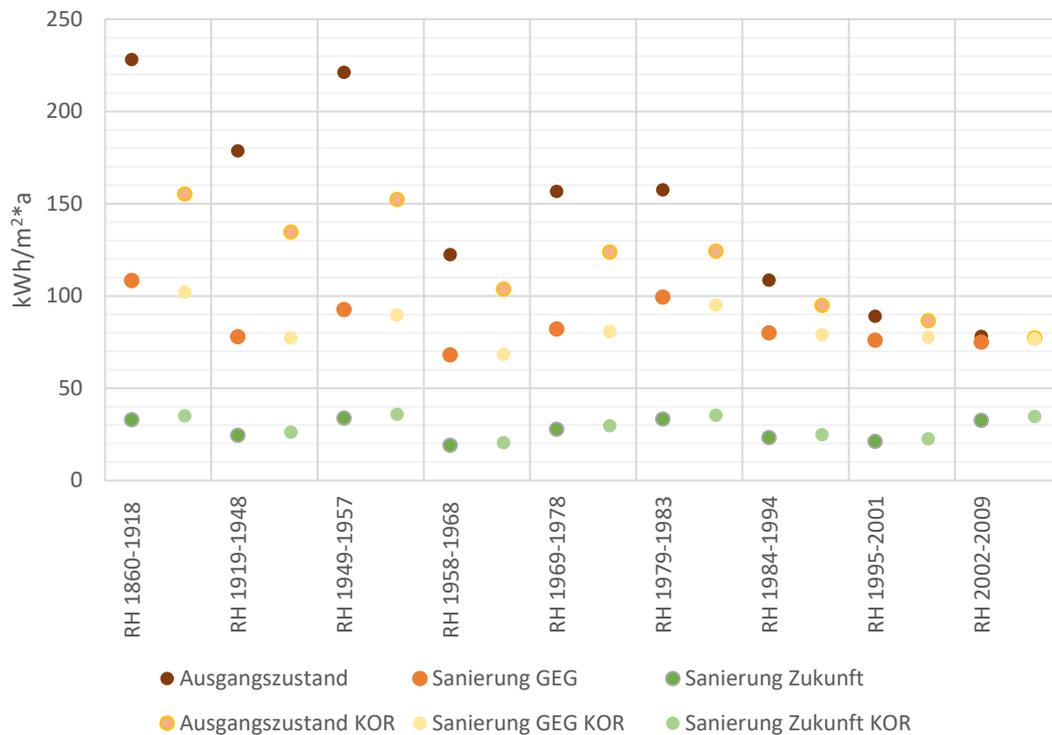


Abbildung 51: Auswirkung Sanierung auf Nutzwärmebedarf (ohne Warmwasser) – Reihenhäus

Die Abbildungen sind folgendermaßen zu interpretieren:

Ein Einfamilienhaus der Baualtersklassen 1860-1918 weist entsprechend des standardisierten Berechnungsverfahrens auf Basis der U-Werte einen Nutz-/Heizwärmebedarf (ohne Warmwasser) von ca. 309 kWh/m²*a auf. Im Falle einer umfassenden Sanierung mit dem Sanierungspaket BEG (Tabelle 18) würde dieser Wert rechnerisch auf ca. 113 kWh/m²*a und bei einer Sanierung mit dem ambitionierteren Sanierungspaket Zukunft (Tabelle 18) sogar auf ca. 30 kWh/m²*a sinken. Daraus ergibt sich ein theoretisches Einsparpotenzial von 196 bzw. 279 kWh/m²*a was 63 bzw. 90 % gegenüber dem Ausgangszustand entspricht. Durch die Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Praxis, die auch das Nutzerverhalten einschließen, sinkt der Nutz-/Heizwärmebedarf im Ausgangszustand jedoch auf 181 kWh/m²*a. Durch die Sanierungsmaßnahmen sind dann Rückgängen auf ca. 105 bzw. ca. 42 kWh/m²*a realistisch. Das Einsparpotenzial sinkt auf 76 bzw. 139 kWh/m²*a was 42% bzw. 77. % des Ausgangszustandes entspricht. Sowohl das absolute als auch das relative (in Prozent) Einsparpotenzial sinken somit unter Einbeziehung der praktischen Erfahrungen deutlich. Bei einem Haus der oben genannten Baualtersklasse mit 120 m² beheizter Fläche beträgt die Differenz zwischen dem theoretischen und realistischen Einsparpotenzial bei der weniger ambitionierten Sanierung ca. 14.400 kWh pro Jahr¹², wodurch sich auch die Amortisationszeit der Maßnahmen erhöht. Dies bedeutet nicht etwa, dass Sanierungsmaßnahmen nicht durchgeführt werden sollten. Es sind jedoch realistische Annahmen zur Höhe des Einsparpotenzials zu treffen. Die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen wird zudem dadurch erhöht, wenn sie mit ohnehin erforderlich Instandsetzungsmaßnahmen verbunden werden.

¹² (Ausgangszustand 309 x 120 – Zustand nach Sanierung GEG 113 x 120) – (Ausgangszustand KOR 181 x 120 – Zustand nach Sanierung GEG KOR 105 x 120) = 14.400

Szenarienbetrachtung: kumulierte Auswirkungen der Sanierungstätigkeit

Im Folgenden sollen in zwei Szenarien die Auswirkungen verschiedener Sanierungsquoten auf die Entwicklung des gesamten Energiebedarfes im Wohngebäudesektor der Stadt simuliert werden. Hierzu wird in Szenario 1 eine Sanierungsquote von 1% angenommen, die in etwa dem langjährigen Mittel der letzten Jahre entspricht. Im Szenario 2 wird eine erhöhte Sanierungstätigkeit von 2 % simuliert, die durch unterschiedliche Anreize oder regulatorische Vorgaben stimuliert werden könnte. Dargestellt wird zudem ein Maximalfall, also die Sanierung des gesamten Gebäudebestandes auf einen bestimmten Zielwert. Als durchschnittlicher Zielwert der Sanierungstätigkeit wird dabei in allen Fällen das Erreichen eines Kennwertes von 65 kWh/m² unterstellt.

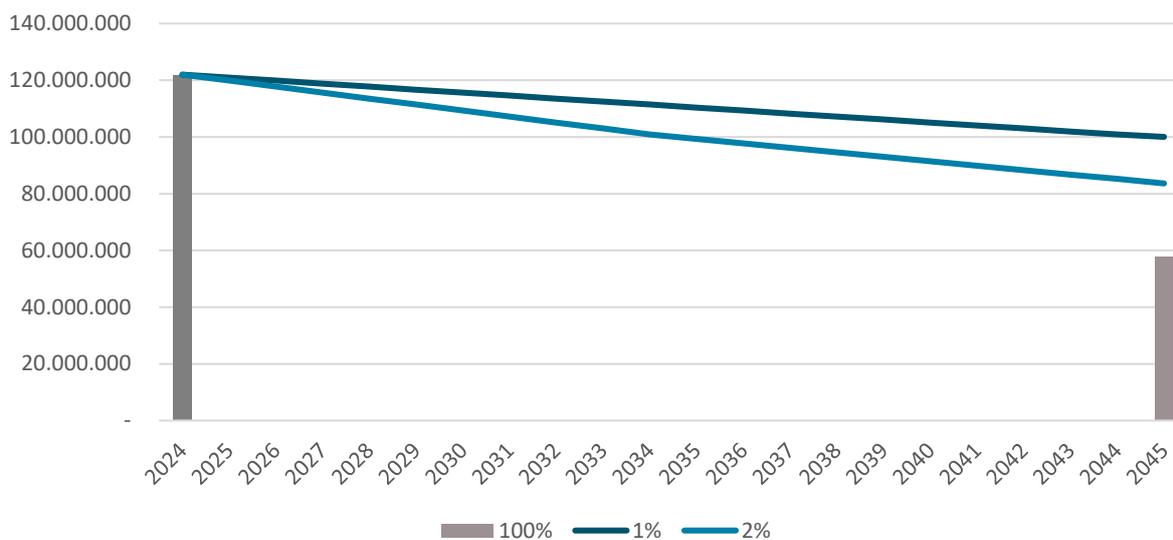


Abbildung 52: Auswirkungen der Sanierungstätigkeit auf den Wärmeenergiebedarf im Wohngebäudesektor(kWh)

Tabelle 21: Einspareffekte durch Sanierungstätigkeit (kWh)

	Wert 2045	Rückgang Absolut	Rückgang relativ
Szenario 1	100.031.493	21.939.108	17,99%
Szenario 2	83.615.832	38.354.769	31,45%
100% Sanierung	57.614.595	64.356.006	52,76%

Ersichtlich ist, dass im realistischen Fall (Szenario 1) ein Rückgang des Wärmebedarfes um lediglich ca. 18 % erreicht wird. Somit kommt der künftigen Gestaltung der Energieversorgung eine wesentliche Rolle zu.

Da nach geltender Gesetzgebung keine Pflicht zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden im Bestand besteht, müssen Gebäudeeigentümer hierzu motiviert werden. Eine deutliche Steigerung der Sanierungsrate über den langjährigen Durchschnitt (ca. 1 % der Gebäudefläche pro Jahr) bedarf erheblicher politischer Anstrengungen, muss mit entsprechenden finanziellen Anreizen verbunden sein und in letzter Konsequenz gegebenenfalls sogar

verpflichtend sein. Die Stimulation kann bspw. durch attraktiv gestaltete Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene erfolgen. Auch die steuerliche Berücksichtigung des energetischen Zustandes des Gebäudes oder der energetischen Modernisierung für selbst genutztes Eigentum schafft Anreize für Modernisierungen. Einen weiteren Anreiz zur Steigerung der Sanierungsrate würden steigende Energiepreise oder eine stärkere Besteuerung des CO₂-Ausstoßes nach sich ziehen. Negativ auf die Sanierungsbereitschaft wirken sich derzeit dagegen hohe Baukosten, steigende Zinsen, die mangelnde Verfügbarkeit von gewissen Baustoffen und insbesondere auch des Handwerks aus. Die Stadt Apolda hat keinen Einfluss auf die zuvor genannten Faktoren und kann lediglich über weiche Instrumente indirekt Einfluss auf die Sanierungsbereitschaft ausüben. Hierbei kommt der Informationsarbeit eine wichtige Rolle zu.

Durch das Aussetzen des KfW-Programm 432 ist die Option der Schaffung eines kostenlosen und neutralen Beratungsangebotes über ein Sanierungsmanagement zum Zeitpunkt der Konzeptfinalisierung nicht gegeben. Sollte das Programm erneut auferlegt werden, bzw. eine entsprechende Alternative geschaffen werden, wird die Nutzung dringend empfohlen.

8.2. Potenziale der Energieerzeugung und Versorgung

8.2.1. Regulatorischer Rahmen

Wie bereits im Kapitel 8.1.1 dargestellt umfasst die zum Zeitpunkt der Finalisierung des vorliegenden Konzeptes geltende Gesetzgebung lediglich partielle Anforderungen an den Heizungstausch, die zahlreiche Ausnahmen enthalten und eine verhältnismäßig einfache Erfüllung erlauben. Zum Zeitpunkt der Konzeptverschriftlichung wurde jedoch eine umfassende Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes vorbereitet, die deutlich weiterreichende Auswirkungen haben wird.

Das zum Zeitpunkt der Konzeptverschriftlichung geltende GEG sieht im §72 eine Pflicht zum Austausch älterer Anlagen vor. Heizungsanlagen (die mit einem flüssigen oder gasförmigen Brennstoff beschickt werden), die vor dem 01.01.1991 eingebaut wurden oder älter als 30 Jahre sind, müssen demnach erneuert werden, sofern es sich nicht um Niedertemperatur- oder Brennwertkessel handelt. Ausgenommen sind zudem Anlagen, deren Nennleistung nicht zwischen kleiner 4 kW oder größer 400 kW ist.

Von der Austauschpflicht ausgenommen sind Eigentümer von Ein- oder Zweifamilienhäusern, die ihr Haus am 1. Februar 2002 selbst bewohnt haben, sofern das Gebäude nicht mehr als zwei Wohnungen aufweist. Damit gilt die Austauschpflicht zunächst vor allem für vermietete Gebäude. Tauschen müssen aber auch selbstnutzende Eigentümer, wenn das Gebäude mehr als 2 Wohnungen hat oder wenn das Haus nach dem 1. Februar 2002 erworben oder geerbt wurde. Als Frist für den Austausch gelten zwei Jahre nach dem Eigentumsübergang. Eine Ausnahmeregelung besteht ebenfalls, wenn der Austausch unwirtschaftlich ist, beispielsweise wenn ein Haus in der Heizperiode nur sporadisch genutzt wird oder wenn ein Abriss ansteht. Fachbetriebe haben die Pflicht, Hausbesitzer über

die Austauschpflicht zu informieren, wenn sie mit Arbeiten an der Anlage beauftragt sind oder für Arbeiten an der Anlage ein Angebot erstellen. Ebenso ist der Bezirksschornsteinfeger verpflichtet, den Eigentümer hinsichtlich der Austauschpflichten zu unterrichten. Falls eine neue Heizungsanlage (inkl. Warmwasser und Wärmeverteilung) installiert werden soll, ist diese GEG-konform auszuführen. Das betrifft nicht nur die Verwendung von bestimmten Wärmeerzeugertypen, sondern auch die Regelungen für die Rohrleitungen und deren Dämmung.

Ab dem 1. Januar 2026 dürfen Heizkessel, die mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff beschickt werden, zum Zwecke der Inbetriebnahme in ein Gebäude nur eingebaut werden, wenn der Wärme- und Kälteenergiebedarf anteilig durch erneuerbare Energien nach Maßgabe der §§ 34 bis 41 gedeckt wird (dies wird z.B. erfüllt durch einen Anteil von Solarthermie am Wärmebedarf von 15 %, die Nutzung von PV¹³, die Nutzung einer Wärmepumpe, eines festen Biomassekessels oder eines Brennwertkessels bzw. BHKWS zur Nutzung flüssiger Biomasse zu Deckung von mindestens 50 % des Wärmebedarf Wärmepumpe usw.).

Ausnahmen bestehen, wenn bei einem bestehenden Gebäude kein Anschluss an ein Gasversorgungsnetz oder an ein Fernwärmeverteilungsnetz hergestellt werden kann, weil kein Gasversorgungsnetz oder kein Verteilungsnetz eines Fernwärmeversorgungsunternehmens am Grundstück anliegt und eine anteilige Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs durch erneuerbare Energien technisch nicht möglich ist oder zu einer unbilligen Härte führt. Sämtliche Regelungen zu den Pflichten ab dem 01.01.2026 sind zudem nicht anzuwenden, wenn die Außerbetriebnahme einer mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff betriebenen Heizung und der Einbau einer neuen nicht mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff betriebenen Heizung im Einzelfall wegen besonderer Umstände durch einen unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte führen.

Deutlich weitreichender sind die Pflichten, die sich künftig aus der im September 2023 verabschiedeten Novelle des Gebäudeenergiegesetzes ergeben. Im Kern wurden folgende Regelungen beschlossen:

1. Für Neubauten im Neubaugebieten gilt, dass ab dem 1.1.2024 jede neu eingebaute Heizung zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden muss. Maßgeblich ist der Zeitpunkt der Bauantragstellung.
2. Die Regelungen für Neubauten in Baulücken sowie Bestandsgebäude werden mit der kommunalen Wärmeplanung verzahnt:
 - a. In Städten >100.000 Einwohner besteht die 65 %-Pflicht mit Implementierung der Wärmeplanung d.h. spätestens ab dem 30.06.2026
 - b. In Städten <100.000 Einwohner besteht die 65 %-Pflicht mit Implementierung der Wärmeplanung d.h. spätestens ab dem 01.07.2028Die Pflicht gilt für Gebiete, für die sich aus der Wärmeplanung weder eine netzbasierte Wärmeversorgung noch klimaneutrale Gasnetze ergeben werden.
3. Bestehende Heizungen können weiter betrieben werden (mit fossilen Energien bis 31.12.2044). Kaputte Heizungen können repariert werden. Wenn eine Erdgas- oder Ölheizung irreparabel defekt ist (Heizungs-

¹³ Die Nennleistung der PV-Anlage in kW muss dabei mindestens das 0,03-fache der Gebäudenutzfläche geteilt durch die Anzahl der beheizten oder gekühlten Geschosse nach DIN V 18599-1: 2018-09 betragen

havarie), gibt es pragmatische Übergangslösungen und mehrjährige (in der Regel fünf Jahre) Übergangsfristen. In Härtefällen können Eigentümer von der Pflicht zum Heizen mit Erneuerbaren Energien befreit werden.

4. Die Regelungen des Gesetzes sind technologieoffen ausgestaltet. Die 65 % Pflicht kann mit folgenden Technologien erfüllt werden:
 - a. Wärmepumpe
 - b. Biomasseheizung (Holz, Hackschnitzel und Pellets)
 - c. Stromdirektheizung (nur in gut gedämmten Gebäuden)
 - d. Wärmepumpen oder Solarthermie-Hybridheizung (Wärmepumpe oder solarthermische Anlage kombiniert mit einem mit Öl oder Gas betriebenen (Spitzenlast-)Heizkessel, oder mit einer Biomasseheizung)
 - e. Heizung auf der Basis von Solarthermie (falls Wärmebedarf damit komplett gedeckt)
 - f. Gasheizung, die nachweislich mindestens 65 % nachhaltiges Biomethan oder biogenes Flüssiggas nutzt
 - g. Für Gasheizungen, die auf 100 % Wasserstoff umgerüstet werden können, gilt: sie dürfen nach 2026 bzw. 2028 nur eingebaut und mit 65 % grünen Gasen betrieben werden, wenn ein verbindlicher und von der Bundesnetzagentur genehmigter Fahrplan für die Umstellung eines Gasnetzes auf Wasserstoff vorliegt.

Neue Gasheizungen dürfen in der Übergangszeit zwischen Anfang 2024 und dem Moment, in dem die Wärmeplanung greift – in Großstädten spätestens Mitte 2026, in kleineren Kommunen spätestens Mitte 2028 – noch eingebaut werden. Das Gesetz sieht in diesen Fällen aber eine verbindliche Beratung beim Einbau von mit flüssigem oder gasförmigem Brennstoff betriebenen Heizungen vor, um auf wirtschaftliche Risiken durch steigende CO₂-Preise für fossile Brennstoffe hinzuweisen. Zudem müssen Alternativen in den Blick genommen werden, etwa auf der Grundlage der Wärmeplanung. Zweitens müssen solche Gasheizungen dann, wenn das Gebäude nach abgeschlossener Wärmeplanung nicht an ein Wärme- oder Wasserstoffnetz angeschlossen werden kann, ab 2029 steigende Anteile Biomethan oder andere grüne Gase nutzen (15 % in 2029, 30 % in 2035 und 60 % in 2040).

Besondere Regelungen gibt es zudem für Mehrparteienhäuser mit Etagenheizungen. Wird in einem solchen Gebäude ab 2024 eine einzelne neue Heizung eingebaut, startet damit eine Frist innerhalb der eine Entscheidung darüber getroffen werden muss, ob das gesamte Gebäude langfristig durch eine zentrale Heizung oder weiterhin durch Einzelheizungen versorgt werden soll. Diese Frist beträgt zunächst 5 Jahre. Eine Wohnungseigentums-Gemeinschaft muss in jedem Fall bis Ende 2024 eine Entscheidung darüber abgegeben haben, ob das laufende Heizsystem weiterbetrieben oder verändert werden soll. Diese Entscheidung ist dem oder der Bezirksschornsteinfeger:in mitzuteilen. Falls sie entscheiden, dass auch zukünftig Einzelheizungen für Wohnungen betrieben werden sollen, muss jede neue Heizung die Vorschriften des GEG erfüllen. Falls sie entscheiden, dass das Gebäude zukünftig mit einer gemeinsamen Zentralheizung versorgt werden soll, dann verlängert sich die Frist ab dem Ausfall der ersten Heizung auf insgesamt 13 Jahre. Danach muss die neue Heizung in Betrieb gehen.

Die Einführung der Pflichten wird durch eine umfangreiche Neugestaltung des Fördersystems begleitet. Hier sind direkte Zuschüsse und Kredite inbegriffen auch die steuerliche Gutschrift ist möglich.

CO₂-Bepreisung

Parallel dazu existiert durch die seit 01.01.2021 eingeführte CO₂-Steuer ein Marktmechanismus, der fossile Brennstoffe kontinuierlich verteuern soll und somit einen zusätzlichen Anreiz für die nachhaltige Gestaltung der Wärmeversorgung (aber auch des Verkehrs) schaffen soll.

Der CO₂-Preis wird auf fossile Brennstoffe und Kraftstoffe erhoben:

- Heizöl (alle Sorten: Normal/Standard als auch Super/Premium)
- Erdgas
- Flüssiggas (verflüssigtes Erdgas/Methan, Propan, Butan und andere)
- Fernwärme (sofern zur Erzeugung Öl oder Gas verbrannt wird)
- Benzin (alle Sorten: Normal, Super, Super plus)
- Diesel
- Flugbenzin
- Kohle (ab 2023)
- Abfälle (ab 2024)

Auch auf Biobrennstoffe fällt teilweise die CO₂-Steuer an, z.B. auf Biogas, Biodiesel oder pflanzliche Öle wie Palmöl, Sojaöl oder Kokosöl, wenn sie zum Heizen oder als Treibstoff dienen (diese Brennstoffe waren 2021 und 2022 von der Steuer befreit). Bei nachhaltigem Biogas wird ein Emissionswert von Null angenommen, so dass kein CO₂-Preis zu zahlen ist. Holzbrennstoffe wie Pellets oder Hackschnitzel sowie Holzkohle und Torf fallen nicht unter das Brennstoffemissionshandelsgesetz (Anlage 1 zu § 2 Abs. 1 BEHG i. V. m. Kombiniertes Nomenklatur).

Die Besteuerung erfolgt beim Markteintritt. Gelangt ein von der Steuer erfasster Brennstoff in den freien Warenverkehr, muss der Händler oder Produzent ein Emissionszertifikat bei der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt kaufen. Dieser Preis wird danach bis an den Endverbraucher weitergereicht.

Die Entwicklung des CO₂-Preises ist in der ersten Phase gesetzlich vorgegeben.

- 2021: 25 Euro / t
- 2022: 30 Euro / t
- 2023: 30 Euro / t (Preiserhöhung ausgesetzt) (zuvor 35 Euro / t vorgesehen)
- 2024: 45 Euro / t (zuvor 35 Euro / t vorgesehen)
- 2025: 55 Euro / t (zuvor 45 Euro / t vorgesehen)
- Ab 2026 beginnt die Versteigerungsphase, wobei für das erste Jahr ein Korridor von 55-65 Euro / t vorgegeben ist.

Die Berechnung des tatsächlichen CO₂-Preises für die einzelnen Energieträger erfolgt auf Grundlage der Emissionswerte entsprechend der aktuellen Emissionsberichterstattungsverordnung 2030 (EBeV 2030) Anlage 2. Da der CO₂-

Preis auch der Mehrwertsteuer unterliegt, muss der errechnete Wert als Netto-Wert betrachtet werden. Die Auswirkung auf den Endverbraucher steigt durch die Einbeziehung der für den jeweiligen Energieträger geltenden Mehrwertsteuer. Zugleich ist zu beachten, dass der Emissionsfaktor auf den Heizwert bezogen ist, sodass bei einer Abrechnung auf Basis von Brennwert eine Umwandlung erfolgen muss (dies ist bspw. bei Erdgas der Fall, wo der Heizwert H_i zu Brennwert H_s je nach Gaszusammensetzung mit einem Faktor von ca. 1,11 zu multiplizieren ist).

Tabelle 22: Standardwerte zur Berechnung von Brennstoffemissionen (EBeV 2030 Anlage 2)

	Umrechnungsfaktor	Heizwert	H_i Emissionsfaktor	Emissionen je Einheit
Heizöl EL	Dichte: 845 kg/1000 l	42,8 GJ/t	74 kg CO ₂ /GJ	0,2664 kg CO ₂ /kWh _{Hi} 2,6763 kg CO ₂ /l 3,1672 kg CO ₂ /kg
Erdgas	3,3 GJ/MWh	1 GJ/GJ	55,8 kg CO ₂ /GJ	0,2009 kg CO ₂ /kWh _{Hi} 0,1814 kg CO ₂ /kWh _{Hs}

In Abbildung 53 werden die Auswirkungen der CO₂-Steuer auf die Energieträger Heizöl und Erdgas dargestellt. Ein Preis von 55 Euro / t hat bei Erdgas einen Anstieg um 1,19 ct/ kWh_{Hs} brutto zu Folge. Das führt bei einem Jahresverbrauch von 25.000 kWh zu einer Mehrbelastung von 296,80 Euro (brutto). Verbraucht ein Haus 2.500 l Heizöl ergibt sich eine Mehrbelastung von 438 Euro (brutto).

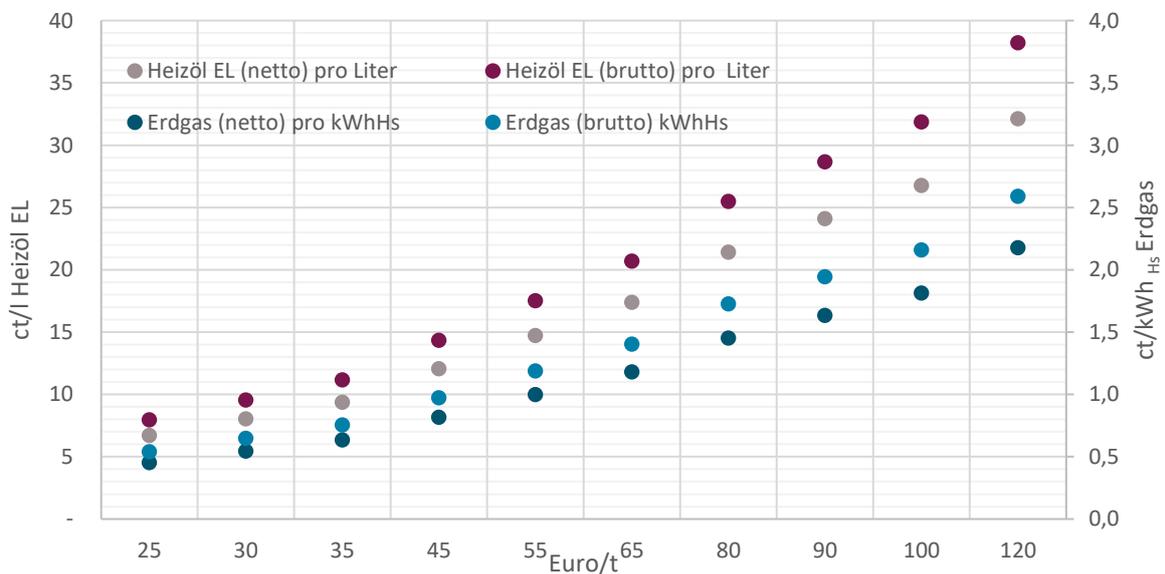


Abbildung 53: Auswirkungen der CO₂-Steuer auf den Preis fossiler Energieträger

Die Preisentwicklung nach dem Jahr 2026 lässt sich aktuell nicht vorhersagen. Prinzipiell soll die Menge der gehandelten Emissionsrechte künftig kontinuierlich im Einklang mit den Reduktionszielen verringert werden, so dass ein stetiger Anstieg des CO₂-Preises zu vermuten ist. Es sind jedoch auch Szenarien möglich, in denen die Preisentwicklung eher stagnierend oder rückläufig sein könnte, so z.B. wenn die Verbrauchsmengen für fossile Energieträger bspw. aufgrund sehr hoher Umstiegsraten auf fossulfreie Heizsysteme schneller sinken sollten, als der vorgesehene

Treibhausgasreduktionspfad der Bundesregierung. Diese Entwicklung erscheint unter den aktuellen Umständen kurz bis mittelfristig unwahrscheinlich, sodass sich die Verbraucher auf steigende CO₂-Preise einstellen sollten. Auf EU-Ebene besteht aktuell bereits ein Emissionshandelssystem (EU ETS), in das insbesondere Großverbraucher eingebunden sind. Für den Sektor Gebäude und Verkehr soll ab 2027 ein zusätzliches Emissionshandelssystem (EU ETS 2) geschaffen werden. Das Europäische Parlament hat hierzu bereits eine Richtlinie beschlossen, die nun noch vom Rat (Regierungsvertreter) verhandelt werden muss (Stand Juli 2023). Es wird ein Preis von ca. 45 Euro / t CO₂ angestrebt, wobei die zur Stabilisierung vorgesehenen Mechanismen von diversen Experten als unzureichend bezeichnet werden, sodass vor einer deutlichen Überschreitung dieser Grenze gewarnt wird. Die Menge der Emissionsrechte in diesem System soll um 5,1 % und ab 2028 um 5,4 % jährlich zurückgehen (Basis ist das Jahr 2025). Das deutsche und europäische System sollen nicht zu einer Doppelbelastung der deutschen Verbraucher führen.

8.2.2. Modernisierung des Heizungssystems

Neben der Gebäudehülle stellt das Heizsystem, die zweiten wesentlichen Komponenten dar, die zur Verringerung des Energieverbrauchs und des Treibhausgasausstoßes führt. Das Heizsystem kann dabei vereinfachend in den Wärmeerzeuger und die Peripherie bestehend aus Regelung, dem Verteilsystem (Rohrleitungen für Vor- und Rücklauf), dem Übergabesystem (Heizkörpern oder Flächenheizungen) zur Abgabe der Heizwärme an den Raum. Oftmals ist ebenfalls ein Puffer- bzw. Kombispeicher ins System integriert. Zudem gehören hierzu auch die Pumpen, die zur Beförderung des Wärmemediums innerhalb des Systems dienen.

Die in Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellten Werte- Nutzwärmebedarf bzw. Heizwärmebedarf – sind nicht mit dem Heizenergieverbrauch gleichzusetzen, der vom Verbraucher in Form der Energieabrechnung bezahlt wird. Beim letzteren handelt es sich um die tatsächlich verbrauchte Wärmeenergie, welche die Bewohner oder Nutzer eines Gebäudes zum Heizen benötigen. Dieser Heizenergieverbrauch wird auch als "Brutto-Heizwärmebedarf" bezeichnet. Die Differenz zwischen den beiden Werten geht – neben dem Nutzerverhalten (wenn abweichend von Standardrahmenbedingungen) – insbesondere auf das Heizungssystem und seine Effizienz zurück. Der Einfluss der Heizungstechnik auf den Heizenergieverbrauch wird über die Endenergieaufwandszahl dargestellt. Diese gibt an wie viele Einheiten an Energie die Heizanlage (z. B. in Form von Erdgas) benötigt, um eine Einheit Wärme im Raum bereitzustellen. Hier fließen die Verluste des Erzeugers sowie die Verluste aus der Heizungsperipherie also der Übergabe, der Verteilung und der Speicherung ein. Beträgt die Aufwandszahl beispielsweise 1,4 muss durch den Wärmeerzeuger 40 % mehr Energie bezogen werden, als die Gebäudehülle eigentlich für die Aufrechterhaltung der Zieltemperatur benötigt.

Die Tabelle 23 zeigt eine Übersicht über die Energieaufwandszahlen unterschiedlicher Heizungssysteme für Gebäude mit unterschiedlichen energetischen bzw. Sanierungszuständen.

Tabelle 23: Endenergie-Aufwandszahlen für die Raumheizung (ohne Hilfsenergie)¹⁴

Zentralheizung, Wärmeschutz Rohrleitungen "mäßig" gedämmt		Einfamilienhaus Heizwärmebedarf qH [kWh/m ² •a]					Mehrfamilienhaus Heizwärmebedarf qH [kWh/m ² •a]				
		50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
Standardkessel (Öl/Gas)	bis 1986	1,99	1,72	1,61	1,54	1,5	1,73	1,52	1,43	1,37	1,34
	1987 - 1994	1,93	1,67	1,56	1,49	1,45	1,68	1,47	1,39	1,33	1,3
	ab 1995	1,87	1,62	1,51	1,45	1,41	1,63	1,43	1,35	1,3	1,26
Niedertemperaturkessel (Öl/Gas)	bis 1986	1,84	1,59	1,49	1,42	1,39	1,68	1,48	1,39	1,33	1,3
	1987 - 1994	1,76	1,52	1,42	1,36	1,32	1,61	1,41	1,33	1,27	1,24
	ab 1995	1,67	1,45	1,35	1,29	1,26	1,55	1,36	1,27	1,23	1,2
Gas-Brennwertkessel	bis 1994	1,61	1,39	1,3	1,24	1,21	1,49	1,31	1,23	1,18	1,15
	ab 1995	1,58	1,37	1,28	1,22	1,19	1,48	1,29	1,22	1,17	1,14
Holz-Kessel		1,93	1,67	1,56	1,49	1,45	1,68	1,47	1,39	1,33	1,3
Elektrowärmepumpe	Außenluft	0,75	0,62	0,57	0,54	0,53	0,72	0,61	0,56	0,54	0,52
	Erdreich	0,57	0,48	0,44	0,42	0,41	0,55	0,46	0,43	0,41	0,4
Fernwärme		1,52	1,32	1,23	1,18	1,15	1,46	1,28	1,2	1,16	1,13
Zentralheizung, Wärmeschutz Rohrleitungen nach HeizAnV / GEG		Einfamilienhaus Heizwärmebedarf qH [kWh/m ² •a]					Mehrfamilienhaus Heizwärmebedarf qH [kWh/m ² •a]				
		50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
Standardkessel (Öl/Gas)	bis 1986	1,61	1,49	1,44	1,41	1,4	1,41	1,33	1,29	1,27	1,26
	1987 – 1994	1,56	1,45	1,4	1,37	1,36	1,37	1,29	1,25	1,23	1,22
	ab 1995	1,51	1,4	1,36	1,33	1,32	1,33	1,25	1,22	1,2	1,19
Niedertemperaturkessel (Öl/Gas)	bis 1986	1,49	1,38	1,33	1,31	1,29	1,37	1,29	1,25	1,23	1,22
	1987 – 1994	1,42	1,32	1,27	1,25	1,24	1,31	1,23	1,2	1,18	1,17
	ab 1995	1,35	1,25	1,21	1,19	1,18	1,26	1,18	1,15	1,14	1,12
Gas-Brennwertkessel	bis 1994	1,3	1,2	1,17	1,14	1,13	1,22	1,14	1,11	1,09	1,08
	ab 1995	1,28	1,18	1,15	1,12	1,11	1,21	1,13	1,1	1,08	1,07
Holz-Kessel		1,56	1,45	1,4	1,37	1,36	1,37	1,29	1,25	1,23	1,22
Elektrowärmepumpe	Außenluft	0,62	0,54	0,52	0,5	0,49	0,6	0,53	0,51	0,5	0,49
	Erdreich	0,47	0,42	0,4	0,39	0,38	0,45	0,41	0,39	0,38	0,38
Fernwärme		1,23	1,14	1,1	1,08	1,07	1,19	1,12	1,09	1,07	1,06
Dezentrale Systeme		Ein- und Mehrfamilienhaus									
Strom-Direkt / Nachtsp.-Hzg.		1,02									
Gas-Raumheizer		1,43									
Öl-Ofen		1,4									
Kohle-Ofen		1,6									
Holz-Ofen		1,6									

¹⁴ <https://www.bbsr-geg.bund.de/>

Die Tabelle berücksichtigt lediglich Entwicklungen bis zum Jahr 2004, sodass für neuere Anlagen durchaus bessere Werte möglich sind. Dessen ungeachtet lassen sich draus mehrere allgemein gültige Erkenntnisse ableiten:

1. Maßnahmen an der Heizungsperipherie (Dämmung der Rohrleitungen) haben erheblichen Einfluss auf die Effizienz des gesamten Heizsystems
2. neuere Heizgeräte weisen höhere Effizienzwerte auf als ältere
3. Brennwertgeräte sind deutlich effizienter als Standardheizkessel und Niedertemperaturgeräte;
4. Wärmepumpen und Fernwärmesysteme weisen die besten Werte auf

Ungeachtet des Alters der Heizungsanlage und der verwendeten Technologie wird eine möglichst effiziente Funktionsweise des Heizungssystems durch die Optimierung der Peripherie und der Einstellungen des Wärmeerzeugers begünstigt. Diese Maßnahmen sind somit in allen Objekten relevant. Denn die Heizungsanlage funktioniert nur dann effektiv, wenn sie auf die Gegebenheiten des jeweiligen Objektes optimal eingestellt ist. Zahlreiche Heizsysteme werden oft mit Werkseinstellungen betrieben, sind nicht optimal hydraulisch abgeglichen, zeichnen sich durch ineffiziente Pumpen, falsch eingestellte Heizkurven usw. aus. Zu den Maßnahmen, die in diesem Bereich ergriffen werden, zählen unter anderem:

- der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage inklusive der Einstellung der Heizkurve
- der Austausch von Heizungspumpen sowie Anpassung der Vorlauftemperatur und der Pumpenleistung
- Maßnahmen zur Absenkung der Rücklauftemperatur bei Gebäudenetzen
- im Falle einer Wärmepumpe auch die Optimierung der Einstellungen der Wärmepumpe
- die Dämmung von Rohrleitungen
- der Einbau von Flächenheizungen, von Niedertemperaturheizkörpern
- der Einbau oder die Optimierung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
- der Einbau von Systemen auf Basis temperaturbasierter Verfahren des hydraulischen Abgleichs

Eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Funktionsweise des Heizsystems ist ein hydraulischer Abgleich. Dieser sorgt dafür, dass die Heizkörper mit der richtigen Wassermenge versorgt werden. Da sich das Wasser im Heizungssystem grundsätzlich den Weg mit dem geringsten Widerstand sucht, fließt es eher durch kurze und dicke statt durch lange und dünne Heizungsrohre. Dadurch kann es zur Unterversorgung einzelner Heizkörper kommen, bspw., wenn diese vom Heizkessel weiter entfernt sind. Bei anderen Heizkörpern kann es wiederum zur Überversorgung kommen, wobei die Thermostatventile aufgrund des hohen Drucks nicht mehr optimal arbeiten. Oft wird bei solchen Problemen einfach die Wassertemperatur oder der Pumpendruck erhöht, um die Temperatur in den unterversorgten Räumen auf das gewünschte Niveau zu bringen. Dies verringert die Effizienz der Heizungssystems zusätzlich. Zudem können hierdurch Geräusche entstehen (Rauschen, Pfeifen, Klackern). Beim hydraulischen Abgleich werden die unterschiedlichen wasserseitigen Widerstände der Heizkörper angeglichen, indem die Komponenten der Heizungsanlage – also Heizkörper, Thermostatventile, Pumpen und Rohre – optimal aufeinander abgestimmt werden. Die Heizkörper werden dadurch stets mit der richtigen Menge Heizwasser versorgt und das Effizienzpotential des Heizsystems voll ausgeschöpft – im Neubau ebenso wie im Bestand.

Die Schätzungen zum Einsparpotenzial durch Maßnahmen an der Heizungsperipherie gehen teils weit auseinander und können oft übertrieben optimistisch sein. Letztendlich hängt die Höhe des Einsparpotenzials auch vom Ausgangszustand ab (Vergleich hierzu auch Werte in Tabelle 23). Die Ergebnisse einer Untersuchung im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energien (BEE) zeigen, dass durch Optimierungsmaßnahmen an der Peripherie Einsparungen von bis zu 12 % möglich sind. In der Studie wurden die Einsparpotenziale durch den Ersatz unterschiedlicher konventioneller Kesseltypen, die jeweils 20 Jahre alt waren (eingebaut 1998), durch moderne Brennwertkessel mit verbesserter Wirkung inkl. der Auswirkungen durch Maßnahmen an der Peripherie untersucht.¹⁵

Tabelle 24: Einsparungen beim Ersatz alter Kessel durch Brennwertkessel

Austauschgerät	Einsparung durch Kesseltausch	Einsparung durch Optimierung Peripherie	Gesamtes Einsparpotenzial
Konstanttemperaturkessel	10-15 %	5-12 %	15-27 %
Niedertemperaturkessel	5-10 %	5-12 %	10-22 %
Brennwertkessel	2-3 %	5-12 %	7-15 %

Obwohl eine optimal eingestellte Peripherie für das effiziente Funktionieren des Heizungssystems wesentlich ist, rückt mit Hinblick auf die Wärmewende der Ersatz von fossil betriebenen Heizungsanlagen durch Systeme auf Basis erneuerbarer oder nachhaltiger Energien in den Vordergrund. Vor diesem Hintergrund soll an dieser Stelle der Vergleich unterschiedlicher Systeme zur dezentralen Wärmeversorgung von Wohnobjekten dargestellt werden. Die Berechnungsergebnisse basieren auf einer Untersuchung des BDEW.¹⁶ Als Referenzobjekt dient ein anlagentechnisch zu sanierendes Bestandsgebäude (Einfamilienhaus mit Wohnfläche 150 m², Nutzfläche 210 m²). Hierbei wird von einem einheitlichen baulichen Wärmeschutz der Gebäudehülle ausgegangen, welcher etwa 20 bis 25 Jahre alte Gebäude bzw. wärmeschutztechnisch teilsanierte ältere Gebäude aufweisen. Diese Rahmenbedingungen treffen auf zahlreiche Objekte im Untersuchungsgebiet zu und erlauben somit eine gute Übertragbarkeit bzw. können als Orientierungshilfe dienen. Als Referenzsystem dient ein Erdgasniedertemperaturkessel.

Bei allen Sanierungsvarianten wird eine Optimierung des Heizungssystems unterstellt. Diese beinhaltet:

- hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage
- Dämmung der Verteilungen für Heizung und Warmwasser
- Einstellung der Heizkurve
- Absenkung der Systemtemperaturen auf 70/55 °C bzw.
- Austausch der Heizflächen für Systemtemperaturen 50/40 °C bei allen Wärmepumpensystemen und der Brennstoffzellenanlage

Die in der BDEW-Untersuchung angesetzten Kosten spiegeln das Niveau des Jahres 2021 wieder und sind somit – nicht vergleichbar mit dem aktuellen Preisniveau. In Bezug auf die Energiekosten wurde somit eine Korrektur

¹⁵ Econsult (2018): Einsparungen von Endenergie und CO₂ beim Ersetzen alter Heizkessel durch Brennwertkessel – eine detaillierte Betrachtung von Einsparpotentialen in Abhängigkeit der Ausgangslage

¹⁶ BDEW: Heizkostenvergleich Altbau 2021

durchgeführt, die neben der Marktentwicklung auch die Einführung der CO₂-Bepreisung berücksichtigen soll. Die Energiekosten basieren auf einer Abfrage in einem Vergleichsportaal (20.07.2023) und betragen für Erdgas 8,9 ct/kWh, für Strom 28 ct/kWh, für Wärmepumpenstrom 23,7 ct/kWh und für Pellets 8 ct/kWh.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den angegebenen Parametern die Wärmepumpen-Systeme insbesondere in Kombination mit PV-Anlagen günstigere Jahresgesamtkosten aufweisen, als gasbasierte Heizungen. Hybrid-Heizungen, Brennstoffzellen-Systeme und Pelletheizungen sind dagegen deutlich teurer. Dies muss nicht zwangsläufig bedeuten, dass die Wärmepumpensysteme für jedes Gebäude die beste oder passende Alternative darstellen. Die Wärmepumpen-Varianten bedürfen einer umfassenden Anpassung des Heizungssystems. Diese ist zwar in den dargestellten Investitionskosten berücksichtigt, jedoch kann sie objektspezifisch sehr stark variieren oder im Einzelfall nicht umsetzbar sein. Ist der Einbau von Niedertemperaturheizkörpern oder Flächenheizsystemen nicht möglich, kann die Wärmepumpe nicht die geforderten Effizienzwerte (Jahresarbeitszahl) erreichen. Die genaue Entscheidung über den einzubauenden Wärmeerzeuger muss daher immer auf Grundlage einer detaillierten Analyse des Ist-Zustandes durch einen Fachplaner erfolgen. Eine Erstberatung sowie ein unabhängiger Vergleich unterschiedlicher Lösungsvarianten kann über eine Beratungsleistung im Rahmen des durch die KfW geförderten Sanierungsmanagements erfolgen. Bei der Entscheidungsfindung ist auch die perspektivische Entwicklung der CO₂-Steuer und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Betriebskosten sowie die fest vorgesehene Frist für die Nutzung fossiler Energieträger zum Heizen (31.12.2044) zu berücksichtigen. Aufgrund der CO₂-Bepreisung ist künftig bei fossilen Energieträgern (Erdgas, Heizöl) mit einer deutlichen Steigerung der Brennstoffkosten zu rechnen, sodass diese Systeme gegenüber nicht-fossilen Heizungen an Attraktivität verlieren werden. Dessen ungeachtet sind die Vorgaben des GEG an neu zu installierende Heizungen zu beachten.

Tabelle 25: Heizkostenvergleich Altbau (Teil 1)

	EFH IST_01		EFH_01		EFH_03		EFH_04		EFH_05		EFH_06		EFH_07		EFH_08	
	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE	Heizung	TWE
spez. Nutzenergiebedarf (Bezug: AN)	83,9	7,8	87	7,6	87	7,6	87	7,6	87	7,6	87	7,6	87	7,6	92,5	96,1
Nutzenergiebedarf	17.593,83	1.635,66	18.243,90	1.593,72	18.243,90	1.593,72	18.243,90	1.593,72	18.243,90	1.593,72	18.243,90	1.593,72	18.243,90	1.593,72	19.397,25	20.152,17
Wärmeenergiebedarf	25736	5547	24669	5433	24669	5209	24669	4756	24669	5433	24669	5557	24669	5692	25254	1667
spez. Primänergiebedarf (Bezug: AN)	190,736		159,874		144,738		133,386		151,36		121,121		95,095		91,256	
primärenergetische Alltagsnutzwandzahl	2,08		1,69		1,53		1,41		1,6		1,21		0,95		0,88	
Energieeffizienzklasse	F		E		D		D		E		E		B		B	
Endenergiebedarf	29.410	5.604	24.339	5.193	24.342	2.295	21.948	2.453	24.339	5.193	38.990	8.315	2.459	8.700	1.667	
Jahresendenergiebedarf	32.645	6.220	27.016	5.764	27.019	2.547	24.363	2.723	27.016	5.764	43.279	-	-	-	-	-
1. WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hilfsenergiebedarf	761		552		598		605		552		127		282		219	
1. WE	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,237	0,237	0,28
2. WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hilfsenergie	€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh		€ / kWh	
Arbeitspreis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. WE	2905	554	2404	513	2405	227	2168	242	2404	513	3852	1971	578	2062	467	
2. WE	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
notwendige Lagermenge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinskosten gelagerte Brennstoffe	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Grundpreis	138		138		138		138		138		138		113		113	
Kosten Hilfsenergie	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	3256	554	2697	513	2710	227	2476	242	2697	513	4025	0	2150	578	2227	467
Stromvergütung/engesparte Strombezugskosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Rückvergütung Energiesteuer	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€		€		€		€		€		€		€		€	
Wärmeerzeuger/Regelung	€		€		€		€		€		€		€		€	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€		€		€		€		€		€		€		€	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€		€		€		€		€		€		€		€	
Hausanschluss	€		€		€		€		€		€		€		€	
Brennstofflagerung	€		€		€		€		€		€		€		€	
Gas-/ Elektronisation	€		€		€		€		€		€		€		€	
Summe Heizung/ TWE	€		€		€		€		€		€		€		€	
Summe Heizung+ TWE	€		€		€		€		€		€		€		€	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung+ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Förderung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung+ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Förderung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung+ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Förderung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung+ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Förderung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung/ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Summe Heizung+ TWE	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Förderung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Demontage	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Wärmeerzeuger/Regelung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Heizflächen geringinvestive Maßnahmen	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Schornstein/ sonst. Baukosten	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Hausanschluss	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Brennstofflagerung	€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a		€ / a	
Gas-/ Elektronisation	€ / a		€ / a													

Tabelle 26: Heizkostenvergleich Altbau (Teil 2)

	EFH_09		EFH_10		EFH_11		EFH_12		EFH_13		EFH_14		EFH_15	
	Heizung	TWE												
EFH Altbau (Nutzfläche A_N: 209,7 m², Wohnfläche: 150 m²)														
spez. Nutzenergiebedarf (Bezug: AN)	kWh/m²a	92,5	7,6	92,5	7,6	92,5	7,6	92,5	7,6	92,5	7,6	87	7,6	87
Nutzenergiebedarf	kWh/a	19.397,25	1.593,72	19.397,25	1.593,72	19.397,25	1.593,72	19.397,25	1.593,72	19.397,25	1.593,72	18.243,90	1.593,72	18.243,90
Wärmeenergiebedarf	kWh/a	24.325	5.692	24.325	5.692	24.325	5.692	24.325	5.692	24.325	5.692	24.669	5.692	24.669
spez. Primärenergiebedarf (Bezug: AN)	kWh/m²a	74,074		63,063		69,069		117,16		75,075		34,056		33,11
primärenergetische Aufgenuhfwandszahl		0,74		0,63		0,69		1,16		0,75		0,36		0,35
Energieeffizienzklasse		B		B		B		C		A		E		E
Endenergiebedarf														
Jahresstromeingehbedarf	kWh (Hh)													
1. WE	kWh (Hh)	8.315	2.439	8.315	2.439	8.315	1.897	4.646	1.296	5.919	2.277	27.136	5.509	27.160
1. WE	kWh (Hh)	-	-	-	-	-	-	5.157	14.38	-	-	-	-	-
2. WE	kWh (Hh)	0	0	0	0	0	0	6.873	25.39	0	0	0	0	0
Hilfsenergiebedarf	kWh	282		282		282		577		525		394		443
1. WE	€/kWh	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,089	0,089	0,237	0,237	0,08	0,08	0,08
2. WE	€/kWh	-	-	-	-	-	-	0,237	0,237	-	-	-	-	-
Hilfsenergie	€/kWh	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,28	0,28	0,28
1. WE	€/a	1971	578	1971	578	1971	450	459	128	1403	540	2171	441	2173
2. WE	€/a	-	-	-	-	-	-	1.629	602	-	-	-	-	-
notwendige Lagermenge	l bzw. t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-	6,2
Zinskosten gelagerte Brennstoffe	(€/a)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	16
Grundpreis	(€/a)	113		113		113		246		113		-		-
Kosten Hilfsenergie	(€/a)	67		67		67		137		124		110		124
Summe Heizung/TWE	(€/a)	2150	578	2150	578	2150	450	2471	730	1640	540	2298	441	2313
Stromvergütung/eingesparte Strombezugskosten	(€/a)	-1.051		-1.303		-1.047		0		0		0		0
Rückvergütung Energesteuer	(€/a)	0		0		0		0		0		0		0
Summe	(€/a)	1678		1426		1553		3200		2180		2739		2574
Demontage	€	520		520		520		520		520		400		400
Wärmeerzeuger/Regelung	€	26.100	2.700	34.800	2.700	25.600	4.600	18.600	17.100	14.100	2.700	25.600	2000	14.100
Heizflächen/geringinvestive Maßnahmen	€	5000		5000		5000		5000		5000		1500		1500
Schornstein/sonst. Baukosten	€	0		0		0		12500		1700		1700		1700
Hausanschluss	€	0		0		0		0		0		0		0
Brennstofflagerung	€	0		0		0		0		0		3500		3500
Gas-/Elektronstallation	€	400	100	400	100	400	100	800	100	400	100	500	100	500
Summe Heizung/TWE	€	32020	2800	40720	2800	31520	3900	25820	100	35520	2800	21700	2100	21700
Summe Heizung+TWE	€	34820		43520		35420		29200		38320		23800		29000
Förderung	€	7447		7447		7657		7156		12522		7965		9785
Demontage	(€/a)	35		35		35		35		35		27		27
Wärmeerzeuger/Regelung	(€/a)	1571	165	2016	165	1537	253	1241	0	1046	165	1097	122	1097
Heizflächen/geringinvestive Maßnahmen	(€/a)	235		235		235		235		235		90		90
Schornstein/sonst. Baukosten	(€/a)	0		0		0		29		398		54		54
Hausanschluss	(€/a)	0		0		0		0		0		0		0
Brennstofflagerung	(€/a)	0		0		0		0		0		0		0
Gas-/Elektronstallation	(€/a)	13	3	13	3	13	3	25	3	13	3	16	3	16
Summe Heizung/TWE	(€/a)	1854	168	2299	168	1820	257	1564	3	1723	168	1502	125	1502
Förderung	(€/a)	-467		-467		-486		-440		-620		-544		-652
Summe Heizung+TWE	(€/a)	1555		2000		1591		1127		240		1083		1285
Wartung/Schornsteinföhrgebühren	(€/a)	250		250		240		370		240		500		525
Instandhaltungskosten	(€/a)	225		225		235		360		370		615		650
Heizkostenbrechung	(€/a)	0		0		0		0		0		0		0
Yersicherung	(€/a)	88		88		88		88		88		88		88
Summe Heizung+TWE	(€/a)	3049	746	3242	746	3000	707	4325	733	3553	708	4371	566	4338
Jahresgesamtkosten	(€/a)	3795		3988		3707		5057		4061		4937		5034
Kostenindex		87%		91%		85%		115%		93%		113%		115%

8.3. Potenziale aus erneuerbaren Energien

8.3.1. Sonnenenergie

Wie im Kapitel 4.3 dargestellt, sind auf dem Stadtgebiet bereits 9,6 MWp PV-Anlagen installiert. Die Photovoltaikanlagen wandeln mittels Halbleitertechnologie Sonnenenergie in elektrische Energie um, während Solarthermieanlagen durch die Absorption von Sonnenstrahlen mittels thermischer Kollektoren Wärme erzeugen. Diese erzeugte Wärme wird anschließend zur Wassererwärmung oder Raumheizung genutzt. Zusätzlich finden auch Hybridsysteme Verwendung, die aufgrund ihrer hohen Effizienz besonders bei begrenzten Flächen eingesetzt werden.

Die effektive Nutzung von Solarenergie ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wobei die Ausrichtung der Dachfläche einen maßgeblichen Einfluss auf den erzielbaren Ertrag der Anlage hat. Die höchsten Erträge werden bei einer südlichen, südöstlichen oder südwestlichen Ausrichtung erwartet, während auch östliche oder westliche Ausrichtungen gute Ergebnisse liefern können. Dies macht sie grundsätzlich ebenfalls für die Nutzung von Sonnenenergie geeignet. Ein weiterer entscheidender Faktor für den Ertrag ist die Dachneigung. Die optimale Nutzung der Sonnenenergie erfolgt, wenn das Sonnenlicht im rechten Winkel auf die Anlage trifft. Aufgrund der jahreszeitlichen Veränderungen im Einstrahlwinkel der Sonne variiert die ideale Dachneigung je nach Art der Nutzung.

Für Solarthermieanlagen zur Trinkwassererwärmung, die vorwiegend im Sommer genutzt werden, eignet sich ein geringerer Neigungswinkel von etwa 30 bis 50 Grad aufgrund des höheren Sonnenstands. Solarthermie zur Heizungsunterstützung, die in den Übergangsmonaten im Frühjahr und Herbst Verwendung findet, erzielt eine optimale Leistung bei einer Neigung von etwa 45 bis 70 Grad, da die Sonne zu dieser Zeit tiefer am Himmel steht. Eine zu hohe Ertragsleistung im Sommer kann aufgrund des geringeren Wärmebedarfs nur begrenzt genutzt werden und könnte zu Stagnation führen.

Für Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung liegt die optimale Dachneigung in Deutschland zwischen 35 Grad und 45 Grad, wobei im Norden eine steilere Dachneigung vorteilhaft ist. In Deutschland ist neben direkter Sonnenstrahlung auch ein hoher Anteil an diffuser Strahlung vorhanden, wodurch Dächer mit Abweichungen von der optimalen Neigung für die Nutzung von Sonnenenergie geeignet sind. Um auch Flachdächer und Dächer mit geringem Neigungswinkel nutzbar zu machen, kann eine Aufständigung der Anlage auf dem Dach vorgenommen werden. Außerdem wirken sich mögliche Verschattungen der Anlage auf dessen Ertrag aus und sollten bei der Planung der Anlage Berücksichtigung finden. Zu großflächigen Verschattungen kommt es häufig durch Bäume oder größere Gebäude in der Umgebung. Aber auch kleinere Verschattungen z.B. durch Satellitenschüsseln oder Schornsteine beeinflussen den Ertrag der Anlage. Die Bedingungen für die Nutzung von Sonnenenergie sind in Apolda bei einer jährlichen globalen Einstrahlung von ca. 1.021 – 1.100 kWh/a bei einer idealen Südausrichtung als gut zu bewerten.

In der nachfolgenden Tabelle wurden die im Jahr möglichen Anlagenerträge pro 1kWp Anlagengröße (ca. 8m² PV Anlage) in Abhängigkeit der Dachneigung, sowie der Südabweichung des Daches für Apolda dargestellt.

Tabelle 27: Jährlicher Anlagenertrag in kWh/kWp am Standort Apolda in Abhängigkeit von Dachneigung und -ausrichtung

	Südabweichung														
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
30°	967	965	961	959	954	946	941	935	923	917	903	875	847	818	788
35°	973	970	966	963	957	947	942	934	920	913	899	871	838	804	769
40°	979	976	970	967	960	947	942	933	917	908	895	867	828	789	750
45°	970	966	960	956	950	941	935	926	909	900	884	852	812	771	729
50°	961	957	950	946	942	934	930	919	901	892	874	838	796	753	708
55°	941	938	934	931	926	916	910	900	881	871	852	815	774	732	688
60°	921	920	918	917	910	899	892	880	861	850	831	792	753	711	667

Die nachfolgende Tabelle präsentiert eine vereinfachte wirtschaftliche Analyse für Photovoltaikanlagen auf Gebäuden mit unterschiedlichen Dachausrichtungen, wobei alle drei Gebäude eine Dachneigung von 40 Grad aufweisen. Das erste Gebäude ist ideal nach Süden ausgerichtet, während die anderen beiden Gebäude um 25 Grad bzw. 75 Grad von der idealen Südausrichtung abweichen. Die Darstellungen berücksichtigen weder mögliche Strompreissteigerungen (statische Betrachtung) noch eine Kapitalverzinsung (es wird angenommen, dass die Anlage ohne Kreditaufnahme aus Eigenmitteln finanziert wird und diese Eigenmittel anderweitig nicht angelegt sind). Hingegen werden eine Pauschale für die Anlagenwartung sowie erhöhte finanzielle Aufwendungen für die Versicherung berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter den aktuellen Förderbedingungen und selbst ohne Einbeziehung eines Anstiegs der Strompreise die Anschaffung einer PV-Anlage in allen drei Fällen vorteilhaft ist. Die Systemkosten können bei idealer Südausrichtung und einer Abweichung um 25 Grad allein durch die Einsparung des Netzstrombezugs gedeckt werden. Die erzielte Einspeisevergütung ermöglicht die Deckung der laufenden Kosten. Selbst bei einer Abweichung von der idealen Südausrichtung um 75 Grad lassen sich die System- und Wartungskosten durch die Einsparung der Strombezugskosten und der Einspeisevergütung decken. Die Stromgestehungskosten variieren je nach Ausrichtung über die gesamte Laufzeit betrachtet (inklusive Wartung und Versicherung) zwischen 9,8 und 11,9 Cent pro Kilowattstunde (netto). Eine potenzielle Erhöhung der Strompreise würde die Gesamtwirtschaftlichkeit des Systems weiter steigern.

Tabelle 28: Beispielhafte Stromgestehungskosten für verschiedene Ausrichtungen

	0°	25°	75°
Systemkosten bei einer Leistung von 4 kWp (ca. 32m² Dachfläche)	5.600 Euro	5.600 Euro	5.600 Euro
Wartung und Versicherung (über 20 Jahre) pauschal 1,7 %*a	1.904 Euro	1.904 Euro	1.904 Euro
Ertrag	979 kWh/kWp	950 kWh/kWp	808 kWh/kWp
Ertrag über 20 Jahre (Leistungsreduzierung 0,25% * a)	76.460 kWh	73.961 kWh	63.105 kWh
Vergütung (bis 08/2024)	8,11 ct/kWh	8,11 ct/kWh	8,11 ct/kWh
Eigenverbrauch	25 Prozent	25 Prozent	25 Prozent
Kumulierte Einspeisevergütung (75 % des Stromertrags)	4.651 Euro	4.499 Euro	3.838 Euro
Einsparung durch Eigenverbrauch (25 % des Stromertrags bei Stromkosten von 30 ct/kWh)	5.734 Euro	5.547 Euro	4.733 Euro
Stromgestehungskosten	9,8 ct/kWh	10,1 ct/kWh	11,9 ct/kWh

Es bestehen zahlreiche Portale, auf denen man die Eignung seines Daches für die Installation einer PV-Anlage prüfen und auch den möglichen Ertrag bzw. die Wirtschaftlichkeit darstellen kann. Beispielhaft wird hier auf den Thüringer Solarrechner verwiesen: <https://solarrechner-thueringen.de/#s=solarinfotext;vorteile>

Freiflächen-Anlagen

Mit einem wachsenden Interesse an PV-Anlagen haben sich Freiland-Solaranlagen als eine attraktive Alternative zu herkömmlichen Photovoltaiksystemen auf Dächern entwickelt. Diese Anlagen, die auf freiem Feld errichtet werden, bieten den Vorteil, dass sie nicht durch die räumlichen Gegebenheiten eines Gebäudes beschränkt sind. Aktuell sind diese Systeme oft in großem Maßstab umgesetzt, mit Anfangskapazitäten ab 5 kW und der Möglichkeit, auf mehrere Megawatt zu erweitern, um so den Strombedarf ganzer Gemeinden oder Industriegebiete zu decken. Die erzeugte Elektrizität fließt direkt in das allgemeine Versorgungsnetz und trägt somit zur Energieversorgung bei. Obwohl die Beantragung von Fördermitteln nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) für Freiland-Solaranlagen komplexer ist als bei kleineren Systemen stellt die Investition in solche Anlagen unter den derzeitigen Förderbedingungen eine überlegenswerte und profitable Entscheidung dar.

Wie bereits erwähnt gibt es im Quartier bereits einige Freilandanlagen und eine Reihe an großflächigen Dachanlagen, die einen wesentlichen Teil der gesamten installierten Leistung der Gemeinde ausmachen. Um das Potential für weitere Entwicklungen in diesem Bereich zu erkunden, werden insbesondere die in Abbildung 56 dargestellten Flächen in Betracht gezogen. Aus einem Entwurf der Energieversorgung Apolda geht hervor, dass auf diesen Flächen eine PV-Leistung von ca. 22 MWp installiert werden könnte, die einen jährlichen Energieertrag von 22 GWh

liefern würde. Die Freiflächen PV-Anlagen würden ungefähr 20% des derzeitigen Stromverbrauchs im Untersuchungsgebiet decken und stellen deshalb einen entscheidenden Schritt zur weiteren Nutzung erneuerbarer Energiequellen dar.

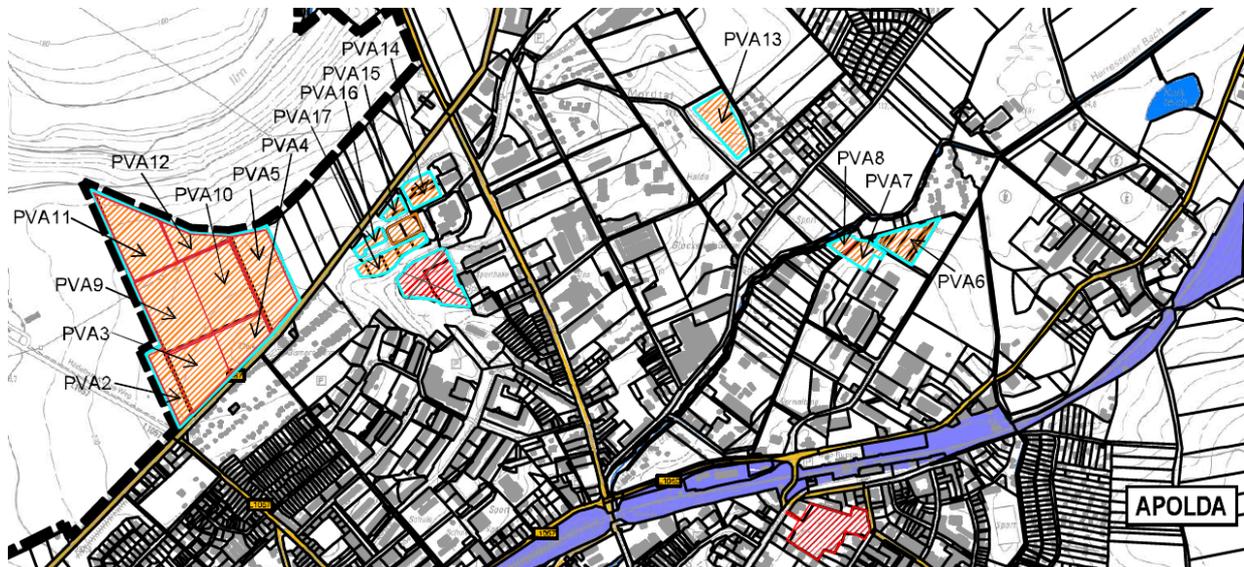


Abbildung 56: Mögliche Gebiete für zukünftige Freiland-Solaranlagen

Anlagen auf Dachflächen

Um das theoretische Potenzial der Energieerzeugung durch Photovoltaikanlagen auf den Dächern innerhalb des Quartiers abzuschätzen, wurden aktuelle Luftbilder des Gebäudebestands im Quartier analysiert und mithilfe von Geoinformationssystemen (GIS) erfasst und ausgewertet. Die Datengrundlage setzt sich aus den offiziell veröffentlichten Gebäudekörper aus dem ALKIS Thüringen und dem Rasterdatensatz für die solare Einstrahlung zusammen.

Folgende Schritte wurden zur Ermittlung des Potentials durchgeführt:

- **Klassifizierung nach Dachform** der Datensatz bietet verschiedene Kategorien: Satteldach, Walmdach, Flachdach, Turmdach, Bogendach und andere Dachformen. Gebäude, die aufgrund ihrer geringen Grundfläche oder ihrer Dachform als ungeeignet erschienen, wurden ausgeschlossen. Dies betraf nur eine minimale Anzahl der vorhandenen Dächer. Zudem wurden Rasterzellen mit einer Neigung von mehr als 60° und einem Einstrahlungswert von unter 600 kWh/m² entfernt.
- **Berücksichtigung der Dachausrichtung:** die sinnvoll nutzbare Dachfläche hängt von der Ausrichtung ab. Besonders Dächer, die nach Norden ausgerichtet sind und somit ein geringeres Einstrahlungspotenzial aufweisen, werden prinzipiell nicht für die Installation von Photovoltaikmodulen genutzt. Diese Abwägung führt zu einer Reduzierung der gesamten nutzbaren Dachfläche je nach Dachart und Ausrichtung.
- **Grenzen der gesamtheitlichen Betrachtung:** im Rahmen der Analyse erfolgte keine Einschätzungen bezüglich der Baufähigkeit, Bewohnbarkeit oder Nutzung der Gebäude. Es werden Flächen ohne Berücksichtigung von spezifischen Zustandsmerkmalen oder Nutzungseigenschaften der Gebäude inkludiert.

Ergebnisse

Die durchgeführte Analyse der verfügbaren Dachflächen im Quartier liefert eine theoretische Abschätzung des Potenzials für PV-Energiegewinnung. Dabei ist zu betonen, dass es sich um eine explorative Berechnung handelt, die auf verschiedenen Annahmen basiert. Das Hauptziel dieser Rechnung besteht darin, die Größenordnung des Potenzials aufzuzeigen und ein generelles Verständnis für die Möglichkeiten der Nutzung von Photovoltaikanlagen auf den Dächern zu vermitteln. Die Flächenpotenziale der Dachflächen betragen insgesamt 3.233.000 m² und verteilen sich auf die unterschiedlichen Dacharten wie folgt:

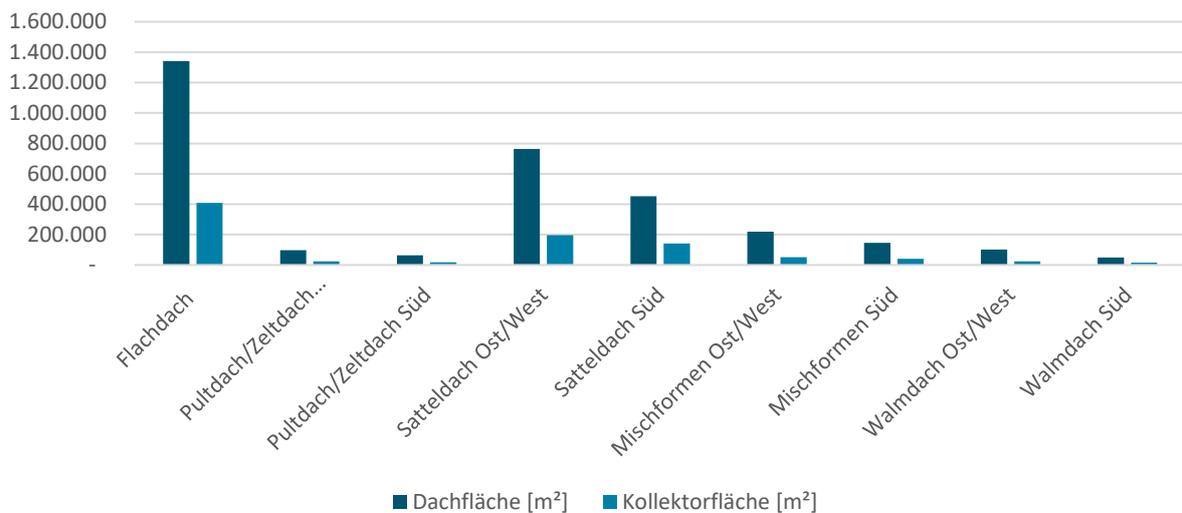


Abbildung 57: Dach- und Kollektorfläche für PV-Potentiale (Eigene Darstellung)

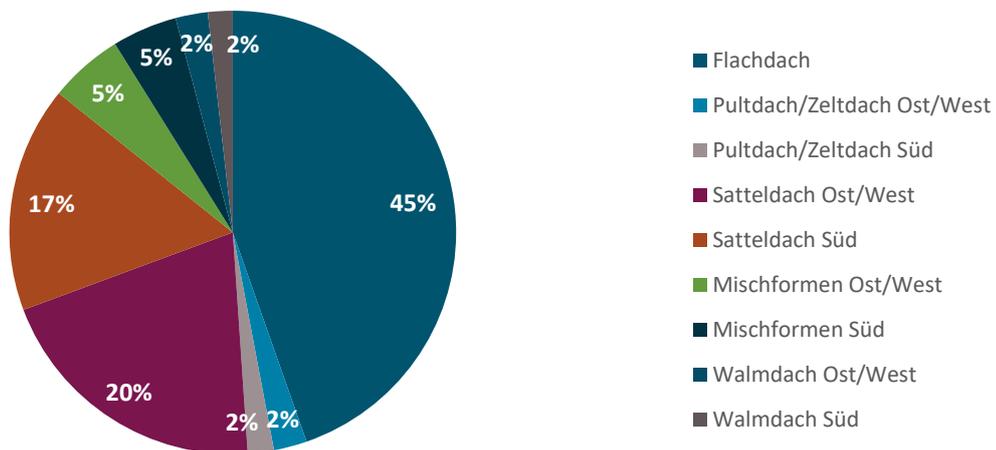


Abbildung 58: Ertragsanteile bezogen auf die Dachart und Ausrichtung (Eigene Darstellung)

Die durchgeführte Analyse der verfügbaren Dachflächen im Quartier liefert eine theoretische Abschätzung des Potenzials erneuerbarer Energiegewinnung durch Photovoltaikanlagen. Basierend auf verschiedenen Annahmen wurde die Größenordnung des Potenzials für jede Dachart und Ausrichtung ermittelt. Die Gesamtfläche der für Photovoltaik genutzten Module beträgt ungefähr 878.600 Quadratmeter. Dies macht 28 % der gesamten Dachfläche der einbezogenen Gebäude aus. Aus dieser Fläche ergibt sich ein theoretisches jährliches Energieerzeugungspotenzial von rund 815 GWh durch die Nutzung von Photovoltaik-Technologien. Das entspricht mehr als dem derzeitigen Energieverbrauch des Untersuchungsgebiets. Diese Berechnungen bieten Einblicke in die Möglichkeiten der Nutzung von Photovoltaik auf den Dächern. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass es sich um eine explorative Rechnung mit vielen Annahmen handelt, die lediglich das generelle Potenzial aufzeigt.

Tabelle 29: Übersicht der Ergebnisse

Dachtyp	Dachausrichtung	Anzahl	Dachfläche [m ²]	Kollektorfläche [m ²]	Ertrag [MWh/a]	Ø Kollektor-ertrag [kWh/m ² /a]
Flachdach		7.241	1.340.140	407.900	363.700	891
Pultdach/Zeltdach	Ost/West	1.468	97.270	23.800	19.600	824
Pultdach/Zeltdach	Süd	886	64.490	16.900	15.400	908
Satteldach	Ost/West	5.539	762.830	196.200	166.100	846
Satteldach	Süd	3.510	451.990	141.500	134.300	949
Mischformen	Ost/West	2.687	220.310	52.400	43.700	833
Mischformen	Süd	1.671	144.89	41.500	38.400	925
Walmdach	Ost/West	1.307	101.250	23.200	19.000	821
Walmdach	Süd	655	49.840	15.200	14.600	966
Summe		24.964	3.233.000	918.400	814.800	890

Balkonkraftwerke

In den letzten Jahren hat sich der Trend neben den "klassischen" PV-Anlagen auch vermehrt in Richtung Balkonkraftwerke entwickelt. Diese Lösungen können in der Regel unabhängig von den Wohnverhältnissen installiert werden und sind zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Konzeptes auf eine Leistung von 600 W begrenzt (Erhöhung auf 800 W wird diskutiert). Der erzeugte Strom wird durch einen Wechselrichter direkt in über eine Steckdose eingespeist, wodurch der Stromverbrauch in der eigenen Wohnung reduziert werden kann. Grundsätzlich besteht auch für diese Anlagen die Möglichkeit der Inanspruchnahme der EEG-Förderung, jedoch sind die damit einhergehenden Mehraufwände (Zweirichtungszähler) höher, als der erzielbare Ertrag, sodass die Nutzung der Einspeisevergütung unter den zum Zeitpunkt der Konzepterstellung geltenden Bedingungen nur bedingt sinnvoll ist. Derzeit wird jedoch zwischen den Koalitionspartnern das Solarpaket I verhandelt, welches zur Entbürokratisierung der Balkonkraftwerke führen würde.

8.3.2. Mieterstrom

Um die Ausweitung von PV-Anlagen auch auf Gebäude mit reinen Mietwohnungen zu unterstützen und die Bewohner an den Vorteilen der Stromerzeugung zu beteiligen, bestehen sog. Mieterstrom-Modelle. Dabei ist es möglich, den Strom, der auf dem Dach eines Mietshauses erzeugt wird, direkt an die Mieter weiterzugeben. In der Praxis übernimmt der Vermieter üblicherweise die Stromvermarktung an seine Mieter nicht selbst, sondern beauftragt Dritte mit dieser Aufgabe. Bei diesen Dritten handelt es sich häufig um auf Energiedienstleistungen spezialisierte Unternehmen. Anders als beim Strombezug aus dem Netz entfallen zwar Netzentgelte, netzseitige Umlagen, die Stromsteuer, die Konzessionsabgabe und seit dem 01.01.2023 auch die EEG-Umlage, allerdings verursachen Mieterstrommodelle für den Anbieter zusätzlichen Aufwand für Vertrieb, Messwesen und Abrechnung (einschließlich Stromkennzeichnung). Die Förderung des solaren Mieterstroms soll die bestehende Wirtschaftlichkeitslücke schließen und damit PV-Anlagen für Miethäuser attraktiver machen. In Apolda fallen zahlreiche Wohnobjekte in die Kategorie von Mehrparteien-Mietobjekten. Für diese Häuser kann das Mieterstrommodell eine Möglichkeit darstellen, die Bewohner an der Energiewende aktiv partizipieren zu lassen.

Die folgenden Ausführungen basieren auf Hinweisen der Bundesnetzagentur¹⁸ und sollen den Vermietern als erste Hilfestellung für die energetische Nutzung der Dachflächen ihrer Objekte dienen.

Es gibt nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) unterschiedliche Fördermöglichkeiten für Solaranlagen auf Mehrparteiengebäuden oder vermieteten Wohngebäuden. Für die Erschließung der Dachflächen für die Solarstrom-Erzeugung kommen im Wesentlichen zwei verschiedene Konzepte in Betracht:

- Volleinspeisungs-Modell (mit erhöhter Einspeisevergütung oder Marktprämie) – dieses Modell wird bereits auf mehreren Objekten der HWG praktiziert - oder
- Mieterstrom-Modelle (mit oder ohne EEG-Förderung per „Mieterstromzuschlag“) und Überschusseinspeisung (mit Einspeisevergütung oder Marktprämie).

Volleinspeisungs-Modell

Die erhöhte EEG-Förderung für Solaranlagen in Volleinspeisung ist eine besonders unkomplizierte und sicher kalkulierbare Fördermöglichkeit – gerade auch für die Erschließung der Dächer von Mehrparteien- oder vermieteten Wohngebäuden. Speist der Anlagenbetreiber den mit der Solaranlage erzeugten Strom vollständig in das Netz ein, kann er dafür nach gesetzlichen Vorgaben eine erhöhte Einspeisevergütung oder – je nach EEG-Veräußerungsform – eine erhöhte Marktprämie in Anspruch nehmen (§ 48 Abs. 2a EEG 2023). Dies ist auch per kaufmännisch-bilanzieller Einspeisung möglich (Hinweis 2021/2 zur kaufmännisch-bilanziellen Einspeisung¹⁹). Für den eingespeisten Strom kann er keinen „Mieterstromzuschlag“ zusätzlich in Anspruch nehmen. Die Letztverbraucher im Haus werden in diesem Fall regulär vom Stromlieferanten ihrer Wahl versorgt.

¹⁸ <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEGAufsicht/Mieterstrom/start.html>

¹⁹ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Hinweispapiere/Hinweis_kaufmannische.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Volleinspeisung auf Mehrparteiegebäuden

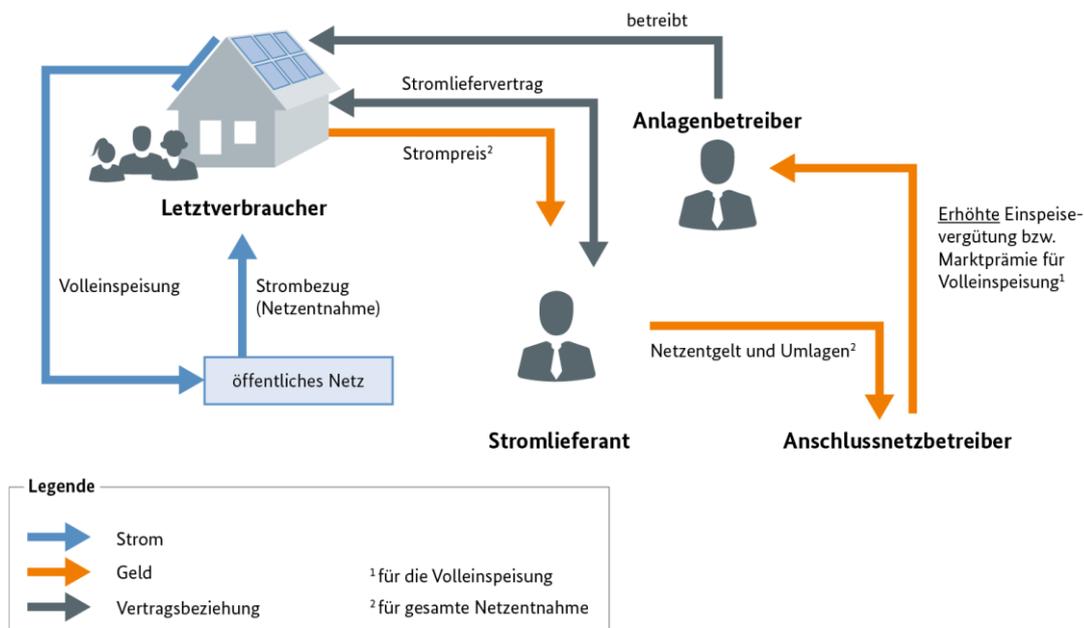


Abbildung 59: Schematische Darstellung Volleinspeisung auf Mehrparteiegebäuden ²⁰

Mieterstrom-Modelle

Mieterstrom-Modelle sind in der Praxis verschieden ausgestaltet. Gemeinsam ist diesen Vermarktungsmodellen im Allgemeinen, dass

- der Strom vor Ort mit einer Solaranlage, einem BHKW oder einer ähnlichen Erzeugungsanlage erzeugt,
- vorrangig an die Hausbewohner (ohne Nutzung des Netzes) innerhalb der Kundenanlage geliefert und im Gebäude verbraucht sowie
- im Übrigen als „Überschusseinspeisung“ in das Netz gespeist wird.

Modelle dieser Art werden seit vielen Jahren praktiziert. Es gibt sie in verschiedenen Varianten mit und ohne EEG-Förderung. Gemeinsam ist den Modellen, dass auf den innerhalb der Kundenanlage erzeugten, gelieferten und verbrauchten „Mieterstrom“ keine Netzentgelte, Umlagen und Abgaben anfallen. Ein wesentlicher Teil der Rentabilität resultiert in der Regel aus diesen Einsparungen. Mit dem Entfall der EEG-Umlage zum 1. Januar 2023 (und ihrer vorherigen Absenkung auf null Euro zum 1. Juli 2022) hat sich die wirtschaftliche Attraktivität für Mieterstrom-Lieferungen erhöht. Die Umlage war zuvor auch bei Lieferungen innerhalb der Kundenanlage zu zahlen. Die entfallene EEG-Umlage entlastet somit alle Mieterstrom-Lieferanten unmittelbar.

Bei Mieterstrom-Modellen mit Solaranlagen kann der Anlagenbetreiber nach den gesetzlichen Vorgaben des EEG eine zweifache Förderung in Anspruch nehmen:

²⁰ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/Solaranlagen/Solar_Mehrparteien/start.html

- zum einen den „Mietstromzuschlag“ für die Mieterstrom-Liefermengen und
- zum anderen die Einspeisevergütung (oder Marktprämie) für die Überschusseinspeisung ins Netz.

Grundmodell: EEG-geförderte Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers

Stark vereinfacht dargestellt, liefert der Betreiber der Solaranlage in diesem Grundmodell seinen selbst erzeugten (Mieter-) Strom nach Verfügbarkeit und Bedarf an die Letztverbraucher des Hauses, auf dem die Solaranlage errichtet wurde. Ergänzend liefert er auch alle anderen Strommengen, die diese verbrauchen, wenn die Sonne nicht scheint oder der Solarstrom nicht ausreicht, indem er diesen (Zusatz-) Strombezug aus dem Netz zukauf. Der Anlagenbetreiber ist in diesen Modellen zugleich der Stromlieferant der Hausbewohner und muss die damit verbundenen Pflichten einhalten. Dazu gehören u. a. besondere verbraucherschutzrechtliche Anforderungen an EEG-geförderte Mieterstromverträge. Es bleibt ihm freigestellt, die Hilfe eines Dienstleisters in Anspruch zu nehmen.

Die (Überschuss-) Einspeisung ins Netz wird im Fall der Einspeisevergütung vom Netzbetreiber bilanziert und über den EEG-Ausgleichsmechanismus zugunsten des EE-Kontos vermarktet. Im Falle einer Direktvermarktung kümmert sich der beauftragte Direktvermarkter um die Bilanzierung und Vermarktung.

Grundmodell: Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers

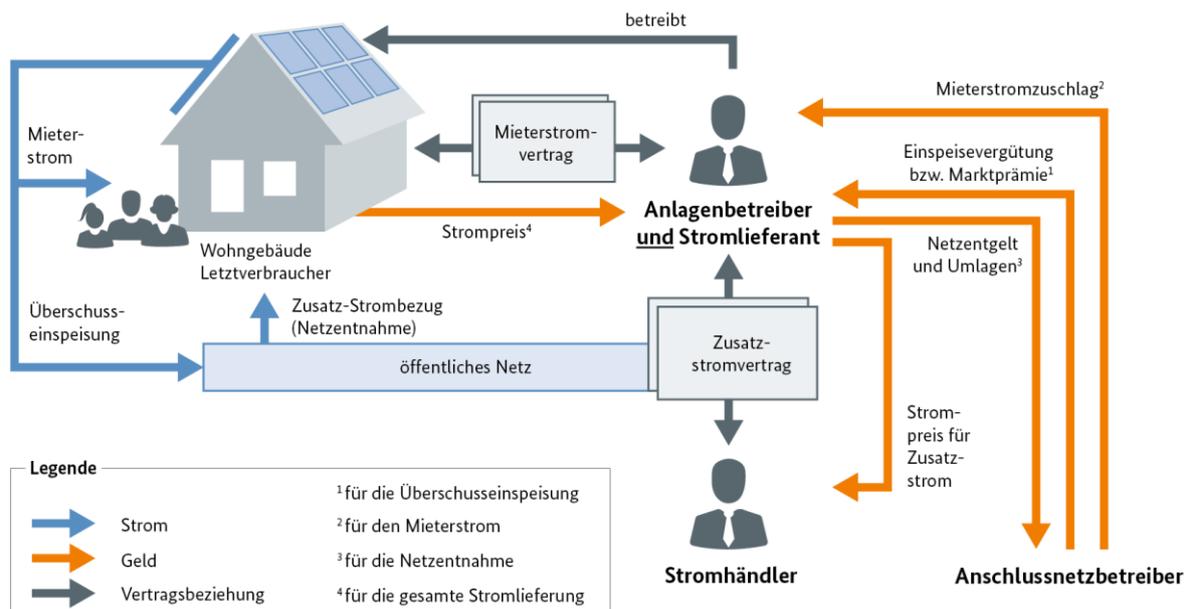


Abbildung 60: Schematische Darstellung: Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers²¹

Lieferkettenmodell: EEG-geförderte Mieterstromlieferung über Dritten

²¹ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/Solaranlagen/Solar_Mehrparteien/start.html

Betreiber von Solaranlagen, die ab dem 1. Januar 2021 in Betrieb genommen wurden, können auch die Variante des sogenannten Lieferketten-Modells nutzen. Im Vergleich zum Grundmodell kann der Anlagenbetreiber in dieser Variante den Mieterstromzuschlag für den Strom aus seiner Solaranlage auch erhalten, wenn er den Strom (ohne Netzeinspeisung) innerhalb der Kundenanlage an einen Dritten weitergibt, der diesen Strom wiederum nachweislich unter Einhaltung der Voraussetzungen des Mieterstromzuschlags an die teilnehmende „Mieterstromkundschaft“ (Letztverbraucher) liefert. Dieser Dritte ist in diesem Fall der verantwortliche Stromlieferant.

Lieferkettenmodell: Mieterstromlieferung über dritten Stromlieferanten

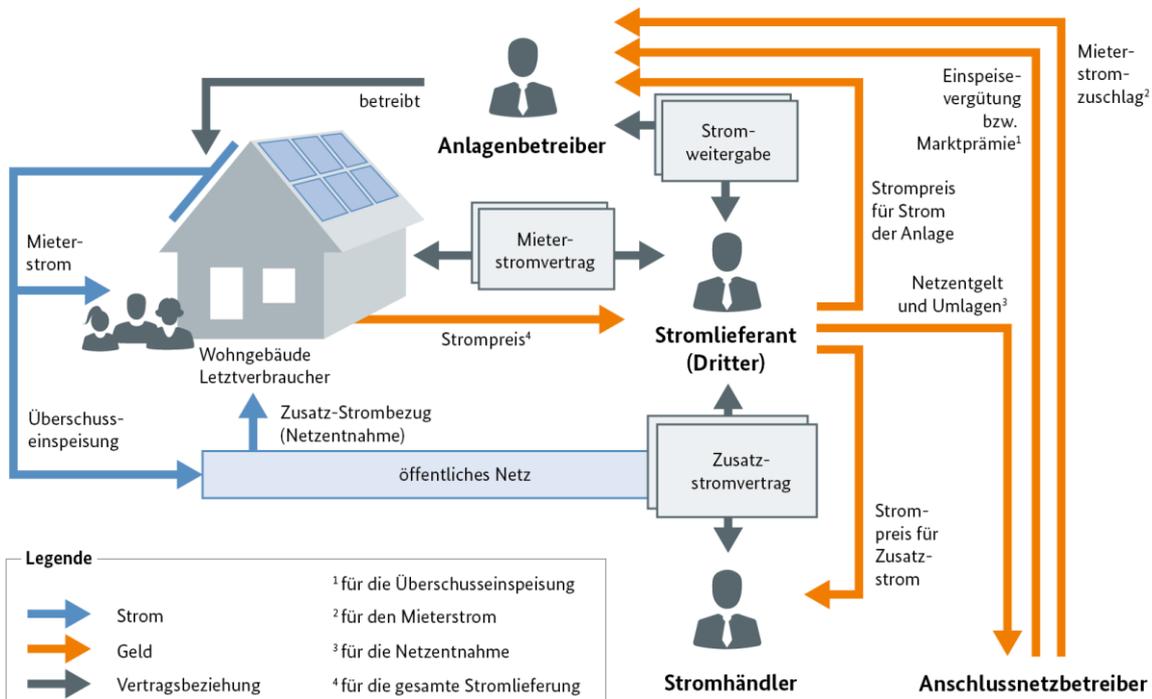


Abbildung 61: Schematische Darstellung: Mieterstrommodell über dritten Stromlieferanten (Lieferkette)²²

Gesetzliche Vorgaben zum Mieterstromzuschlag

Für die Inanspruchnahme des Mieterstromzuschlags sind die gesetzlichen Anforderungen zu beachten, die nach dem Inbetriebnahmedatum für die jeweilige Solaranlage maßgeblich sind. Für Solaranlagen, die nach dem 1. Januar 2023 in Betrieb genommen werden sind insbesondere die Anforderungen nach § 19 Abs. 1 Nr. 3, § 21 Abs. 3, § 21b EEG 2023 relevant.

Die Bundesnetzagentur hat 2017 den Hinweis 2017/3 zum Mieterstromzuschlag (Version 1.1)²³ veröffentlicht. Gesetzliche Änderungen an den Berechnungsgrundlagen des Mieterstromzuschlags vom 17. Dezember 2018 hatten eine punktuelle Anpassung des Hinweispapiers zur Berechnung des Mieterstromzuschlags erforderlich gemacht.

²² https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/Solaranlagen/Solar_Mehrparteien/start.html

²³ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Mieterstrom/Hinweis_Mieterstrom.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Im Hinweispapier zum Mieterstromzuschlag werden die Grundzüge der Mieterstrom-Förderung nach dem EEG 2017 erläutert. Für Anlagen, die vor dem 1. Januar 2021 in Betrieb genommen wurden, gelten weiterhin diese rechtlichen Regelungen, wie sie im Hinweispapier erläutert werden. Die gesetzlichen Regelungen zum Mieterstromzuschlag wurden jedoch seitdem mehrfach angepasst. Das Hinweispapier dient dennoch als Orientierungshilfe, um eine einheitliche Anwendungspraxis zu fördern und Rechtsunsicherheiten zu vermindern. Im Folgenden werden lediglich einige der seitdem erfolgten Änderungen skizziert.

- Quartiersbezug: der Strom kann nach dem EEG 2021 nicht nur in demselben Gebäude oder Wohngebäuden bzw. Nebengebäuden im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang, sondern auch „in demselben Quartier, in dem auch dieses Gebäude liegt“ verbraucht werden. Maßgeblich ist demnach, dass der Strom innerhalb des Quartiers, in dem das Gebäude mit der neuen Solaranlage steht, nach den weiteren Voraussetzungen des Mieterstromzuschlags geliefert und verbraucht wird. Die Beschränkung des EEG 2017 auf den „unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit diesem Gebäude“ wurde durch den Quartiersbezug abgelöst. Es bleibt jedoch zu beachten, dass auch bei der Belieferung von Letztverbrauchern innerhalb desselben „Quartiers“ die Nutzung eines Netzes für die allgemeine Versorgung (§ 3 Nr. 35 EEG 2021) die Zahlung des Mieterstromzuschlages ausschließt.
- Teilweise Änderung der Zusammenfassungsregelung: Bei einer neuen Mieterstromanlage werden für die Bestimmung der Förderhöhe des Mieterstromzuschlags zur Ermittlung der Größe der neuen Solaranlage – unabhängig von der Betreibereigenschaft – mehrere Anlagen ausnahmsweise nicht nach Maßgabe des § 24 Abs. 1 S. 1 EEG 2021 zusammengefasst, soweit sie nicht an demselben Anschlusspunkt (i. S. v. § 55 Abs. 5 MsbG) betrieben werden (§ 24 Abs. 1 S. 4 EEG 2021). Anlagen, die an demselben Anschlusspunkt (i. S. v. § 55 Abs. 5 MsbG) betrieben werden, sind hingegen weiterhin nach § 24 Abs. 1 S. 1 EEG 2021 zusammenzufassen. Zur Bestimmung der Förderhöhe für die Überschusseinspeisung in das Netz, bleibt es unabhängig vom Betrieb an einem oder an mehreren Anschlusspunkten bei der allgemeinen Zusammenfassung nach § 24 Abs. 1 S. 1 EEG 2021. Auch für die Bestimmung der Förderfähigkeit als Mieterstromzuschlag ist die Einhaltung der 100 kW-Grenze weiterhin nach der spezielleren Zusammenfassungsregelung des § 21 Abs. 3 EEG 2021 zu ermitteln.
- Mit dem EEG 2023 wird die Begrenzung für Mieterstromanlagen von 100 kW auf einem Gebäude aufgehoben.
- Mit dem EEG 2023 wurden die Fördersätze für den EEG-geförderten Mieterstrom für Solaranlagen, die ab dem 1. Januar 2023 in Betrieb genommen werden, neu festgelegt. Die Bundesnetzagentur veröffentlicht die jeweils geltenden Solaranlagen-Fördersätze für den Mieterstromzuschlag sowie für die Einspeisevergütung bzw. die Marktprämie. Maßgeblich ist jeweils das Datum der Inbetriebnahme der Anlage.

8.3.3. Oberflächennahe Geothermie

Die geothermische Energie, auch als Erdwärme bekannt, repräsentiert eine nachhaltige und effiziente Energiequelle, die sich besonders für den Einsatz in energetischen Quartierskonzepten eignet. Die unterhalb der Erdoberfläche vorhandene Erdwärme ist eine Form von Energie, die durch den Temperaturgradienten im Erdinneren entsteht. Der jährliche Temperaturverlauf aufgrund der Jahreszeiten beeinflusst nur die oberen Bodenhorizonte bis zu einer Tiefe von 6 bis 10 Metern. Unterhalb dieser Tiefe bleibt die Temperatur konstant und entspricht im Mitteleuropa etwa der mittleren Jahrestemperatur am Standort, im Durchschnitt etwa 9,5 °C. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Temperatur um etwa 3 °C pro 100 Metern zu. Die oberflächennahe Geothermie nutzt die Erdwärme bis zu einer Tiefe von maximal 400 Metern, meist jedoch nur bis zu 100 Metern. Technologien wie Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasserbohrungen kommen hier zum Einsatz. Der Wärmeentzug erfolgt über Wärmeträger, in der Regel Wärmeträgerflüssigkeiten oder Sole, die durch Rohre oder Schläuche im Erdreich zirkulieren. Um die niedrigen Temperaturen effektiv zu nutzen, erfordern diese Technologien den Einsatz von Wärmepumpen, die die Temperatur anheben und somit für die Gebäudeheizung nutzbar machen.

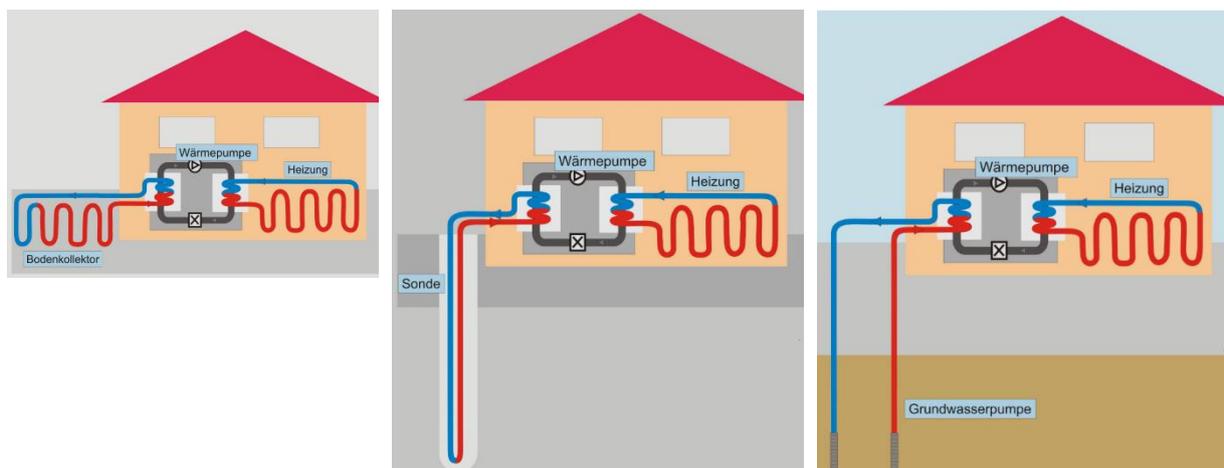


Abbildung 62: Schema oberflächennahe Geothermie: Bodenkollektor, Erdwärmesonde, Grundwasserpumpe²⁴

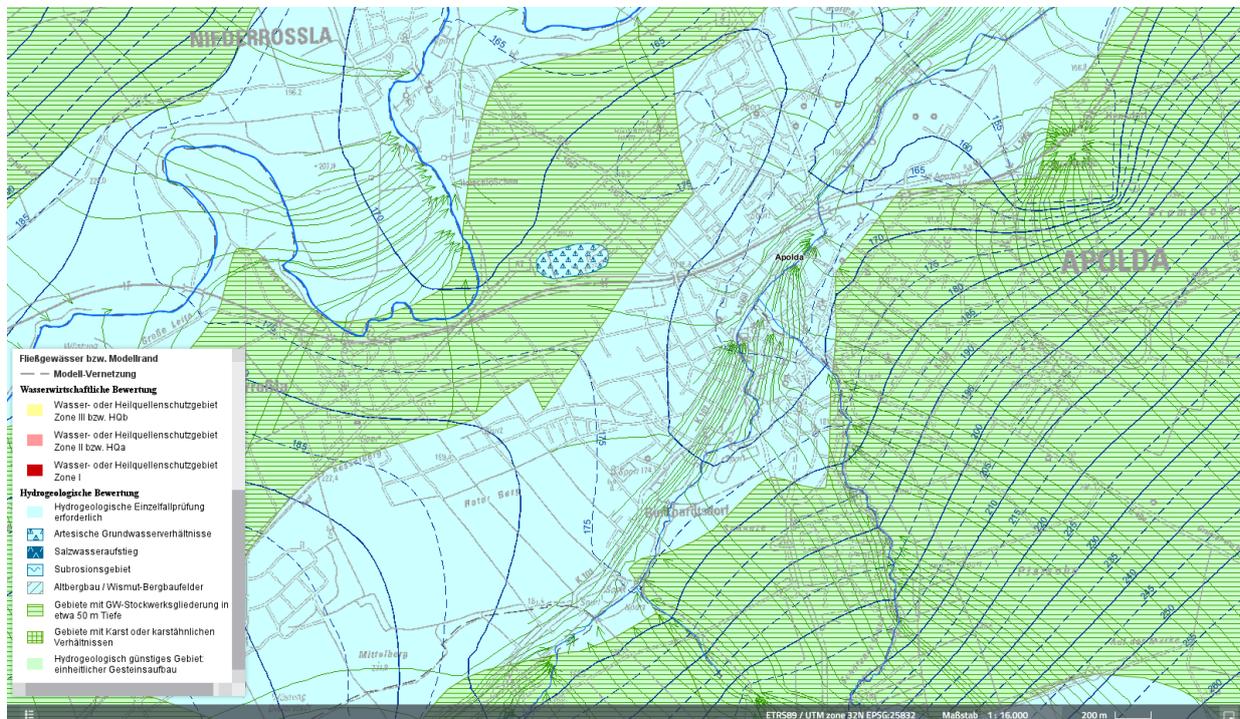
Erdwärmekollektoren werden flächenhaft oder in flachen Gräben verlegt, in etwa 1,2 bis 2,0 Metern Tiefe unterhalb der Frostgrenze. Diese nutzen die gespeicherte Sonnenenergie, die durch direkte Einstrahlung, Wärmeübertragung aus der Luft und Niederschlag in den Untergrund gelangt. Die erforderliche Fläche beträgt etwa das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche oder 15-30 m² pro kW Heizleistung, wobei die genaue Kollektorfläche von Bodenbeschaffenheit und Betriebsstunden abhängt. Einflussfaktoren auf die spezifische Entzugsleistung sind: Bodentyp, Bodenbeschaffenheit, Betriebsstunden, Tiefe der Sonde und die Bauweise.

Erdwärmesonden nutzen die konstante Temperatur, die ab einer Tiefe von 15-20 m unter der Geländeoberkante herrscht, wo kein witterungsbedingter Einfluss auf den Wärmeertrag mehr vorhanden ist. Die Sonden werden in eigens dafür erstellte vertikale Bohrungen meist bis etwa 100 m Tiefe, in Einzelfällen auch unterhalb von 150 m

²⁴ https://www.energie-experten.org/fileadmin/Newsartikel/Inhalt_Download/Erdw%C3%A4rme/Erdwaerme_Thueringen_Nutzung_oberflaechennaher_Geothermie_in_Thueringen.pdf

Tiefe, eingebracht. Die Entzugsleistung variiert wie bei den Erdwärmekollektoren aufgrund der Einflussfaktoren und beträgt bei einer 100-Meter-Sonde etwa 2,5 bis 8 kW.

Das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz hat für Erdwärmennutzungen seit ein Geothermieportal eingerichtet, welches unter der Adresse: <https://antares.thueringen.de/cadenza/index.xhtml> zu erreichen ist. Die Abbildung 63 zeigt, dass für den wesentlichen Teil des Quartiers (hellblaue Färbung) eine hydrologische Einzelfallprüfung erforderlich ist, da dort die hydrologischen Verhältnisse eher ungünstig sind. Der östliche und westliche Teil des Quartiers hat in 50m Tiefe eine Grundwasserstockwerksgliederung, sodass die Gefahr eines Hydraulischen Kurzschlusses vorliegt, weshalb von einer Taufenbegrenzung auf 50m angeraten wird. Das Grundwasser strömt im Wesentlichen aus südosten in Richtung nordwesten. Wasser- oder Heilquellenschutzgebiete befinden sich nicht im Quartier.



Das Geothermieportal bietet auch eine thermische Potenzialkarte für die Eignung der Standorte zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie, die in der Abbildung 64 dargestellt ist. Die interaktive Online-Karte bietet zudem standortspezifische Abfragen, wobei ein detaillierter Bericht zur Standortsituation und zum geothermischen Potential erstellt wird. Der Einbau von Erdwärmesonden muss für jeden Einzelfall gesondert betrachtet werden, um das genaue Potenzial auf dem jeweiligen Grundstück festzustellen. Zudem müssen Abstandsregeln bedacht (um eine gegenseitige Beeinträchtigung des Wärmeertrages auszuschließen sollten die Wärmesonden einer Anlage in

²⁵ <https://antares.thueringen.de/cadenza/index.xhtml>

einem Abstand von etwa 5-6 m errichtet werden, der Abstand zum Nachbargrundstück sollte ebenfalls mindestens 5-6 m betragen) und berg- sowie wasserrechtliche Aspekte beachtet werden.²⁶

Jedes Vorhaben zur Nutzung von Erdwärme durch Erdsonden erfordert eine Anzeige bei der örtlich zuständigen Unteren Wasserbehörde. Gemäß § 8 des Geologiedienstgesetzes (GeolDG) ist jede Bohrung spätestens zwei Wochen vor Arbeitsbeginn dem Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz zu melden. Bei Bohrungen, die mehr als hundert Meter in den Boden eindringen sollen, ist zusätzlich gemäß § 127 des Bundesberggesetzes (BBergG) eine Anzeige beim TLUBN erforderlich. Sofern durch eine Bohrung Grundwasser erschlossen wird, muss dies spätestens drei Monate vor Arbeitsbeginn der zuständigen unteren Wasserbehörde gemäß § 49 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Verbindung mit § 41 des Thüringer Wassergesetzes angezeigt werden.

Die Anzeige von Bohrungen und Erdwärmeanlagen kann über das Geothermieportal des Landes Thüringen (<https://tlubn.thueringen.de/geologie-bergbau/angewandte-geologie/geothermie>) erfolgen. Fachdaten sind innerhalb von drei Monaten, und Bewertungsdaten sind innerhalb von sechs Monaten nach Abschluss der geologischen Untersuchungen zu übermitteln. Die ausführenden Unternehmen unterstützen grundsätzlich bei der Antragstellung und liefern die entsprechenden Unterlagen für die Dokumentation.

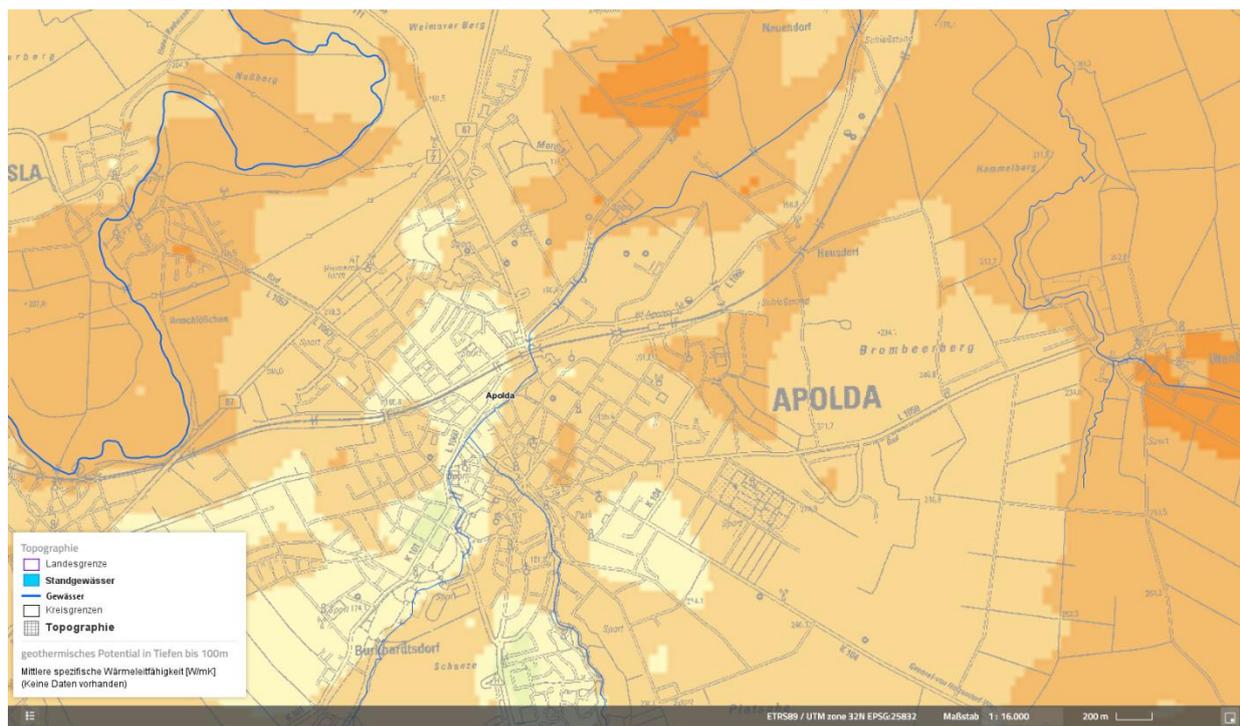


Abbildung 64: Potenzialkarte für Geothermie (Geothermieportal Thüringen)²⁷

Erdwärmepumpen gelten als Technologiestandard und erfüllen die Anforderungen des GEG für erneuerbare Energien beim Heizen. Besonders in energieeffizienten Neubauten oder sanierten Bestandsgebäuden mit niedrigem

²⁶ Vgl. Leitfaden 2012.

²⁷ <https://antares.thueringen.de/cadenza/index.xhtml>

Energiebedarf arbeiten sie wirtschaftlich. Trotz höherer Anschaffungskosten, insbesondere durch Bohrkosten, zeigen sie aufgrund konstanter Erdtemperaturen niedrige Betriebskosten im Vergleich zu luftbasierten Wärmepumpen. Entscheidungshinweis für Wärmepumpentechnologien: Die Effizienz von Wärmepumpen wird durch den COP (Leistungszahl) und die JAZ (Jahresarbeitszahl) beeinflusst. Der COP zeigt das Verhältnis von aufgewendeter Energie zu erzeugter Wärme unter Normbedingungen. Die JAZ ist ein Durchschnittswert über das Jahr. Luftbasierte Wärmepumpen haben tendenziell niedrigere JAZ-Werte im Vergleich zu Erdwärmepumpen. Beispiel: Bei einem Gebäude mit einem Wärmebedarf von 20.000 kWh benötigt eine Luft-Wasserwärmepumpe mit einer JAZ von 3,8 ca. 5.300 kWh, während eine Erdwärmepumpe mit JAZ 5 nur 4.000 kWh benötigt. Der Unterschied von 1.300 kWh entspricht ca. 380 Euro. Die Einsparung muss den Bohrkosten gegenübergestellt werden, die je nach Tiefe über 8.000 Euro betragen können. Dieses Beispiel dient der eigenständigen Bewertung der Effizienz von Wärmepumpen verschiedener Technologien.

8.3.4. Windenergie

Aufgrund der Quartiersbeschaffenheit ist dieses nicht für die Nutzung von Windkraft geeignet, bzw. lediglich in Form von Kleinstwindkraftanlagen. Dennoch zeigt eine detaillierte Untersuchung des "Sachlichen Teilplans Windenergie Mittelthüringen" im Regionalplan, dass im Norden und Osten Apoldas Windenergievorranggebiete und Planungsgebiete vorhanden sind. Insbesondere enthält das Windenergiegebiet W-10 gemäß Angaben des Thüringer Energieatlas 45 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 92 MW. Diese Gebiete wurden gezielt ausgewiesen, um die Entwicklung von Windenergieprojekten zu fördern, unter Berücksichtigung windtechnischer, ökologischer und planerischer Gesichtspunkte.

Die Lokalisierung der Windenergievorranggebiete im Regionalplan im Norden und Osten bietet die Möglichkeit, Windenergie effizient in die Energieversorgung der Stadt zu integrieren. Dabei soll jedoch sorgfältig auf örtliche Gegebenheiten und Belange Rücksicht genommen werden. Bei der Umsetzung von Windenergieprojekten in diesen Gebieten ist eine eingehende Abwägung von Faktoren wie Umweltauflagen, Abstandsregelungen und die Integration von Bürgerbeteiligungsprozessen entscheidend, um Akzeptanz und Unterstützung in der Bevölkerung zu fördern. Die weiteren Betrachtungen zu diesem Thema erfolgen aufgrund der räumlichen Entfernung zu diesem Quartier nicht in diesem Quartierskonzept.

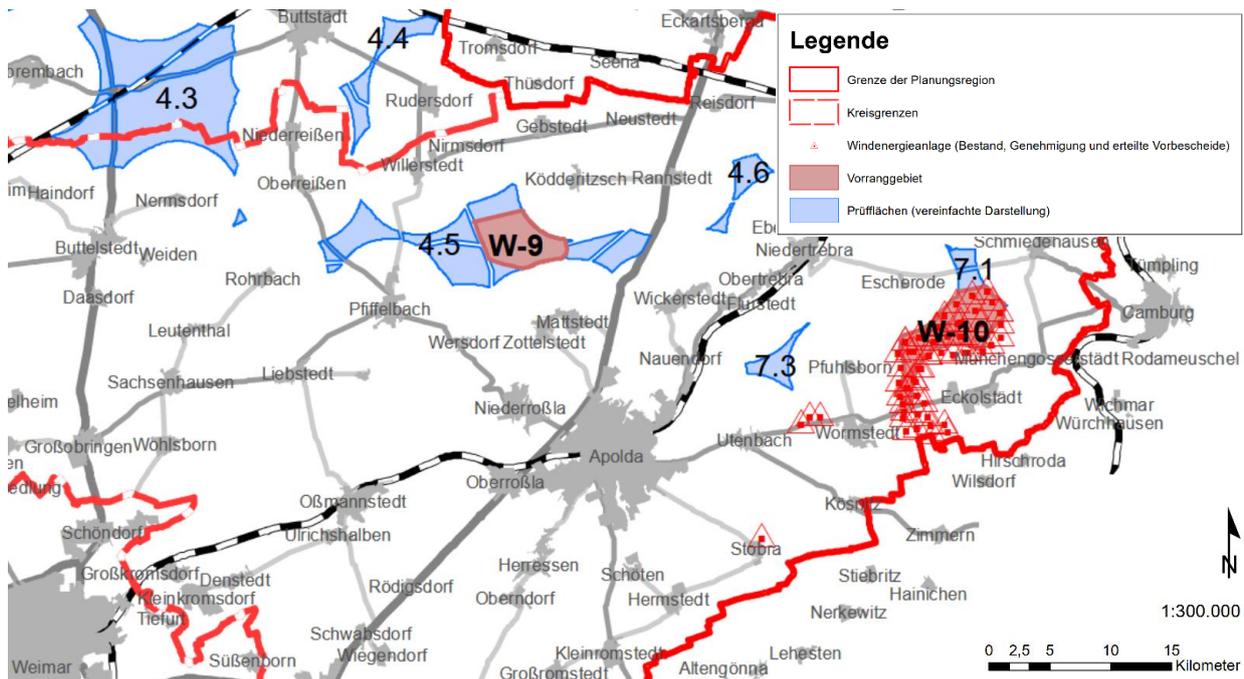


Abbildung 65: Sachlicher Teilplan Windenergie für Mittelthüringen²⁸

8.4. Potentiale der Wasserstoffherzeugung

Wasserstoff kann Energie speichern und wieder freigeben, ohne dabei direkt CO₂ auszustößen. Wenn auch bei der Wasserstoff-Herstellung keine CO₂-Emissionen anfallen, was insbesondere beim Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien der Fall ist, kann er als emissionsfrei bezeichnet werden.²⁹ Das macht Wasserstoff im aktuellen politischen und wissenschaftlichen Diskurs für zahlreiche Akteure zu einem der Hoffnungsträger für die Energiewende. Er ist prinzipiell sehr vielseitig einsetzbar und könnte zur klimafreundlichen Wärme- und Stromproduktion in der Industrie und in Haushalten sowie für umweltfreundliche Mobilität genutzt werden. Was Wasserstoff besonders interessant macht ist, dass er es ermöglicht, regenerativ erzeugte Energie in bedeutenden Mengen zu speichern (sog. Power-to-Gas). In den letzten Jahren wurden im Zuge der Energiewende zahlreiche Pilotprojekte angestoßen oder bereits abgeschlossen, in denen die Nutzung von Wasserstoff für verschiedene Bereiche der Energiewirtschaft erprobt wurde. Auf europäischer und deutscher Ebene bestehen Strategien sowie Förderprogramme, die den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft stimulieren sollen. Das Ziel ist es, so schnell wie möglich einen Markt für Wasserstoff zu etablieren und damit auch seine Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

²⁸ https://regionalplanung.thueringen.de/fileadmin/user_upload/Mittelthueringen/Dokumente/RPM-Bestand/RPM2018-STPWind/RPM-STPWind-1-RP-03-Anl3.pdf

²⁹ Wird Wasserstoff unter Freisetzung von CO₂ erzeugt (z.B. unter Einsatz von Erdgas) und wird durch eine Carbon Capture and Storage (CCS)-Methode das freigesetzte CO₂ gespeichert oder sogar zeitweilig weiterverwendet spricht man von blauem Wasserstoff. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung bilanziert blauen Wasserstoff daher ebenfalls als CO₂-neutral.

Speziell in Thüringen, und damit auch für Apolda, zeigt die Thüringer Wasserstoffstrategie³⁰ auf, wie die regionale Wertschöpfung durch die Produktion, Verteilung und Anwendung von Wasserstoff gestärkt werden kann. Diese Bemühungen sind essenziell, da CO₂-ärmere Technologien und Verfahren, darunter auch die Wasserstofftechnologie, finanzielle und nicht-monetäre Unterstützung benötigen, um gegenüber konventionellen Herstellungsprozessen wettbewerbsfähig zu sein. Thüringen zielt darauf ab, die Ansiedlung von Unternehmen aus der Wasserstoff-Wertschöpfungskette zu intensivieren und unterstützt die Integration ihrer Produkte im Markt.

Parallel dazu werden im HyStarter-Konzept³¹ der Region Weimarer Land/Weimar, zu dem auch Apolda zählt, konkrete Ansätze für den Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft dargestellt. Besonders hervorzuheben ist das Projekt um den Egon-Eiermannbau in Apolda, das auf eine autarke Energieversorgung mit Brennstoffzelle und Wasserstoff abzielt. Die Stadt Apolda kann sich dabei auf eine bereits bestehende Basis an Kompetenzen und Technologien stützen. Beispielsweise ist die eurocylinder systems AG in Apolda als Hersteller von Hochdruckstahlflaschen ein wichtiger Akteur in der Speicherung von Wasserstoff unter hohen Drücken. Diese Erfahrung ist von unschätzbarem Wert für die Entwicklung einer sicheren und effizienten Wasserstoffinfrastruktur. Zudem trägt die Gebr. Becker GmbH mit ihrer Produktionsstätte in Apolda durch die Herstellung von Drehschieberpumpen und Seitenkanalverdichtern, die unter anderem zur Luftversorgung von Brennstoffzellensystemen eingesetzt werden, zur technologischen Vielfalt bei, die für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft erforderlich ist. Neben diesen bestehenden industriellen Kompetenzen wird der Einsatz von Wasserstoff in Thüringen auch in der Herstellung von Spezialchemikalien angewendet, was die Vielseitigkeit des Wasserstoffs als Energieträger und Rohstoff unterstreicht und weitere wirtschaftliche Vorteile für Apolda und die Region verspricht.

Im Rahmen des Forschungsbündnisses H₂-Well zur Entwicklung einer Wasserstoffmodellregion ist darüber hinaus geplant, in den Jahren bis 2024 in Sonneberg und Apolda weitere Wasserstoffinfrastrukturprojekte als Demonstratoren umzusetzen. Diese Bemühungen verdeutlichen, dass Apolda bereits aktiv den Grundstein für die Integration der Wasserstofftechnologie legt und somit von den nationalen sowie europäischen Förderstrategien profitieren kann. Die Kombination aus landesweiter strategischer Planung und lokalen Pilotprojekten bildet eine solide Basis für die zukünftige Entwicklung und Nutzung von Wasserstofftechnologien in Apolda und trägt dazu bei, die Stadt als Teil einer nachhaltigen und innovativen Energiezukunft zu positionieren.

Wasserstoff kann in unterschiedlichen Verfahren und aus unterschiedlichen Vorprodukten hergestellt werden, was wiederum erheblichen Einfluss auf seine Klimabilanz hat. In der Fachwelt wird in diesem Zusammenhang daher von der Wasserstoff-Farbenlehre gesprochen.³² Der Wasserstoff ist gasförmig (daher Power-to-Gas) und kann bspw. in die bestehende Gasinfrastruktur eingespeist oder weiter komprimiert (verflüssigt) und gespeichert bzw. für andere Anwendungen genutzt werden.

³⁰ https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Aktuelles/2021/0906_Thueringer_Wasserstoffstrategie_mit_Deckblatt.pdf

³¹ https://www.weimarerland.de/de/datei/anzeigen/id/8546,31/hystarter_weimarer_landweimar_finaler_projektbericht_inkl._anhaenge.pdf

³² <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/wissenswertes>

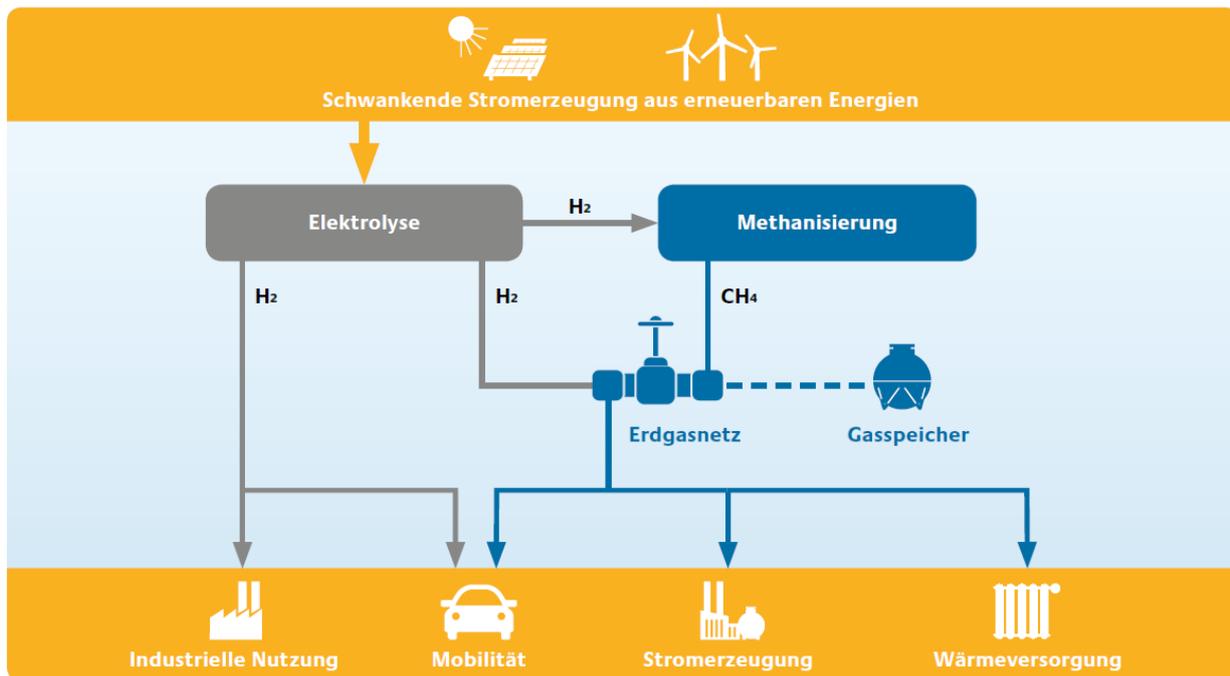


Abbildung 66: Anwendungsfelder des Power-to-Gas Prozesses³³.

Der größte Vorteil besteht dann, wenn überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien, der aufgrund von Kapazitätseinschränkungen nicht in das Stromnetz eingespeist werden könnte und somit ungenutzt bliebe, auf diese Weise nutzbar gemacht werden kann. (Abbildung 66). Prinzipiell ist aber auch die Errichtung von Anlagen möglich, deren Strom ausschließlich für die Umwandlung in Wasserstoff genutzt wird.

Zum Wirkungsgrad des Wasserstoffkreislaufs lässt sich sagen, dass die aktuell marktgängigen alkalischen oder Protonen-Austausch-Membran-(PEM)-Elektrolyseure, ein Wirkungsgrade von ca. 60-75 % teils sogar 80 % erreichen. D.h. für die Herstellung eines 1 kg Wasserstoff (Energiegehalt Heizwert 33,33 kWh; Brennwert 39,41 kWh), werden ca. 47,5 kWh Strom benötigt. Allerdings wird in diesem Bereich mit erheblichen Technologieentwicklungen und damit einhergehenden Effizienzsteigerungen gerechnet. Die International Renewable Energy Agency (IRENA) prognostiziert bis zum Jahr 2050 einen Energiebedarf von weniger als 42 kWh je kg Wasserstoff. Im Jahr 2022 wurde von der University of Wollongong und dem ARC Centre of Excellence for Electromaterials Science bereits ein neues System der Kapillarelektrolyse mit einem Wirkungsgrad von 98 % getestet. In diesem Verfahren reicht eine Strommenge von 40,4 kWh für die Gewinnung von einem Kilogramm H_2 . Über das gesamte Erzeugungssystem wird ein Wirkungsgrad von 95 % erreicht.³⁴ Die Technologie wird aktuell von Hysata vermarktet.³⁵ Zu beachten ist, dass es auch bei der Rückumwandlung von Wasserstoff in Strom oder in Wärme zu Verlusten kommt, sodass die Effizienz der gesamten Wasserstoffkette deutlich geringer ist (Effizienz gesamte Kette Rückverstromung 40-50 %; Effizienz gesamte Kette Brennstoffzelle 35-40 %).

³³ Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2012, Integration erneuerbaren Stroms in das Erdgasnetz, Power to Gas – eine innovative Systemlösung für die Energieversorgung von morgen entwickeln, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9103_Fachbroschuere_Integration_erneuerbaren_Stroms_in_das_Erdgasnetz_Power_to_Gas.pdf

³⁴ <https://edison.media/energie/effizienz-durchbruch-bei-wasserstoff-elektrolyse/25229279/>

³⁵ <https://hysata.com/our-company/#about>

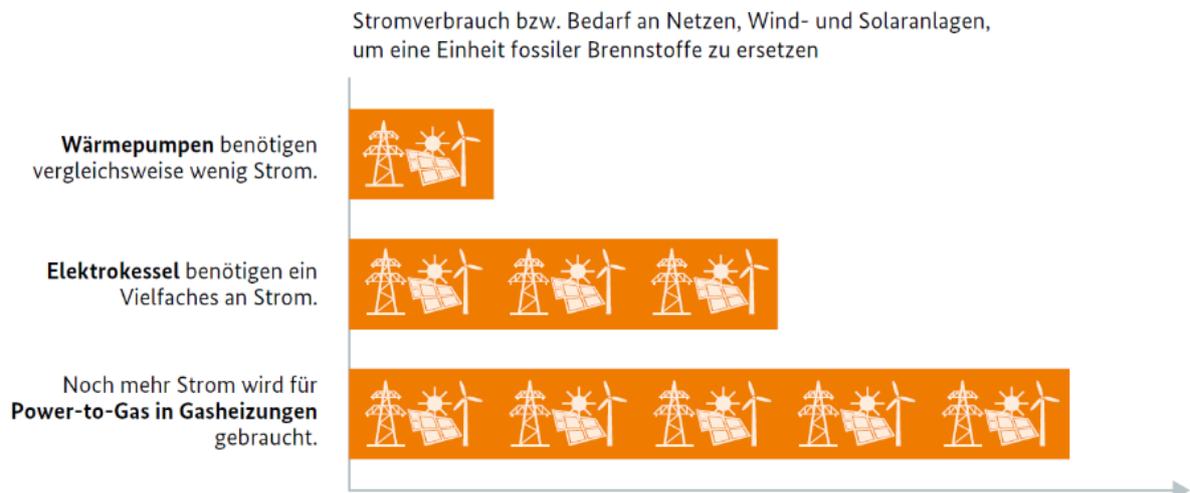


Abbildung 67: Stromverbrauch verschiedener Technologien, um eine Einheit fossiler Brennstoffe in der Wärmeversorgung zu ersetzen³⁶

Neben der energetischen Nutzung von Wasserstoff ist auch die energetische Verwertung des Herstellungsverfahrens möglich. Die Erzeugung von Wasserstoff kann hier analog zum KWK-Verfahren gesehen werden. Marktgängige Wasser-Elektrolyseure auf Alkali- oder PEM-Basis setzen ca. 60 bis 75 % der eingesetzten elektrischen Energie in Wasserstoff um. Der Rest wird größtenteils als Abwärme abgegeben. Das Temperaturniveau beträgt dabei ca. 60 bis 80 °C. Daraus ergeben sich unterschiedliche Optionen für die Nutzung der Abwärme aus Elektrolyseuren:

- für Netze mit entsprechenden Temperaturanforderungen (Einspeisung in den Vorlauf)
- Sommerbetrieb in Fernwärmenetzen (Einspeisung in den Vorlauf)
- Rücklaufanhebung zur Effizienzsteigerung von Heizungstechnik (z. B. von 55°C auf 65°C)
- Erhöhung der Quelltemperatur für Wärmepumpen zur Verbesserung deren Effizienz

Diese Anwendungsvielfalt zeigt, dass das KWK-Prinzip auch für die Wasser-Elektrolyse anwendbar ist. Durch die Nutzung der Abwärme steigt auch hier der Gesamtwirkungsgrad des Elektrolyseurs bzw. der Stromverwertung deutlich über 90 %, sodass die energetisch hochwertige, elektrische Energie deutlich besser ausgenutzt wird.

Wie in Tabelle 30 dargestellt findet die Wasserstoffherzeugung unterschiedliche Verwertungsmöglichkeiten. Die dargestellten Nutzungspfade werden im zeitlichen Kontext priorisiert. Die Tabelle zeigt eine kurz- (5 bis 10 Jahre), mittel- (10 bis 20 Jahre) und langfristige (bis spätestens 2050) Potentialabschätzung der Nutzungspfade auf. Diese Priorisierung stellt für die Kommune und die Industrie eine wichtige Entscheidungshilfe für den Einsatz von Wasserstoff dar.

³⁶ https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Studien-Reports/Fraunhofer-IEE_Kurzstudie_H2_Gebaeudewaerme_Final_20200529.pdf

Tabelle 30: Potentiale der H2-Nutzungspfade³⁷

Nutzungspfad	kurzfristig	mittelfristig	langfristig	
Stoffliche Anwendung	●	●	●	
Prozesswärme	●	●	●	● hoch
Schwerlast- / Fernverkehr / ÖPNV	●	●	●	● mittel
Individualmobilität	●	●	●	● niedrig
Dezentrale Gebäudewärme	●	●	●	
Zentrale Gebäudewärme	●	●	●	
Energiespeicherung	●	●	●	
Einspeisung	●	●	●	

Unter den aktuellen Rahmenbedingungen stellt Wasserstoff noch keine wirtschaftlich attraktive Option zu den konventionellen fossilen Energieträgern oder anderen marktgängigen Technologien (Wärmepumpe) dar. Dies kann sich künftig durch die Auswirkungen der CO₂-Bepreisung sowie den technologischen Fortschritt bei der Wasserstoffherzeugung (insbesondere Senkung der Kosten des Elektrolyseurs) grundlegend verändern. Zudem spielen die Verfügbarkeit und der Preis der elektrischen Energie (aus erneuerbaren Energien) eine wesentliche Rolle.

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE hat 2022 die spezifischen Kostenanteile von alkalischen und PEM-Wasserelektrolyseuren mit 5 MW und 100 MW analysiert und eine Prognose für das Preisniveau im Jahr 2030 durchgeführt. Der Zellstapel (Stack) ist die teuerste Komponente eines Elektrolyseurs, wobei alkalische Stacks einen Kostenvorteil gegenüber PEM-Stacks haben. Die zweitteuerste Komponente ist die Leistungselektronik (Gleichrichter und Transformator).³⁸ Ein Elektrolyseur mit einer Kapazität von ca. 3 MW würde unter den abgebildeten Rahmenbedingungen somit Investitionskosten von ca. 2,85 Mio. Euro erfordern.

³⁷ https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Aktuelles/2021/0906_Thueringer_Wasserstoffstrategie_mit_Deckblatt.pdf

³⁸ <https://www.energie-experten.org/heizung/brennstoffzelle/elektrolyseur>

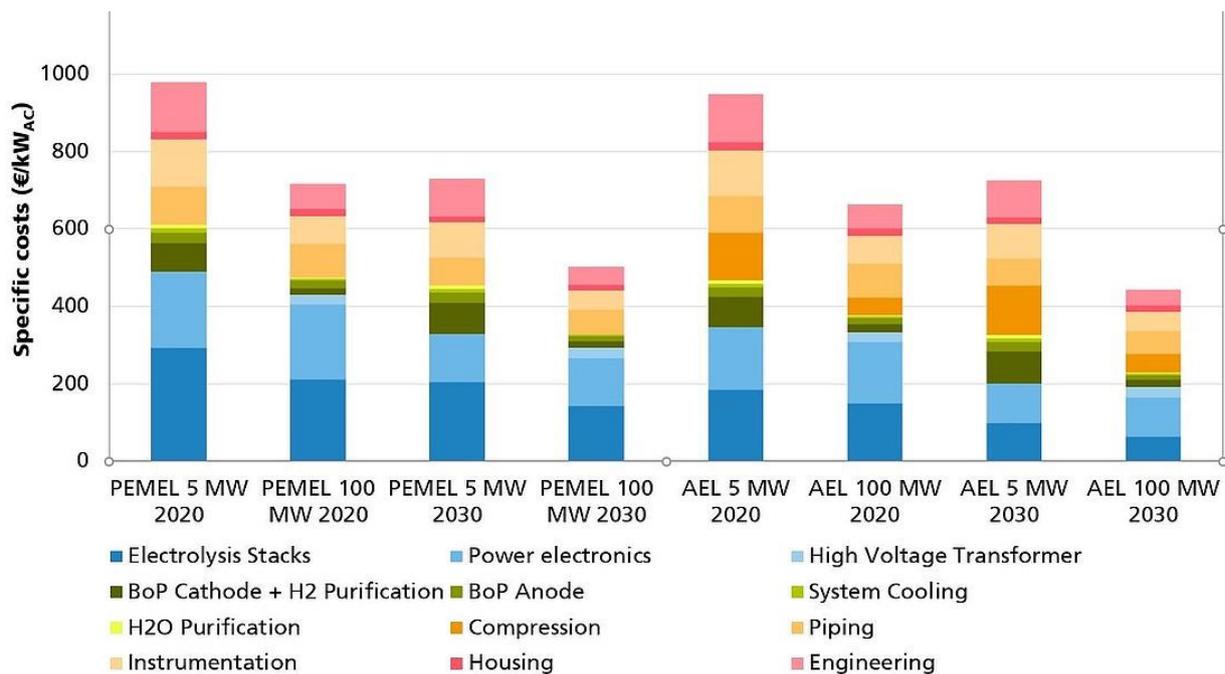


Abbildung 68: Kosten Elektrolyseur (Frauenhofer)

Im Jahr 2019 lagen die Produktionskosten von sogenanntem grünen Wasserstoff noch bei 16,5 ct/kWh hergestelltem Wasserstoffgas (Abbildung 69). Aussagen zu künftigen Preisentwicklungen beruhen aktuell auf Prognosen, die unterschiedliche Annahmen berücksichtigen. Prognosen von Statista gehen bis zum Jahr 2050 von einem Rücklauf beim Preis bei gleichbleibenden Trends (Annahmen: CO₂-Bepreisung 2030 und 2050 100 Euro / t CO₂; 2050 CO₂ Import-Steuer 100 Euro/t CO₂; Erdgaspreisniveau stabil) auf 9 ct/kWh aus. Für die berechneten Preise wird jeweils eine Bandbreite von etwa 1-3 ct/kWh nach oben und unten angegeben. Geht der aktuelle Trend des Ausbaus der Elektrolyse weiter, wird der Preis für grünen Wasserstoff im Jahr 2050 noch höher als für grauen Wasserstoff bleiben. Sinken die Preise für die Wasserelektrolyse jedoch, können die Kosten laut Prognose auf 6 ct/kWh Wasserstoffgas fallen. Die Kosten für grauen Wasserstoff lagen im Jahr 2019 noch bei 4,5 ct/kWh hergestelltem Wasserstoffgas. Bei der Herstellung von grauem Wasserstoff (aus Erdgas) wird das entstehende CO₂ vollständig in die Atmosphäre abgegeben. Wird durch eine Carbon Capture and Storage (CCS)-Methode das freigesetzte CO₂ gespeichert oder sogar zeitweilig weiterverwendet spricht man von blauem Wasserstoff. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung bilanziert blauen Wasserstoff daher als CO₂-neutral. Grüner Wasserstoff wird hingegen durch die Elektrolyse von Wasser hergestellt, wozu ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt wird. Abgesehen von den verwendeten Rohstoffen wird der Prozess als CO₂-frei gesehen. Die oben beschriebene neue Technologie von Hysata soll Herstellungskosten von ca. 1,5 USD/kg Wasserstoff ermöglichen, was einem Preis von 4,5 ct/kWh entsprechen würde.

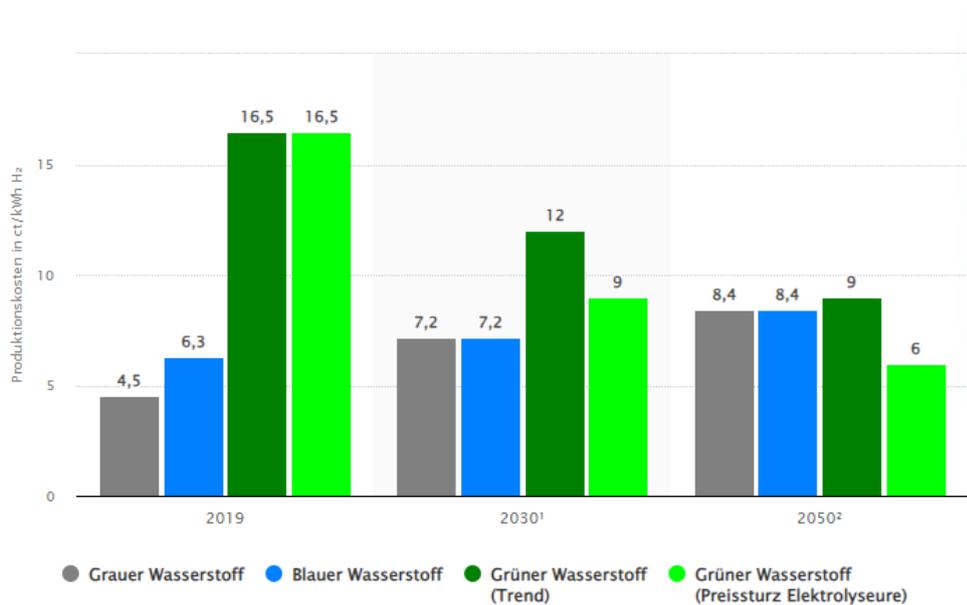


Abbildung 69: Produktionskosten von Wasserstoff nach Wasserstofftyp in Deutschland im Jahr 2019 und Prognosen für die Jahre 2030 und 2050 (in ct/kWh H₂) (Statista)

Die aktuellen Kosten für die Wasserstoff-Herstellung können über den Index "Hydex" ermittelt werden. Es handelt sich um einen kostenbasierten Spotpreis-Index. Grundlage sind die kurzfristigen Strom-, Gas- und EUA-Notierungen ohne Kapitalkosten. Der Index wird für drei Herstellungstechnologien von Wasserstoff berechnet: "Hydex Green" für Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser mit Hilfe von grünem Strom, "Hydex Blue" für Wasserstoff aus Dampfreformierung von Erdgas mit CO₂-Abscheidung und Speicherung sowie der "Hydex Grey" für Wasserstoff aus Dampfreformierung von Erdgas mit Beschaffung entsprechender CO₂-Zertifikate (EUA). Der Hydex bezieht sich auf den (unteren) Heizwert von Wasserstoff.

Beim HydexPLUS werden die Investitionskosten und eine betrieboptimierte Vollbenutzungsstundenzahl einkalkuliert. Mit Hilfe des HydexPLUS lassen sich nicht nur Kapazität und Betriebsweise von Wasserstofferzeugungsanlagen kostenoptimal auslegen. Der Vollkostenindex dient auch zur Prüfung und Verifizierung von Geschäftsmodellen und Einsatz- bzw. Ertragsplanungen von Erzeugungsanlagen. Darüber hinaus bildet der HydexPLUS die Grundlage für eine optimierte Strom- bzw. Gasbeschaffung (Tailormade PPAs) auf Basis der optimierten Betriebsweise und künftiger Strompreisprognosen. Die Kosten der Wasserstofferzeugung lagen Mitte 2023 dem Index zufolge bei ca. 19,1 ct/kWh.

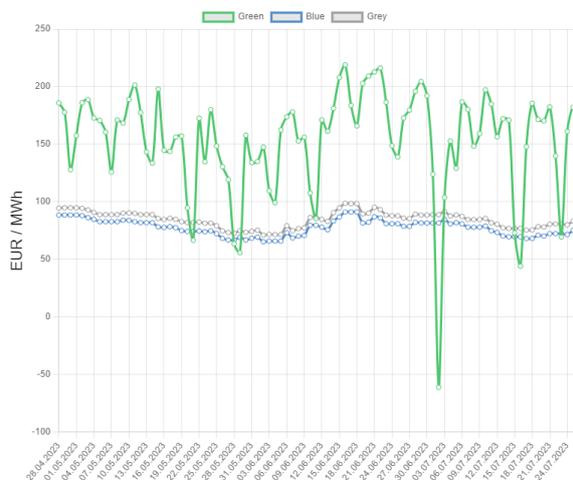


Abbildung 70: Hydex-Index³⁹

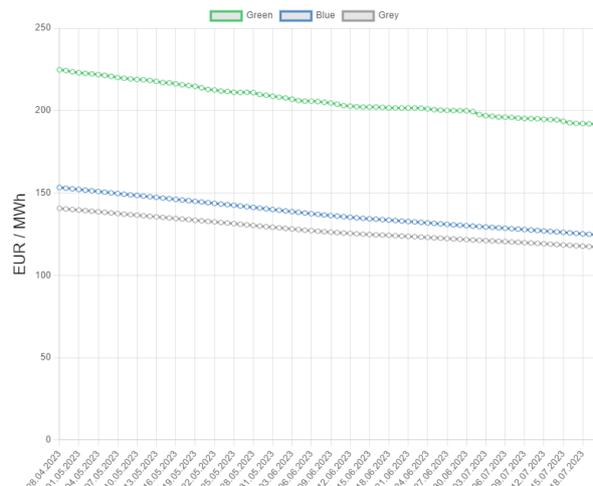


Abbildung 71: HydexPlus⁴⁰

Im Folgenden soll eine beispielhafte Berechnung für eine Wasserstoff-Erzeugung auf Basis von Wind- und PV-Anlagen, deren Ertrag ausschließlich für die Erzeugung von Wasserstoff genutzt wird, skizziert werden. Die Berechnungen basieren auf vereinfachten Annahmen, die Ergebnisse sind nur als erster Ansatz zu verstehen und bedürfen weiterer Prüfung auf Grundlage genauer Planungen. Es ist ersichtlich, dass die Ergebnisse deutlich unterhalb des aktuellen HydexPlus-Indexes liegen, der aus Sicht der Verfasser belastbarer ist. Die Stromeinspeisung erfolgt direkt, ohne Nutzung des Übertragungsnetzes. Zu bedenken ist insbesondere auch, dass sich die Nutzung von Wasserstoff in den Erdgasnetzen über das Niveau einer Beimischung aktuell noch im Erprobungsstadium befindet.⁴¹ Der Preis beim Endverbraucher muss zudem die gesamte Kette also insbesondere auch den Transport (im Falle der Nutzung der Erdgasinfrastruktur also u.a. die Netzentgelte⁴²) und die Speicherung berücksichtigen. Aus den Berechnungen ist ersichtlich, dass der Elektrolyseur etwa 3.500 Vollbenutzungsstunden erreicht (Auslegung entsprechend der Volllaststundenprofilen der Windkraft- und PV-Anlagen), die Abnahme jedoch über 8.760 Stunden im Jahr verteilt ist. Somit müsste – sollte der Elektrolyseur ausschließlich aus lokalen EE-Anlagen betrieben werden – auch eine Speicherinfrastruktur für den erzeugten Wasserstoff aufgebaut werden.

³⁹ <https://e-bridge.de/kompetenzen/energy-markets/wasserstoff/>

⁴⁰ ebenda

⁴¹ Ein Testvorhaben hierzu findet in Sachsen-Anhalt statt. Im Rahmen des DVGW-Energieimpuls und der E.ON-Initiative „Grünes Gas aus Grünem Strom“ verfolgen das Tochterunternehmen Avacon Netz GmbH und der DVGW ein bislang einmaliges Wasserstoffeinspeiseprojekt in einem Gasverteilnetz in Deutschland. Bis zu 10 % Wasserstoffbeimischung sind derzeit in vielen Ortsnetzen zulässig. Im Jerichower Land in Sachsen-Anhalt wird nun im „Innovationsvorhaben 20 Vol.-% Wasserstoff“ getestet, ob die doppelte Wasserstoffkonzentration als der aktuelle Grenzwert beigemischt werden kann. Gasheizungen, andere Gasendgeräte und die Gasinstallation werden dabei einem Verträglichkeitstest unterzogen.

⁴² Diese betragen im Jahr 2023 im Netzgebiet der Mitnetz bei Erdgas für einen Abnehmer mit einem Verbrauch von 24.000 kWh/Jahr 2,267 ct/kWh.

Tabelle 31: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Wasserstoffherzeugung aus EE-Anlagen

Parameter	
Stromerzeugung	
PV installierte Leistung	3 MW
PV Volllaststunden	986
PV-Erzeugung	2.958 MWh
PV-Stromgestehungskosten	6 ct/kWh
Wind Installierte Leistung	Ca. 4,5-5 MW
Wind Volllaststunden	2.789
Wind-Erzeugung	11.156 MWh
Wind-Stromgestehungskosten	6,5 ct/kWh
Erzeugung gesamt	14.184 MW _{el}
Elektrolyseur	3 MW
Kosten	1.000 Euro/kW
Wartung	20 Euro/kW
Wirkungsgrad elektrisch	62,5 %
Wirkungsgrad thermisch	20 %
Teillastbegrenzung	10 %
Annuitätenfaktor Kapital	0,0672157
Volllaststunden Elektrolyseur	4.518
Wasserbedarf pro kg H ₂	17 kg H ₂ O
Wasserbedarf	4.330 m ³
Wasserpreis	1,66 Euro/m ³
Ergebnisse	
Genutzter Strom	13.554 MWh (95 %)
Wasserstoff	254 t
Energiegehalt (Wasserstoff)	8.471 MWh
Abwärme (Elektrolyseur)	2.710 MWh _{th}
Wärmeerlöse (Berechnungsannahme)	25 Euro/MWh
Wasserstoffpreis ohne Wärmeerlöse (Brennwert)	4,63 Euro/kg / 11,7 ct/kWh
Wasserstoffpreis inkl. Wärmeerlöse (Brennwert)	4,36 Euro/kg / 11,1 ct/kWh

Zu klären sind in diesem Fall noch der Transport bzw. die Verteilung bis zum Endverbraucher. Hier kann auf Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung im Auftrag des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) verwiesen werden⁴³. Die Ergebnisse zeigen, dass die im deutschen Gasnetz verbauten Stahlrohrleitungen für den Transport von Wasserstoff geeignet sind. Sie weisen keine Unterschiede in Bezug auf die grundsätzliche Eignung für den Transport von Wasserstoff gegenüber Erdgas auf. Sowohl betriebsbedingte Alterung als auch die geforderte Bruchzähigkeit entsprechen den Erwartungen an eine Dekaden-überdauernde, sichere Verfügbarkeit. Damit für diese Umstellung ebenfalls vollständige Handlungs- und Rechtssicherheit besteht, hat der DVGW sein Regelwerk für den Einsatz von bis zu 100 % Wasserstoff angepasst und ergänzt es im Zeitraum der Erstellung des vorliegenden Konzeptes um noch wenige weitere Standards.

Selbst bei ausschließlicher Beachtung der Wasserstoffpreise auf Basis der zuvor genannten Indizes, ist ersichtlich, dass insbesondere mit Hinblick auf die künftigen Auswirkungen der CO₂-Bepreisung und mögliche Kostensenkungen bei den Elektrolyseuren, für Wasserstoff durchaus interessante Preisniveaus möglich erscheinen. Insbesondere für Gebäude, die aufgrund der technischen Anforderungen an die Wärmeversorgung nicht optimal oder gar nicht für den Einsatz von Wärmepumpen geeignet sind, könnte Wasserstoff im Falle ausreichender Verfügbarkeit und weiter fallender Kosten eine mögliche Alternative darstellen.

Einige Beispiele für Projekte aus der Praxis zur Erprobung der Wasserstoffnutzung können auf der Seite des BDEW gefunden werden: <https://www.bdew.de/energie/wasserstoff/wasserstoff-der-anwendung/>

8.5. Potenziale durch Veränderung des Verbrauchsverhaltens

Die zuvor genannten Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz erfordern in der Regel Investitionen und haben oft einen langen Zeitraum, bis sich die Kosten amortisieren. Es ist jedoch auch möglich, erhebliche Einsparungen beim Energieverbrauch in Privathaushalten zu erzielen, ohne den Lebenskomfort merklich zu beeinträchtigen. Diese Einsparungen können durch kleine Verhaltensänderungen oder das Vorziehen geplanter Kaufentscheidungen erreicht werden. Dies hat positive Auswirkungen auf die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und auf die Energiekosten eines Haushalts.

Ein erster Schritt zur Einsparung von Energie kann darin bestehen, den eigenen Energieverbrauch mit dem von ähnlichen Haushalten zu vergleichen (Abbildung 72). Die Faktoren, die den Wärmeverbrauch beeinflussen, wurden bereits in vorherigen Abschnitten behandelt und müssen hier nicht erneut besprochen werden. Hierbei ist vor allem die Größe der beheizten Fläche, die energetische Qualität der Gebäudehülle, die Effizienz der Heizungsanlage und der Zustand des Heizungssystems zu beachten.

Der Stromverbrauch wird in erster Linie durch die Warmwasserbereitung beeinflusst. Wenn diese elektrisch erfolgt, kann der Verbrauchsunterschied zwischen kleinen Haushalten und Haushalten, die andere Methoden zur

⁴³ DVGW (2023): Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit

Warmwasserbereitung nutzen, teilweise bis zu 40 % betragen. Darüber hinaus hängt der Stromverbrauch stark von der Haushaltsgröße ab, wobei der Pro-Kopf-Verbrauch mit steigender Anzahl von Personen abnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Geräte wie Kühlschränke oder Waschmaschinen gemeinsam genutzt werden. Gleiches gilt für das Kochen. Die sinkende durchschnittliche Haushaltsgröße, die auf veränderte soziale Gewohnheiten und den demografischen Wandel zurückzuführen ist, führt tendenziell zu einem höheren Gesamtstromverbrauch. Die Wohnungsgröße, insbesondere die durchschnittliche Wohnfläche, kann sich ebenfalls auf den Stromverbrauch eines Haushalts auswirken, obwohl dieser Faktor im Vergleich zum Wärmeverbrauch eine geringere Bedeutung hat. Die Variation ist hier größer, da der Verbrauch von der Geräteausrüstung und dem Nutzerverhalten abhängt. Die Art des Gebäudes spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Der Verbrauch in Einfamilienhäusern, die oft über Gärten mit elektrischen Geräten für die Gartenpflege oder Freizeitaktivitäten verfügen, ist im Vergleich zu Wohnungen in Mehrfamilienhäusern deutlich höher. Auch die Hilfsenergie trägt verhältnismäßig stärker zur Gesamtbelastung bei.

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			gering		mittel			sehr hoch	
			A	B	C	D	E	F	G
Haus	ohne Strom	1 Person	bis 1.400	bis 1.800	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.400	bis 4.500	über 4.500
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 2.800	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.300	über 4.300
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.400	bis 5.200	über 5.200
		4 Personen	bis 2.800	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
		5+ Personen	bis 3.200	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.200	bis 6.000	bis 7.600	über 7.600
	mit Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.500	über 5.500
		2 Personen	bis 2.400	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	bis 4.500	bis 6.000	über 6.000
		3 Personen	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.100	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.200	bis 5.000	bis 5.700	bis 7.000	bis 8.900	über 8.900
		5+ Personen	bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.000	bis 8.200	bis 10.800	über 10.800
Wohnung	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.000	bis 1.300	bis 1.500	bis 1.700	bis 2.100	über 2.100
		2 Personen	bis 1.400	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.300	bis 2.500	bis 3.000	über 3.000
		3 Personen	bis 1.700	bis 2.100	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.300	bis 3.800	über 3.800
		4 Personen	bis 1.800	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
		5+ Personen	bis 1.500	bis 2.100	bis 2.700	bis 3.400	bis 4.100	bis 5.500	über 5.500
	mit Strom	1 Person	bis 1.100	bis 1.400	bis 1.600	bis 1.900	bis 2.200	bis 2.800	über 2.800
		2 Personen	bis 1.900	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	über 4.000
		3 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.500	über 5.500
		4 Personen	bis 2.500	bis 3.400	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.400	über 6.400
		5+ Personen	bis 2.000	bis 3.000	bis 4.000	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500

■ **A = gering**
 Glückwunsch, Sie verbrauchen viel weniger Strom als vergleichbare Haushalte.

■ **B = niedrig**
 Sie benötigen weniger Strom als vergleichbare Haushalte. Doch auch Sie können noch sparen.

■ **C und D = mittel**
 Ihr Verbrauch liegt im Schnitt bzw. leicht darunter. Nutzen Sie alle Möglichkeiten zum Stromsparen aus.

■ **E und F = hoch**
 Sie verbrauchen mehr Strom als jeder zweite vergleichbare Haushalt. Stromsparen lohnt sich für Sie besonders.

■ **G = sehr hoch**
 Sie sollten dringend handeln. Sie verbrauchen mehr Strom als 85 % aller vergleichbaren Haushalte.

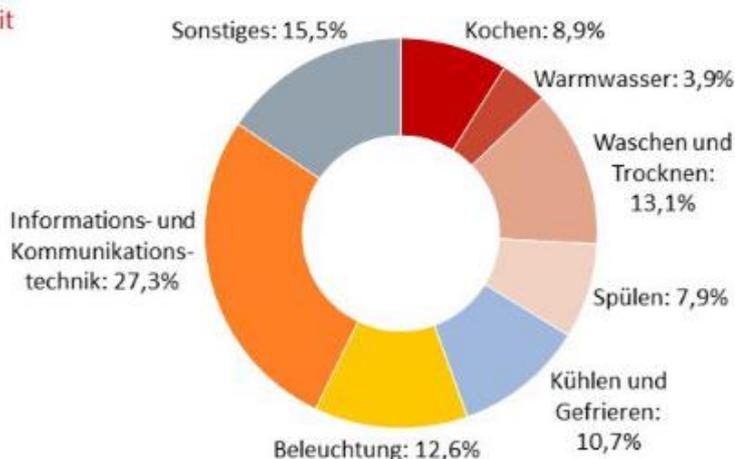
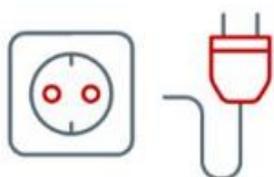
Abbildung 72: Stromverbrauch nach Haushaltstypen (Stromspiegel für Deutschland 2022/23)

Abbildung 72 zeigt die Ergebnisse des Stromspiegels für Deutschland und erleichtert die Einschätzung des eigenen Verbrauchs. Diese Ergebnisse basieren auf der Analyse von Verbrauchsdaten aus über 360.000 Haushalten. Auswertungen im Rahmen des Stromspiegels für Deutschland zeigen, dass ein durchschnittlicher 2-Personen-Haushalt in einem Einfamilienhaus ohne elektrische Warmwasserbereitung pro Jahr etwa 3.000 kWh verbraucht. Das durchschnittliche Einsparpotenzial kann mit ca. 600 kWh bzw. 20 % bewertet werden.

Im nächsten Schritt richten wir unseren Blick auf verschiedene Verbrauchskategorien, um die wichtigsten Stromverbraucher zu identifizieren. In Abbildung 73 werden die durchschnittlichen Anteile dieser Kategorien am Stromverbrauch in Privathaushalten veranschaulicht. Dort zeigt sich, dass der größte Anteil des Stromverbrauchs, nämlich 27 %, auf die Informationstechnik mit TV und Audio entfällt. Etwa 13 % des Stromverbrauchs entfallen auf Waschmaschinen und Trockner, während Kühl- und Gefriergeräte 11 % des Gesamtstromverbrauchs in Privathaushalten ausmachen. Die Kategorie "Sonstiges" umfasst unter anderem Gartengeräte und Heizpumpen.

Stromverbrauch im Haushalt

Durchschnittlicher Stromverbrauch eines Privathaushalts (ohne Haushalte, die mit Strom heizen)



Quelle: BDEW, Stand 03/2021

Abbildung 73: Anteil der Verbrauchskategorien am Strombedarf

Folgenden werden einige konkrete Maßnahmen zur Energieeinsparung aufgezeigt, die ohne große Investitionen umgesetzt werden können:

- **Leben in Wohngemeinschaften:** Die Förderung des Zusammenlebens in Wohngemeinschaften kann den Energieverbrauch reduzieren, da Ressourcen wie Wohnraum und Energie gemeinsam genutzt werden. Dies trägt zur Schonung der Umwelt und zur sozialen Vernetzung bei.
- **Gemeinsame Nutzung von Ressourcen:** Die gemeinsame Nutzung von Werkstätten, Freizeitgeräten und Waschstationen in Wohngemeinschaften oder Gemeinschaftswohnprojekten ermöglicht es den Bewohnern, Energie und Ressourcen effizienter zu nutzen. Dies fördert nicht nur die Nachbarschaftshilfe, sondern trägt auch zur Einsparung von Energie und Reduzierung des individuellen Ressourcenverbrauchs bei.
- **Gemeinschaftsgärten:** Die Anlage von Gemeinschaftsgärten in Wohnvierteln oder Gemeinschaftswohnprojekten fördert die lokale Lebensmittelproduktion und reduziert den Bedarf an transportierten Lebensmitteln. Dies trägt nicht nur zur Energieeinsparung durch den Transport bei, sondern stärkt auch die Gemeinschaft und fördert nachhaltiges Gärtnern.

- Richtige Raumtemperatur: Die gezielte Anpassung der Raumtemperatur an die tatsächlichen Bedürfnisse kann den Energieverbrauch reduzieren. Ein Grad Celsius weniger in beheizten Räumen kann durchschnittlich etwa 6 % Heizkosten sparen.
- Optimiertes Lüften und Heizen: Durch das gezielte Stoßlüften anstelle von dauerhaft geöffneten Fenstern kann die Luftqualität in Innenräumen verbessert und Energie gespart werden. Dies minimiert auch das Risiko von Schimmelbildung.
- Nutzen der vorhandenen Technik: Heizungsanlagen bieten Funktionen wie den abgesenkten Betrieb, um den Energieverbrauch zu optimieren. Die richtige Einstellung von Heizungsanlagen und Thermostatventilen kann weitere Einsparungen ermöglichen.
- Heizungsregler mit Zeitschaltfunktion: Der Einsatz von Heizungsreglern oder Thermostatventilen mit Zeitschaltfunktion ermöglicht eine bedarfsgenaue Steuerung der Wärmezufuhr. Dies ist besonders in Haushalten vorteilhaft, in denen die Bewohner tagsüber abwesend sind.
- Hydraulischer Abgleich: Der hydraulische Abgleich des gesamten Heizungssystems verhindert die Über- und Unterversorgung einzelner Heizkörper und sorgt für eine gleichmäßige Wärmeversorgung, was zu Einsparungen führt.
- Effiziente Beleuchtung: Der Austausch herkömmlicher Lampen gegen energieeffiziente LED-Leuchtmittel führt durch die längere Lebensdauer und den geringeren Energieverbrauch zu Einsparungen.
- Stand-by-Vermeidung: Elektrogeräte sollten vollständig ausgeschaltet werden, da sie im Stand-by-Modus immer noch Energie verbrauchen. Steckdosenleisten mit Schaltern können dabei helfen.
- Anpassung der Werkseinstellungen: Das Anpassen von Einstellungen an Elektrogeräten, wie der Helligkeit des Fernsehers oder der Kältestufe des Kühlschranks/Gefriertruhe, kann den Energieverbrauch reduzieren.
- Effizientes Waschen und Spülen: Die Verwendung optimierter Waschprogramme, niedrigerer Waschttemperaturen und das Betreiben von Geräten nur bei voller Beladung können den Energieverbrauch senken.

Über diese nichtinvestiven Maßnahmen hinaus kann der Stromverbrauch in Privathaushalten durch den Austausch ineffizienter Leuchtmittel und Elektrogeräte weiter reduziert werden. Zum Beispiel können alte Kühlschränke, Heizungspumpen, oder Router durch energieeffiziente Modelle der Klasse A ersetzt werden, was zu erheblichen Einsparungen führt. Präzise Aussagen über das Einsparpotenzial sind jedoch von individuellen Faktoren und Gewohnheiten abhängig, aber Einsparungen von 5 bis 10 % erscheinen realistisch.

Da das Verbraucherverhalten stark durch Gewohnheiten bestimmt wird, benötigt es i.d.R. Impulse von außen, um Verhaltensänderungen zu bewirken. Voraussetzung für eine Verhaltensänderung sind zum einen das Wissen über den eigenen Energieverbrauch und zum anderen über die Einsparmöglichkeiten. Im Internet oder bei Verbraucherkonzernen bestehen bereits zahlreiche Informations- und Beratungsangebote für die Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der Energiekosten in privaten Haushalten, beispielsweise unter:

- <https://www.stromspiegel.de/>
- <http://www.die-stromsparinitiative.de/beratung/stromcheck>
- <http://www.ganz-einfach-energiesparen.de/>

Empfehlenswert zur Sensibilisierung ist auch eine Berechnung des individuellen energetischen Fußabdrucks, der darauf aufmerksam macht, wie viel Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen mit dem eigenen Lebensstil verbunden sind. Dies ermöglicht es, bewusster Entscheidungen zu treffen und gezielte Maßnahmen zur Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks zu ergreifen. Problematisch ist, dass einzelne Haushaltsgruppen durch dieses Informations- und Beratungsangebot nicht erreicht werden (z. B. ältere Menschen), dass sie für diese Problematik nicht ausreichend sensibilisiert sind (d. h. sie suchen überhaupt nicht nach entsprechenden Informationen und sind sich des Einsparpotenzials nicht bewusst) oder durch die Informationsflut sowie die Art der Informationsdarstellung überfordert werden. Vor diesem Hintergrund muss eine zielgruppengerechte Informationsvermittlung stattfinden, die insbesondere bei älteren Menschen auch den persönlichen Kontakt umfassende Formen verlangt. Dies kann in Form von öffentlichen Informationsveranstaltungen und persönlichen Beratungsgesprächen geschehen. Auch das Involvieren der kommunalen Verwaltungsstrukturen in die Sensibilisierungskampagne ist zu empfehlen. Die Koordination, Organisation und Durchführung der Informations- und Beratungsangebote sowie die notwendige Einbindung relevanter Akteure sollten von einem Sanierungsmanagement übernommen werden.

8.6. Potentiale der zentralen Wärme

Die Klimaschutzpolitischen Zielsetzungen auf Bundesebene geben das Erreichen der Klimaneutralität im Jahr 2045 vor. Dies bedeutet grundsätzlich, dass die Wärmeversorgung in absehbarer Zeit nicht mehr mit fossilen Energieträgern erfolgen kann. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit des künftigen Umstiegs auf strombasierte Wärmeerzeuger (Wärmepumpe, Direktheizungen), Erzeuger auf Grundlage erneuerbarer Energien (Solarthermie, Biogas, im Bestand Biomasse) oder ggf. andere aktuell zwar diskutierte aber noch nicht marktreife oder unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen verfügbare Alternativen, deren Einsatz zudem auch in anderen Sektoren erforderlich sein wird und somit Zweifel an deren ausreichender Verfügbarkeit bestehen (synthetische Energieträger, Wasserstoff usw.). Die zum Zeitpunkt der Konzepterstellung geltende Gesetzgebung sieht vor, dass Verbraucher zum einen durch Fördermöglichkeiten und zum anderen durch die Preisaufschläge bei fossilen Energieträgern durch die Einführung der CO₂-Steuer zur Umrüstung ihrer Heizungsanlagen und zum Umstieg auf nichtfossile Energieträger motiviert werden. Die im Herbst 2023 verabschiedete Novelle des GEG macht zudem weitreichende Vorgaben hinsichtlich der aktuellen und künftigen Nutzung fossiler Energien bei der Neuinstallation bzw. dem Ersatz von Wärmeerzeugungsanlagen. Diese sind auch an die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung gekoppelt, deren Umsetzung auf kommunaler Ebene wiederum mit dem zum 01.01.2024 in Kraft getretenen Bundesgesetz *für die kommunale Wärmeplanung und Dekarbonisierung der Wärmenetze* geregelt wird (Ausführungsvorschriften auf Landesebene sollen die Vorgaben konkretisieren, bestanden zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Konzeptes in Thüringen jedoch noch nicht).

Zentrale netzbasierte Wärmeversorgungssysteme spielen in den Überlegungen zur nachhaltigen Gestaltung der Wärmeversorgung insbesondere für die Bestandsgebäude eine wesentliche Rolle. Durch den Anschluss an ein Nah- oder Fernwärmenetz können die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. In Hinblick auf die anstehenden Herausforderungen beim erforderlichen Aufbau einer klimaneutralen Wärmeversorgung weisen Wärmenetze einige Vorteile auf. Hierzu gehört bspw. die Flexibilität auf der Erzeugerseite, denn sie lassen sich mit einem Energieträgermix betreiben und sind prinzipiell technologieoffen.

Wärmenetze können den technologischen und marktwirtschaftlichen Entwicklungen sowie klimapolitischen Anforderungen angepasst werden d.h. die Wärmeerzeugungsanlage kann künftig umgerüstet oder ergänzt werden, bzw. der Energieträger kann geändert werden. Sie ermöglichen die Einbindung verschiedener erneuerbarer Energien aber aktuell zum gewissen Ausmaß auch erdgasbasierter KWK- oder Spitzenlastanlagen. Diese können dabei künftig mit Biogas oder im Falle ausreichender Verfügbarkeit mit Wasserstoff bzw. Synthetischen Gasen betrieben werden. Zugleich stellen Wärmenetze ein Instrument der Sektorenkopplung dar, insbesondere in Form der Nutzung von Power-to-Heat/Gas-Technologien. Somit können sie technisch auch als Lastsenken für überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energien und als Beitrag zur Stabilisierung der Stromnetze fungieren. Die Netze können im gewissen Umfang eine Speicherfunktion einnehmen und somit Schwankungen volatiler Energien abpuffern.

Letztendlich ermöglicht erst der Infrastrukturwandel in Richtung Wärmenetze den Einsatz aller verfügbaren erneuerbarer Energien in großem Maßstab – also mehr als nur den „additiven“ Einsatz von Solarthermie zur Brauchwassererwärmung – bei der Wärmeversorgung der Bestandsgebäude. Da einzelne Formen erneuerbarer Energien nur fluktuierend zur Verfügung stehen, benötigt man mehrvalente Heizsysteme, um die Wärmeversorgung jederzeit und besonders im Winter kontinuierlich zu gewährleisten. Mehrvalente Heizsysteme ermöglichen die kombinierte Nutzung von z. B. Kraft-Wärme-Kopplung, Großwärmepumpe, sehr großer Solarthermie mit Langzeitwärmespeicher, Biomasse-basierter Kesselanlagen oder industrieller/gewerblicher Abwärme. Die fossile Kraft-Wärme-Kopplung wird dabei in Zukunft eine immer geringere Rolle spielen und der fossile Energieträger durch eine nachhaltige Energieform ersetzt. Mehrvalente Heizsysteme sind technisch anspruchsvoll. Ihr Einsatz in Einzelfeuerungsanlagen (im GEG wird von sog. Hybridheizungsanlagen gesprochen) wäre sehr teuer und unter Wirtschaftlichkeitsaspekten ineffizient. Wärmenetze sind die – wirtschaftliche – Voraussetzung dafür, erneuerbare Energien großvolumig über bi- und mehrvalente Heizsysteme einzusetzen. Es zeichnet sich deutlich ab, dass Strom zukünftig auch im Wärmebereich eine größere Rolle spielen wird. Da der Strompreis das Verhältnis von Angebot und Nachfrage spiegelt - ist der Strom knapp, steigt der Strompreis – würde ein allein auf „erneuerbaren Strom“ ausgerichtetes Wärmesystem höheren Kostenrisiken ausgesetzt sein. In mehrvalenten Heizsystemen kommt stets der jeweils kostengünstigste Energieträger zum Einsatz. Darüber hinaus muss Strom aus erneuerbaren Energien auch unter dem Aspekt der Verfügbarkeit betrachtet werden, sodass aufgrund der künftig steigenden Nachfrage nach Strom auch in anderen Sektoren (z.B. Mobilität) eine Diversifizierung der Energieträger im Wärmesektor sinnvoll ist. Dies sind nur einige Aspekte, die verdeutlichen sollen, welche Vorteile eine netzbasierte Wärmeversorgung nach sich zieht und wie relevant diese für die erfolgreiche Gestaltung der Energiewende ist.

Die kommunale Wärmeplanung soll ein strategisches Instrument zur langfristigen Steuerung der kommunalen Wärmewende schaffen. Die Stadt Apolda strebt in enger Abstimmung mit der kommunalen Energiewirtschaft (ENA/EVA) sowie der Wohnungswirtschaft die Entwicklung dieser Strategie an. Die folgenden Überlegungen sollen diese nicht ersetzen. Sie sollen lediglich erste Ansatzpunkte liefern, die weiter zu vertiefen sind.

Zur ersten Abschätzung der Eignung eines Gebietes für den Aufbau einer netzbasierten Wärmeversorgung haben sich einige quantitative Ansätze etabliert. Der Aufbau von Wärmenetzen wird – zum Zeitpunkt der Konzepterstellung – durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) und nach dem KfW-Programm „Erneuerbare

Energien Premium“ gefördert. Nach dem BEW bestehen hinsichtlich der Größe der Wärmeabgabe nur folgende Mindestanforderungen an das Netz: es sollen mindesten 16 Gebäude oder 100 Wohneinheiten angeschlossen sein. Nach KfW gilt für geförderte Wärmenetze (Programm Erneuerbare Energien „Premium“ 271/281 Wärme- oder Kältenetze, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden) eine Mindestwärmeliniedichte von 500 kWh/Trassenmeter und Jahr (kWh/m_{Tr}/a). Der Wert ist für das Wärme- oder Kältenetz im Mittel über das gesamte Netz zu erreichen, sodass Trassenbereiche mit geringeren Werten durch Trassenbereiche mit höheren Werten ausgeglichen werden können. In der Praxis haben sich zwei Kennzahlen bewährt, die frühzeitig eine erste Einschätzung über die Eignung eines Gebietes für den Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung ermöglichen.

Die **Wärmebedarfsdichte** gibt an, wie hoch der Bedarf an Wärme bezogen auf eine bestimmte Fläche geschätzt wird, z. B. in einem Quartier oder in einem Baugebiet. Ein überschlägiger Schwellenwert, der auf eine für eine zentrale Wärmeversorgung geeignete Fläche hinweist, beginnt je nach Publikation ab ca. 150 MWh/ha.⁴⁴

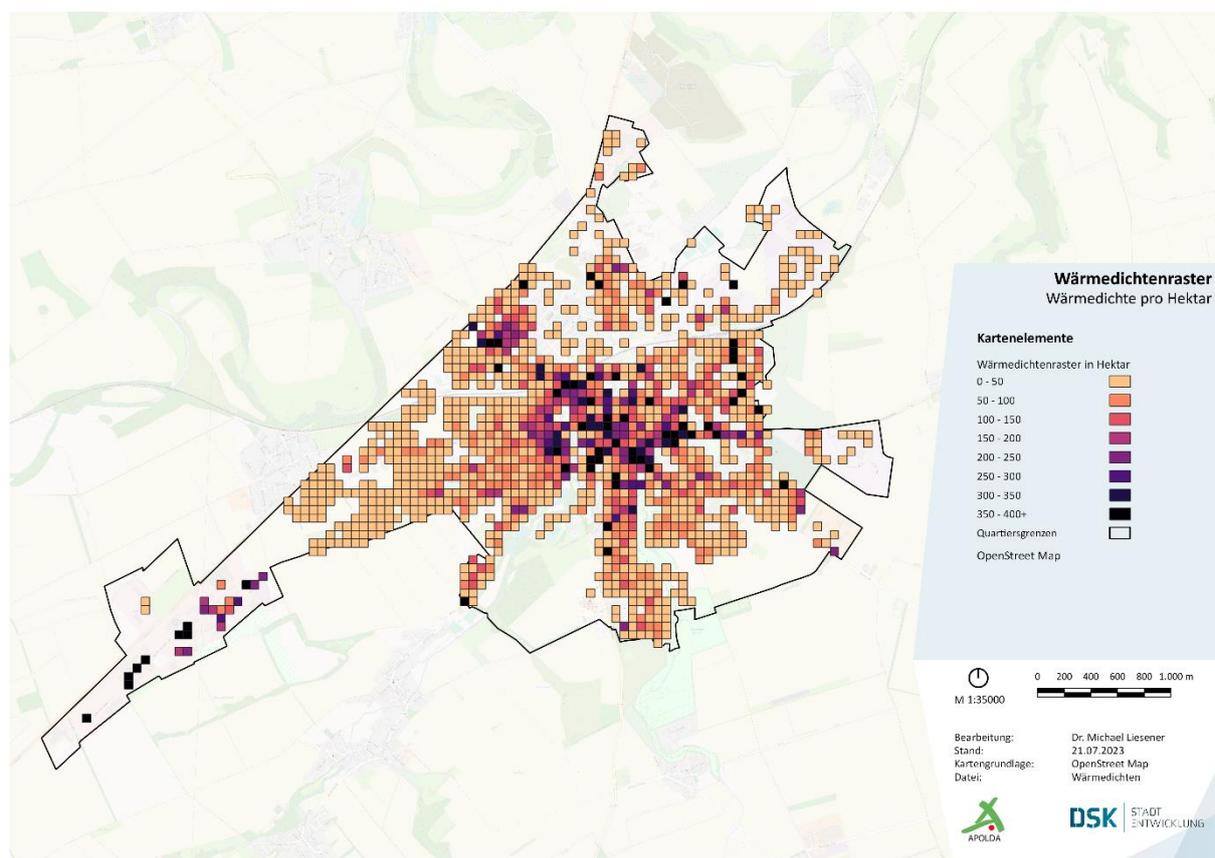


Abbildung 74: Wärmebedarfsdichte –Untersuchungsgebiet Apolda [MWh/ha]

⁴⁴ Die genaue Höhe des Grenzwertes ist nicht unumstritten. In einzelnen Publikationen lassen sich auch deutlich abweichende Werte vorfinden. So empfiehlt ein Leitfaden des zuständigen Bundesministeriums als Grenzwert für ein Nahwärmenetz mit BHKW einen Nutzenergiebedarf von 300 MWh/ha. Ab einem Wert von 500 MWh/ha sind auch Fernwärmenetze wirtschaftlich. Unterhalb von 300 MWh/ha wird eine Versorgung mit Erdgas empfohlen (BMVBS 2011).

Die **Wärmeliniendichte** weist darauf hin, wie viel Wärme bezogen auf eine bestimmte Länge einer Wärmetrasse abgegeben werden kann. Hier hat sich ein Richtwert von 500 kWh/m_{Tr}/a etabliert, der auch von der KfW verwendet wird.

Auf Grundlage der Erdgasabsätze, die durch die EVA bereitgestellt wurden, kann für das Untersuchungsgebiet eine erste Flächenpotenzialkarte erstellt werden. Diese zeigt in einem Raster von 100 x 100 m (1 Hektar) die jeweilige Wärmebedarfsdichte (Abbildung 74). Eine grobere Auflösung mit ungenaueren Daten der Wärmebedarfsdichte lässt sich zudem in auf der Onlineplattform TRAIL finden.⁴⁵

Die Rasterzuordnung der Wärmebedarfe führt verständlicherweise zu Vereinfachungen und kann insbesondere bei großen Gebäuden, die partiell in mehrere Raster fallen gewisse Verzerrungen zur Folge haben. Eine weitere Verzerrung ergibt sich bei Rastern in die Grünflächen oder Gärten fallen. So kann ein Raster mit einer entlang einer Straße konzentrierten Bebauung, die einen durchaus hohem Wärmebedarf aufweist, aufgrund der dahinterliegenden Gärten einen eher geringen Flächenkennwert aufweisen. Dennoch, aus der Darstellung ist ersichtlich, dass insbesondere der sehr dicht bebaute zentrale Altstadtkern sowie Bereiche mit Geschosswohnbau hohe Flächenkennwerte aufweisen und somit potenzielle Eignungsgebiete für netzbasierte Versorgungssysteme darstellen.

Im nächsten Schritt wurden Trassenverläufe für ein hypothetisches Wärmenetz auf Grundlage des Straßennetzes gebildet. Für diese wurden Wärmeliniendichten für jeweils gleich lange Teilabschnitte ermittelt. Mit diesem Indikator lassen sich auch die oben beschriebenen methodischen Probleme in Bezug auf die Flächenkennwerte gut überbrücken.

Die Darstellung in Abbildung 75 auf Basis der Wärmeliniendichten bestätigt einerseits die zuvor genannte Einschätzung über Eignungsgebiete – Geschosswohnbaubereiche, Altstadt. Sie zeigt zugleich, dass sich auch zahlreiche weitere Bereiche sehr gut für den Aufbau von Wärmenetzen eignen (Kennwert > 500 kWh/m_{Tr}/a). So können einzelne große Abnehmer dazu beitragen, dass die Verlegung eines Netzes in gewisse Bereiche sinnvoll ist, wodurch sich für entlang der Trasse liegende kleinere Abnehmer Möglichkeiten zum Anschluss bieten können. Beispiele für solche „Großabnehmer“ sind kommunale Liegenschaften, Krankenhäuser oder größere Gewerbeeinrichtungen.

⁴⁵ <https://www.trail-energie.de/bedarfsatlas/gemeindeinformationen/heat.htm?id=170619EAA94>

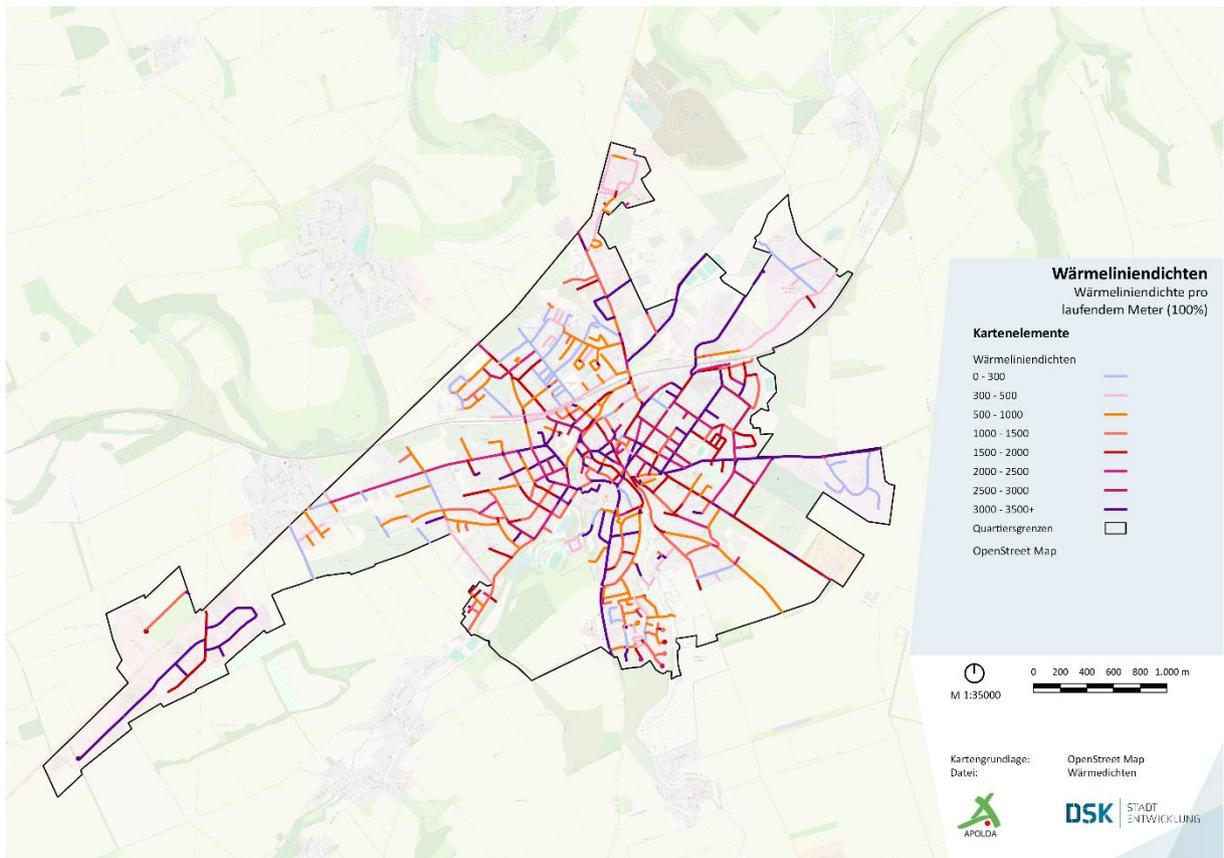


Abbildung 75: Wärmelinien [$\text{kWh}/\text{m}_{\text{Tr}}/\text{a}$] – Anschlussquote 100 %]

Abbildung 75 betrachtet den hypothetischen Fall einer 100 % Anschlussquote, d.h. wenn sich alle Objekte/Wärmeverbraucher auch an das Wärmenetz anschließen und über dieses versorgt werden. Diese Annahme ist aus mehreren Gründen unrealistisch. So können z.B. einzelne Objekte bereits heute über dezentrale Wärmeerzeuger verfügen, die die künftigen Vorgaben des GEG erfüllen (z.B. Wärmepumpe), einzelne Eigentümer werden kurzfristig ihre Objekte sanieren und in diesem Zusammenhang auch ein neues Heizungssystem einbauen, einzelne Eigentümer werden aus unterschiedlichen Gründen kein Interesse am Netzanschluss haben und eher eine dezentrale Lösung präferieren usw. Auch bei einzelnen Gewerbeobjekten (z.B. Einzelhandelsketten) ist erfahrungsgemäß davon auszugehen, dass hier eigene standardisierte Systemlösungen bestehen. Nicht zuletzt wird sich der Wärmebedarf in der Zukunft auch durch Sanierungsmaßnahmen verändern. Daher wurden Wärmelinienkennwerte auch für eine Anschlussquote von 50 % (Abbildung 77) und 75 % (Abbildung 76) ermittelt.

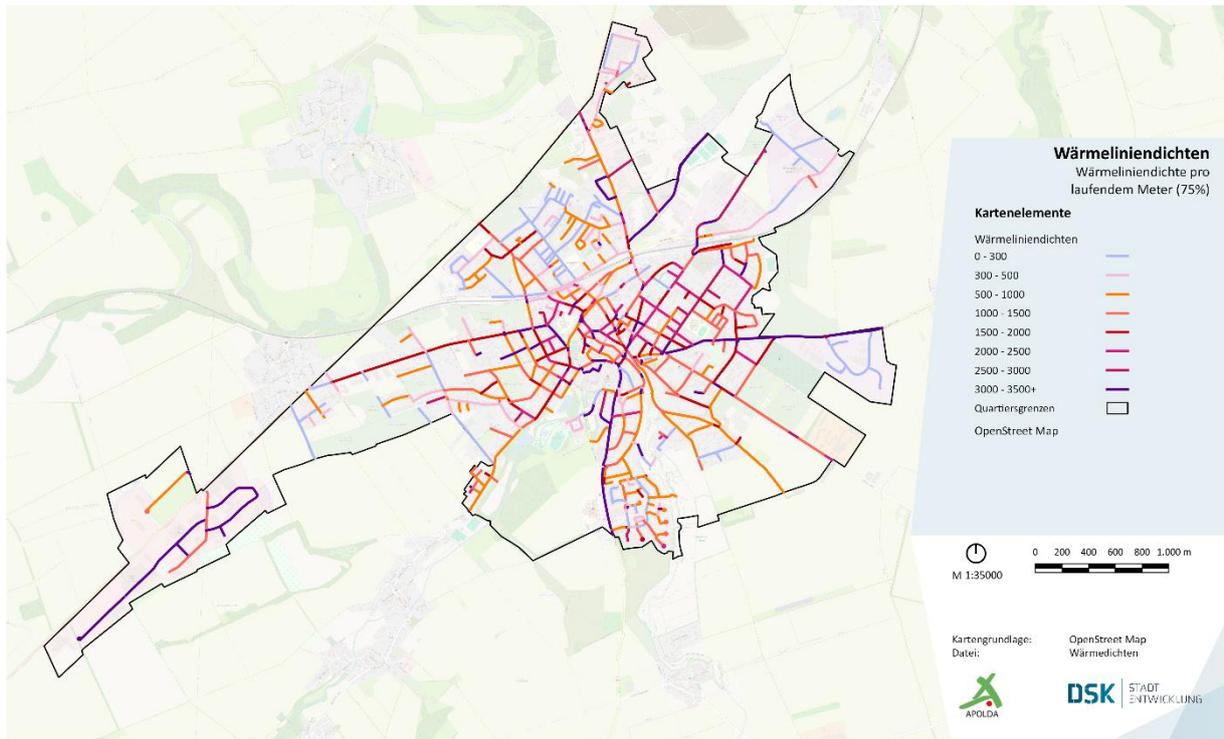


Abbildung 76: Wärmeliniedichte [kWh/ m_{Tr}/a] – Anschlussquote 75 %

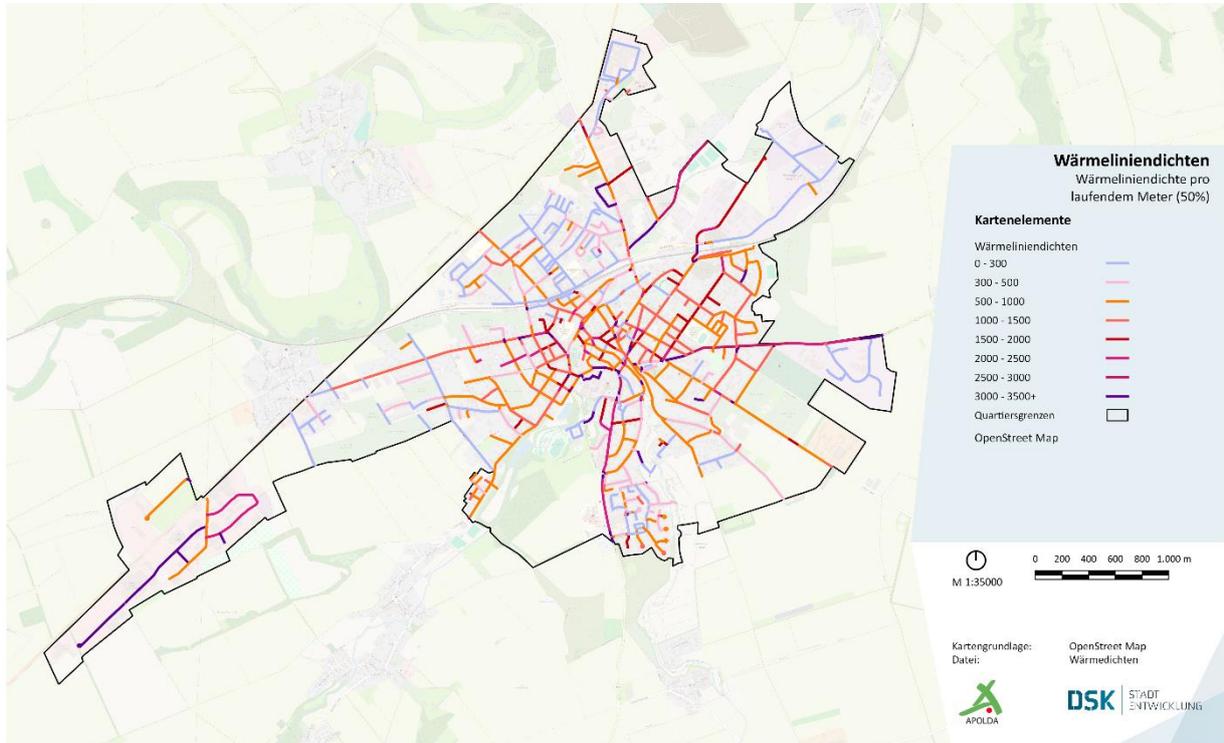


Abbildung 77: Wärmeliniedichte [kWh/ m_{Tr}/a] – Anschlussquote 50 %

Die Darstellungen verdeutlichen, dass insbesondere der hochverdichtete Bereich in der Kernstadt Apoldas gute Voraussetzung für eine netzbasierte Wärmeversorgung aufweist. Daneben ist das Gebiet um die Strobaer Straße im Südosten der Stadt ebenfalls als Ausbaugesbiet geeignet, da dort ebenfalls eine starke Verdichtung der Gebäude und Gewerbe vorhanden ist, wodurch der Kennwert sehr hoch liegt. Selbst unter Berücksichtigung einer geringen Anschlussquote und Sanierungstätigkeiten in den kommenden Jahren, übersteigen die Kennwerte in diesen Bereichen die zuvor genannten Grenzwerte. Das Gebiet im Norden des Untersuchungsgebietes, welches sich durch Geschosswohnbau auszeichnet, ist bereits mit Fernwärme erschlossen wird daher im weiteren Verlauf nicht nochmals betrachtet.

Die zuvor beschriebenen kennwertbasierten Betrachtungen dienten als Grundlage für einen Workshop unter Teilnahme der Vertreter der Stadt und der ENA/EVA. Im Rahmen des Workshops wurden vorschläge für prioritäre Gebiete für weitergehende Untersuchungen zum Aufbau einer netzbasierten Wärmeversorgungsinfrastruktur besprochen. So wurden im ersten Schritt zwei Vorranggebiete ermittelt.

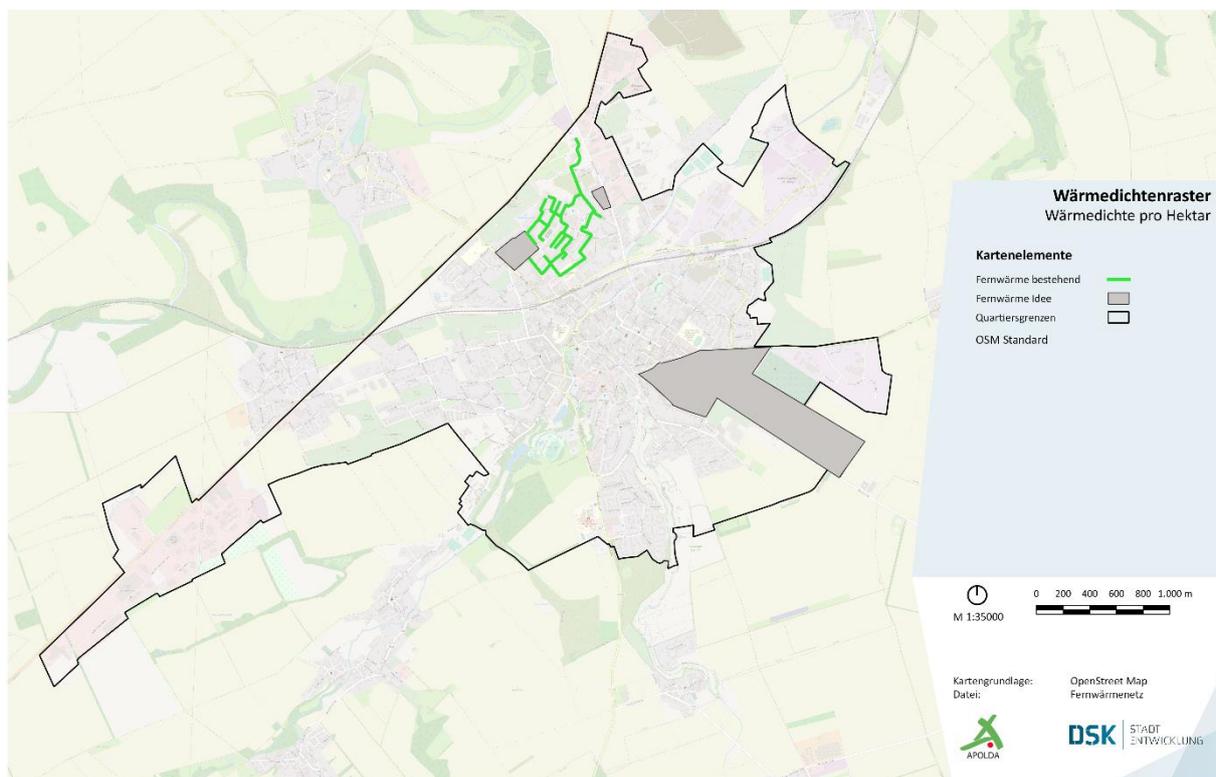


Abbildung 78: Vorranggebiete für den Ausbau Fernwärme

Die grau markierten Vorranggebiete in der Abbildung 78 weisen unterschiedliche Größen und Absatzmengen auf. Das südöstliche Gebiet ist in der folgenden Abbildung nochmals deutlicher zu erkennen. Es verfügt über eine Größe von 59 Hektar, der Erdgasabsatz in diesem Bereich liegt bei 15.529 MWh pro Jahr. Zudem liegen im Gebiet mit dem Seniorenheim, dem Bauhof, sowie dem Tierheim unterschiedliche kommunale und gewerbliche Großabnehmer.



Abbildung 79: Ausbaugbiet Apolda Ost

Ein zweites Vorranggebiet wurde im Norden der Stadt identifiziert, wie die folgende Abbildung zeigt. Das Gebiet ist circa 6,1 Hektar groß und der Erdgasabsatz liegt bei derzeit 1.551 MWh p.a. Es zeichnet sich durch zwei besondere Gegebenheiten aus. Zum einen befinden sich hier mehrere Mehrfamilienhäuser. Diese ermöglichen eine konzentrierte Wärmeabnahme, wobei der eventuelle Anschluss aufgrund der homogenen Eigentümerstruktur leichter erfolgen kann. Die trifft nicht auch das gesamte Gebiet zu, da sich hier auch zahlreiche Einfamilienhäuser befinden, die aufgrund der Eigentümerstruktur komplexer zu erschließen sind. Zum anderen befindet sich das Gebiet direkt angrenzend an das schon vorhandene Fernwärmenetz, sodass eine einfache Erschließung und Versorgung über das bestehende Heizhaus möglich sind.

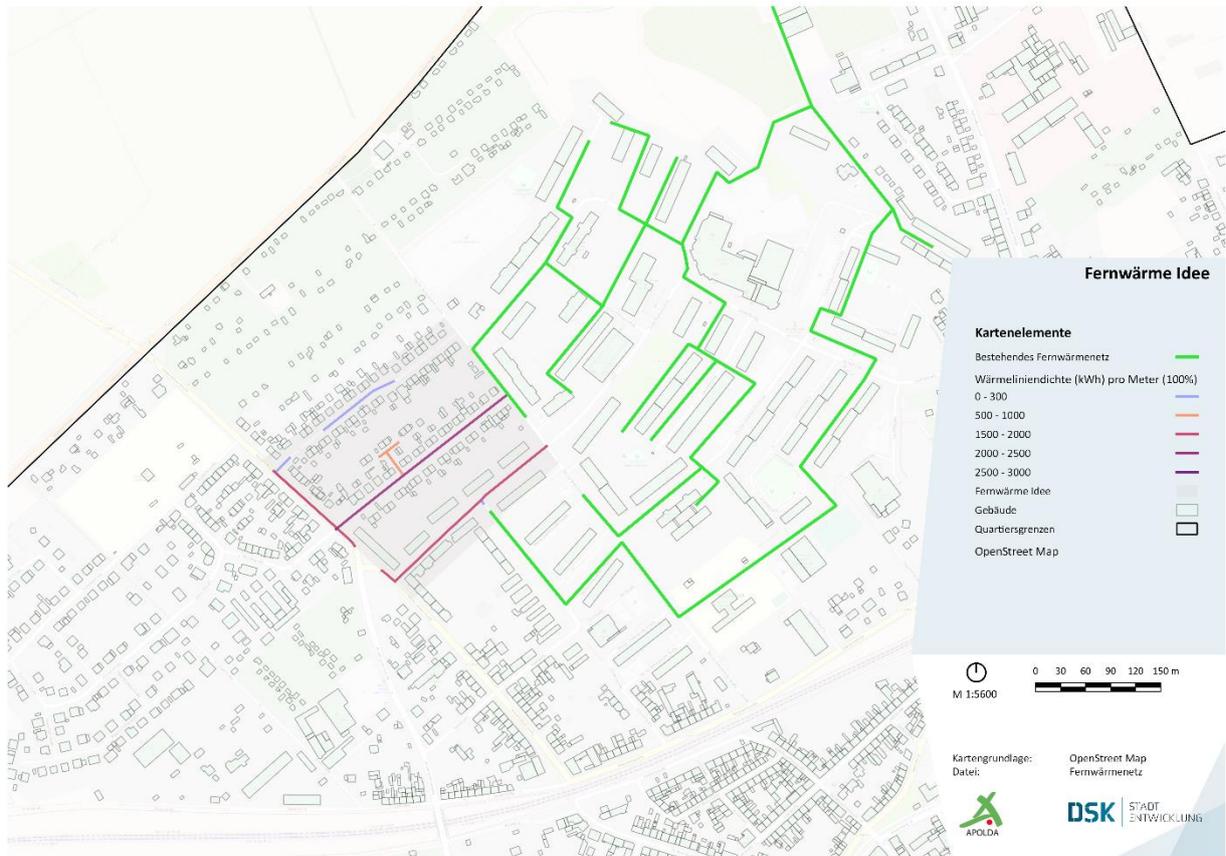


Abbildung 80: Ausbaubereich Apolda Nord

Tabelle 32: Wärmebedarf im Versorgungsgebiet Ost (Eigene Darstellung)

Auslegungsparameter		
Erdgasabsatz im Gebiet	15.529.000	kWh
Heizwärmebedarf (87% Kesselwirkungsgrad)	13.510.230	kWh
Netzlänge	6.000	m
Netzverlust (15 W/m)	788.400	kWh
Wärmebedarf	14.298.630	kWh

Tabelle 33: Wärmebedarf im Versorgungsgebiet Nord (Eigene Darstellung)

Auslegungsparameter		
Erdgasabsatz im Gebiet	1.551.000	kWh
Heizwärmebedarf (87% Kesselwirkungsgrad)	1.349.370	kWh
Netzlänge	1.500	m
Netzverlust (15 W/m)	197.100	kWh
Wärmebedarf	1.546.470	kWh

Der aktuelle Wärmeverbrauch der Objekte ist dabei nicht mit deren Heizwärmebedarf gleichzusetzen, da der Wärmeverbrauch auch die Verluste der Heizsysteme inkludiert. Bei einer zentralen Wärmeversorgung entstehen beim Abnehmer nahezu keine Verluste. Die Verluste fallen jedoch bei der Erzeugung in der Heizzentrale sowie beim Transport im Netz an. Die durch das Wärmenetz an den Objekten bereitzustellende Wärme ist somit geringer, als deren aktueller Wärmeverbrauch. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** stellt die Wärmemengen für mögliche Wärmenetze ausschließlich auf Basis der aktuellen Erdgasabsätze in den Versorgungsgebieten dar. Da von einer sehr hohen Versorgungsquote mit Erdgas auszugehen ist, sollte der nicht durch Erdgas gedeckte Wärmebedarf hier unter 10% liegen. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass durch die Wärmenetzinfrastruktur der komplette aktuelle Erdgasbedarf ersetzt wird (d.h. 100% Anschlussquote der Erdgasabnehmer ans Wärmenetz).

Biomasse

Ein mögliches Potenzial stellt feste Biomasse dar, die in den umliegenden Wäldern anfällt. Die für die Wärmebereitstellung erforderliche Rohstoffmenge ist abhängig von der Holzart und insbesondere vom Wassergehalt des Holzes (beispielhaft: Tabelle 34).

Tabelle 34: Energiegehalt Holz (C.A.R.M.E.N. eV)

Wassergehalt in %		0	15	20	30	50
Einheit		Heizwert in kwh				
Fichte (Dichte 379 kg TM/Fm)	kg	5,2	4,32	4,02	3,44	2,26
	Fm	1.971	1.926	1.904	1.863	1.713
	Rm	1.380	1.348	1.333	1.304	1.199
	Srm	788	770	762	745	685
Buche (Dichte 558 kg TM/Fm)	kg	5	4,15	3,86	3,3	2,16
	Fm	2.790	2.724	2.692	2.631	2.411
	Rm	1.953	1.907	1.885	1.841	1.687
	Srm	1.116	1.090	1.077	1.052	964

Fm= Festmeter, TM=Trockenmasse, Rm=Raummeter (gespaltet, geschichtet); Srm= Schüttraummeter (Hackschnitzel)

Die gesamte anfallende Wärmemenge in den Quartieren würde bei einem Kesselwirkungsgrad von 90 % beispielhaft 3.499 t (7.387 Fm) für das östliche Quartier p.a. Fichtenholz mit einem Wassergehalt von 20 % erfordern. Bei dem gleichen Ressourceneinsatz wären 352 t (744 Fm) für das nördliche Quartier erforderlich.

Theoretisch möglich ist auch das Anlegen von Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Hölzern (z.B. Pappeln). Die jährlichen Erträge variieren in Abhängigkeit vom Standort (10-15 t/ha). Bei einem Heizwert von ca. 2,16 kWh/kg (50 % Wassergehalt, d.h. Verwendung ohne Trocknung) entspricht dies einem Jahresertrag von ca. 21.600-

32.400 kWh/ha. Mit einer Anbaufläche von 100 ha könnte man bei einem Kesselwirkungsgrad von 90 % ca. den aktuellen Wärmebedarf zu ca. 23% (Ost); 100% (Nord) ersetzen. Hier wird deutlich, dass es sich lediglich um eine ergänzende Energiequelle handeln kann, da deren Flächenbedarf hoch ist.

Solarthermie

Eine weitere Option bietet die Nutzung von Solarthermie, die auf einer Freifläche installiert werden könnte. Je nach Kollektoranordnung ergibt sich ein Verhältnis zwischen Grundfläche und Kollektorfläche zwischen 2 und 3. Bei einem Kollektorsertrag von ca. 450 kWh/m² ergibt sich somit ein Wärmeertrag von ca. 1.800 MWh/ha. Die Installationskosten betragen ca. 800-900 Euro/m² Kollektorfläche. Rechnerisch könnte mit einer Fläche von ca. 7,95 ha der gesamte Wärmebedarf des Wärmenetzes Ost gedeckt werden. Für das Gebiet im Norden wären es 0,86 ha. Prinzipiell ist der solarthermische Ertrag deutlich höher, die Temperaturniveaus liegen jedoch für einen Teil der Erträge unterhalb der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes. Auch diese Wärme kann jedoch auf unterschiedliche Weise verwertet werden, z.B. zur Regeneration der Sonden, zur Anhebung der Rücklauftemperatur, als Vorlauf für die Wärmepumpe usw.

Da solare Wärme insbesondere in den Sommermonaten verfügbar ist, kann deren Nutzung nur über den Einsatz von Speichertechnologien auch saisonal verlagert bzw. bei ausreichend großer Dimensionierung ganzjährig nutzbar gemacht werden. Liegt die Vorlauftemperatur der Solarthermieanlage oberhalb der Netztemperatur, kann die Solarthermieleistung (über einen Wärmeübertrager) direkt ins Wärmenetz übertragen werden. Liegt das Temperaturniveau unterhalb der Netzvorlauftemperatur, kann der Vorlauf genutzt werden, um bspw. einer Wärmepumpe mehr Quellenleistung zur Verfügung zu stellen. Prinzipiell sind mehrere Varianten für saisonale Speicher möglich:

- Erdbehälter-Wärmespeicher (Tank Thermal Energy Storage TTES): Ein thermisch isolierter Behälter, z.B. aus bewehrtem Beton oder glasfaserverstärktem Kunststoff, wird zum Teil in den Untergrund verbaut und mit Wasser gefüllt. Es wird eine thermische Schichtung angestrebt.
- Erdbeckenwärmespeicher (Pit Thermal Energy Storage PTES): Die geneigten Wände einer Grube werden mit Wärmedämmung und wasserundurchlässiger Folie ausgekleidet. Die Grube wird mit Wasser gefüllt und mit einer thermisch isolierten, ggf. schwimmenden, Abdeckung verschlossen. Es wird eine thermische Schichtung angestrebt.
- Erdwärmesondenspeicher (Borehole Thermal Energy Storage oder BTES): Die Wärme wird über Erdwärmesonden in den Untergrund eingebracht und dort direkt gespeichert. Es sind verschiedene Anordnungen der Erdwärmesonden möglich.
- Aquiferwärmespeicher (Aquifer Thermal Energy Storage ATES): Wärme wird über eine Brunnenanlage in einem Aquifer gespeichert. ATES eignen sich besonders für die Gebäudekühlung

Die Wärmegestehungskosten fallen mit zunehmender Speichergröße und Einbindung in die Nutzung. Bei Anlagen mit ca. 300 m³ können sie mit ca. 10 ct/kWh angesetzt werden.

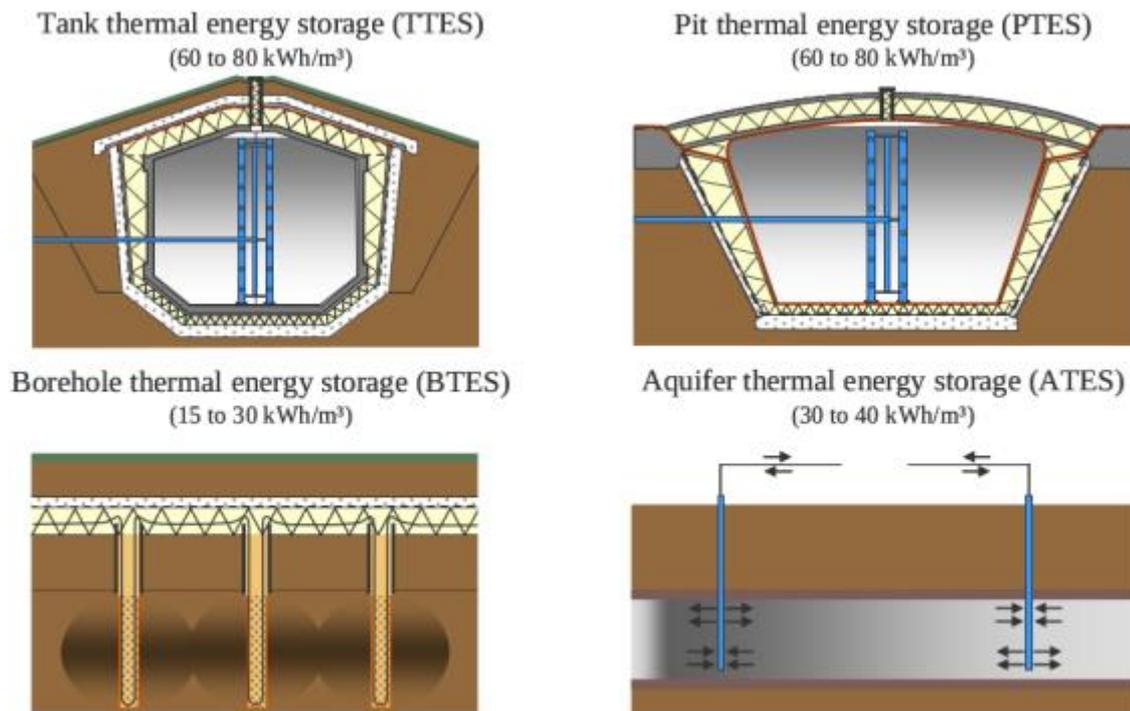


Abbildung 81: Übersicht saisonale Speichersysteme⁴⁶

Wärmepumpen

Wärmepumpen werden sowohl in den dezentralen als auch in den zentralen Versorgungssystemen der Zukunft eine wichtige Rolle übernehmen. Die Wärmepumpe nutzt dabei die Wärme der Umwelt (Luft, Grundwasser, Erdrich, Abwärme) und hebt diese unter Einsatz von Strom über einen Wärmetauscher auf das erforderliche Temperaturniveau. Je höher die Temperatur des genutzten Mediums (und je geringer die erforderliche Heiztemperatur), desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Die am einfachsten zu erschließende Wärmequelle stellt die Luft dar. Da die Temperatur der Umgebungsluft antizyklisch zum Wärmebedarf ist und im Jahresmittel aktuell unterhalb des Niveaus des Grundwassers oder geothermischer Wärme liegt, erreichen die auf Basis von Außenluft betriebenen Wärmepumpen auch im Vergleich zu den anderen Medien geringere Effizienzgrade (gemessen als Jahresarbeitszahl d.h. dass über ein Jahr gemittelte Verhältnis zwischen eingesetzter elektrischer Energie und gewonnener Wärme).

Dennoch können Luft-basierte Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Gesamtkonstellation der Erzeugungsanlage eine sehr sinnvolle Systemkomponente darstellen. So ist bspw. die Außenlufttemperatur in großen Teilen des Jahres deutlich höher als die Temperatur des Erdbodens oder Grundwassers. Durch die Kaskadierung von Wärmepumpen lassen sich zudem auch bei kalten Lufttemperaturen höhere Vorlauftemperaturen erreichen. Steht zudem

⁴⁶ Kirchstein: Modellierung, Simulation und Analyse der Einbindung saisonaler Untergrundwärmespeicher in das Fernwärmenetz Campus Lichtwiese

Strom kostengünstig zur Verfügung, kann auch eine weniger effizient betriebene Wärmepumpe wirtschaftlich sinnvoll sein (die Investitionskosten für eine reine Luft-Wasserwärmepumpe liegen unter denen für eine Erdwärmepumpe mit entsprechenden Sonden). Letzteres kann der Fall sein, wenn bspw. eine Direktversorgung durch eine Windkraftanlage erfolgt. Bei einer Direktversorgung unter Umgehung des öffentlichen Netzes entfallen keine Netzentgelte und -gebühren, sodass lediglich der vereinbarte Stromabnahmepreis anfällt. Der Windkraftanlagenbetreiber kann entweder der Betreiber des Wärmeversorgungssystems sein. Es kann jedoch auch ein Dritter sein, mit dem der Wärmeanlagenbetreiber einen fixen Strompreis vereinbart. Bei einer ausreichenden Größe des Windparks kann der erforderliche Strombedarf für den Betrieb der Wärmepumpe auch in Schwachwindphasen generiert werden, sodass eine Abdeckung des Wärmebedarfs allein über die mit Windstrom betriebene Wärmepumpe von über 66% möglich ist.

Eine weitere Option bildet die Nutzung von oberflächennaher Geothermie. Die spezifische Entzugsleistung variiert je nach Untergrundbeschaffenheit und liegt im Bereich 25-70 W/m. Zur genauen Bestimmung müssten für den Standort durch Probebohrungen exakte Werte ermittelt werden. Da es durch die Wärmeentnahme zu einer Abkühlung des Bodens im Bereich der Erdwärmesonde kommt, ist ein saisonaler Betrieb der Geothermieanlage vorteilhaft. Während dem Boden außerhalb der saisonalen Nutzung keine Wärme entzogen wird, kann sich die Bodentemperatur durch Wärme aus dem Erdinneren regenerieren. Zugleich ist der Abstand der Erdwärmesonden zueinander entscheidend. Der Abstand wird anhand der Entnahmemenge gewählt, um ein ausreichendes „Nachfließen“ der Wärme zu den Sonden sicherzustellen und somit die Leistungsfähigkeit der Einzelsonden zu gewährleisten. In der Regel beträgt der Sondenabstand in jede Richtung ca. 10 m. Der Platzbedarf pro Bohrung kann unter Wahrung der Abstände mit ca. 80 m² angegeben werden. Je ha Fläche könnte somit ca. 125 Bohrungen installiert werden. Bei 2.100 Jahresvollbenutzungstunden und einer konservativen Entzugsleistung von 30 W/m kann bei einer Jahresarbeitszahl von 4 von einem spezifischen Wärmeertrag von 1.050 MWh/ha (Entzugsleistung ca. 375 kW; Verdichter 125 kW; Wärmeleistung 500 kW) ausgegangen werden. Die Bohrungen können mit dem Solarthermiefeld kombiniert werden, sodass die Flächen doppelt belegt werden. Zugleich kann die überschüssige solarthermische Wärme für die Regeneration des Solarthermiefeldes bzw. die Sonden als Speicher genutzt werden.

Da die Effizienz der Wärmepumpe – repräsentiert durch die Jahresarbeitszahl – sehr stark von dem Temperaturhub abhängt, erfolgt deren Einsatz in der Regel nicht zur Abdeckung von Spitzenlasten. Der Strombedarf der Wärmepumpe kann in Teilen durch lokale PV-Anlagen gedeckt werden. Auch hier ist jedoch auf die beschränkte Verfügbarkeit des PV-Strom insbesondere in den Sommermonaten hinzuweisen, was nicht mit den Wärmebedarfsspitzen korreliert.

Konkrete Daten zum Volumen und den Temperaturen existieren nicht. Durch das Geothermie-Portal des Landes Thüringen konnte ermittelt werden, dass sich der mögliche Verwendungsstandort außerhalb eines Wasserschutzgebietes befindet. Je nach Standort werden aber hydrologische Einzelfallprüfungen notwendig sein, um die Wärmeleitfähigkeit des Bodens zu ermitteln.

Abwärme

Im Rahmen des Konzeptes wurden keine systematischen Erhebungen zu den Abwärmepotenzialen innerhalb des Stadtgebiets durchgeführt. Daher ist davon auszugehen, dass neben dem Robert-Koch-Krankenhaus weitere, insbesondere industrielle Betriebe, signifikante Abwärmepotenziale aufweisen, die bisher ungenutzt bleiben. Diese Potenziale sollten im Zuge der kommunalen Wärmeleitplanung detailliert erfasst und analysiert werden, um eine effiziente Nutzung dieser Energiequellen zu ermöglichen.

Eine wertvolle Quelle für Abwärme bietet das Robert-Koch-Krankenhaus. Als Akutkrankenhaus mit 230 Betten und Lehrkrankenhaus der Universität Jena, deckt es den Nordteil des Landkreises Weimarer Land ab, was eine konstante Auslastung sichert. Im Mittelpunkt des Projekts „Klinergie“ steht die Frage, wie die anfallende Abwärme in Krankenhäusern erfolgreich in das Fernwärmenetz eingespeist werden kann. Besonders Intensivstationen, die zu Kühlzwecken betrieben werden, produzieren eine große Menge Abwärme, die bislang größtenteils ungenutzt bleibt. Um das volle Potenzial der Abwärmennutzung ausschöpfen zu können, ist es erforderlich, das genaue Volumen der anfallenden Abwärme zu ermitteln und Wege zu ihrer sinnvollen Verwendung zu finden.

Die Identifikation weiterer Quellen von Abwärme über das Robert-Koch-Krankenhaus hinaus ist ein wesentlicher Schritt, um das Energieeffizienzpotenzial der Stadt umfassend zu nutzen. Die Einbeziehung industrieller und anderer Betriebe in die Energieplanung kann wesentlich zur Nachhaltigkeit und Effizienz der städtischen Energieversorgung beitragen.

Fazit

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass für die Bereitstellung der Wärmemenge für netzbasierte Lösungen mehrere Energieträger in Frage kommen. Obwohl die theoretisch verfügbaren Energiemengen bei einzelnen Energieträgern einen monovalenten Betrieb des Wärmenetzes ermöglichen, erscheint dies nicht realistisch und mit Hinblick auf einzelne Technologien auch nicht wirtschaftlich sinnvoll zu sein. Die Kombination einzelner Energieträger kann eine nachhaltige und auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten tragbare Wärmeherzeugung ermöglichen.

Wie bereits beschrieben plant die Stadt unter enger Einbeziehung der wichtigen Akteure in absehbarer Zeit die Erstellung einer Wärmeplanung. In dieser werden sowohl die Eignungsgebiete für zentrale und dezentrale Wärmeversorgungen klar definiert als auch die Möglichkeiten zur Abdeckung des erforderlichen Wärmebedarfs durch lokal verfügbare nachhaltige Energiequellen dargestellt. Hierzu ermöglicht das Gesetz auch sehr detaillierte Datenabfragen bspw. auch in Hinblick auf Abwärmepotenziale gewerblicher Betriebe. Die an dieser Stelle erfolgten Ausführungen sind somit als erste Denkansätze zu sehen, die in der Wärmeplanung weiter zu vertiefen sind.

8.7. Straßenbeleuchtung

Die Straßenbeleuchtung hat zwar nur einen geringen Anteil am Energieverbrauch der Stadt, dennoch stellen die mit dem Stromverbrauch und der Wartung verbundenen Kosten einen relevanten Posten im städtischen Haushalt dar. Apolda betreibt bereits Maßnahmen zur schrittweisen Umstellung der Straßenbeleuchtung auf energieeffiziente Technologien, im Untersuchungsgebiet sind jedoch noch zahlreiche HSE-Leuchten vertreten, die als ineffizient zu bezeichnen sind.

Da die Stadt bereits über Erfahrungen mit dem Umtausch der Straßenbeleuchtung verfügt, werden an dieser Stelle nur einige Ausführungen gemacht und das mögliche Einsparpotenzial quantifiziert. Einsparungen können grundsätzlich durch mehrere Maßnahmen erreicht und durch deren Kombination maximiert werden (Abbildung 82).

- Umrüstung auf energieeffiziente Leuchtmittel
- Bedarfsgerechte Steuerung
 - o Zeitschaltung (Abschaltung von Leuchtmitteln in wenig frequentierten Zeiten)
 - o Dimmung (Reduzierung der Leuchtintensität in wenig frequentierten Zeiten)
 - o Präsenzsensoren

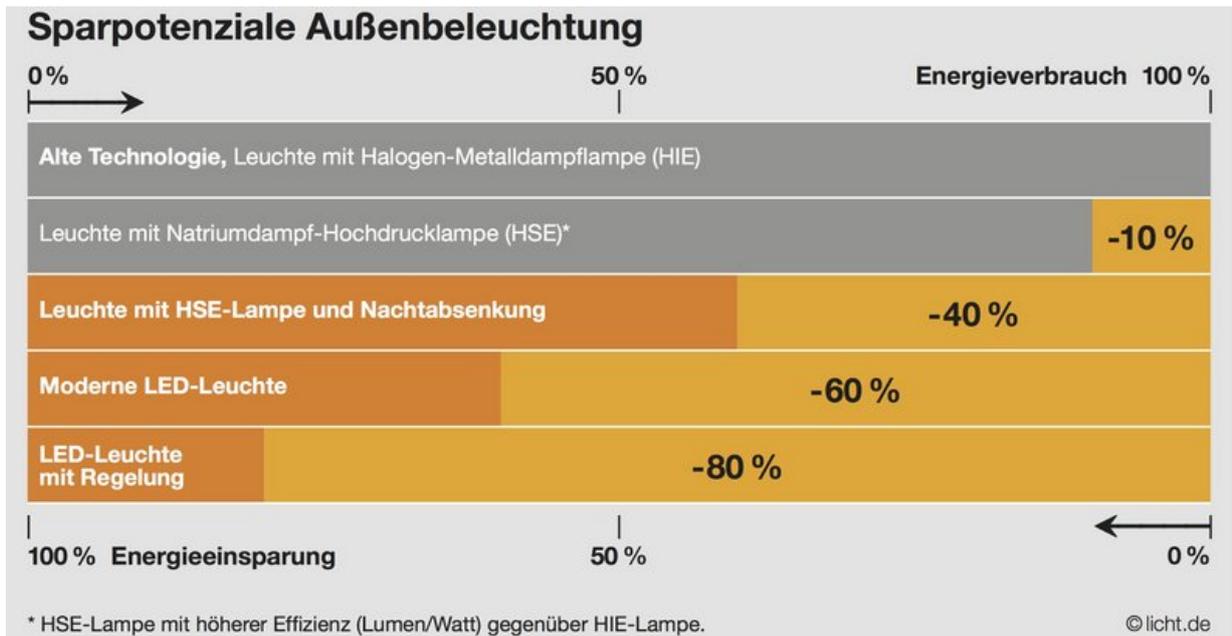


Abbildung 82: Sparpotenziale Außenbeleuchtung⁴⁷

Tabelle 35 zeigt den Vergleich einer konventionellen alten HQL-Leuchte inkl. Vorschaltgerät mit modernen LED-Leuchten. Es handelt sich um Retrofit-Lösungen, sodass der Einbau in die bestehende Fassung (E27) möglich ist. Die HQL-LED-Leuchten stellen gängige Lösungen zum Ersatz von klassischen HQL-Lampen mit einer Leistung von 80 W, wie sie auch in Apolda vorkommen, dar. Zum Vergleich wurde noch eine LED-Leuchte mit Dimmfunktion ergänzt. Hingewiesen wird darauf, dass moderne Leuchten einen optimierten Abstrahlwinkel aufweisen (d.h. Licht wird in einem geringeren als 360°-Winkel abgestrahlt). Somit kann eine optimale Lichtverteilung auf der zu beleuchtenden Fläche erfolgen und die für die vergleichbare Ausleuchtung erforderliche Lichtstärke der Leuchte wird verringert (Abbildung 83).

⁴⁷ Licht.de

Modell	OSRAM HQL LED PRO 3000lm 23W E27	OSRAM HQL LED PRO 4000lm 30W E27	OSRAM HQL LED PRO 6000lm 46W E27	OSRAM HQL LED PRO 6000lm 46W E40	OSRAM HQL LED PRO 13000lm 95W E40
HQL 80 W 3.800 lm	o	x			
HQL 125 W 6.000 lm		o	x		
HQL 250 W 13.000 lm					x
NAV 70 W 5.900 lm			x		
NAV 100 W 13.000 lm				o	x
NAV 210 W 18.000 lm					o

x = 1:1 ursprünglicher HQL-Lichtstrom oder mehr
o = Lichtstrom im Mittel vergleichbar mit dem einer HQL Lampe, über deren nominale Lebensdauer

Abbildung 83: Ersatz HQL/NAV durch LED⁴⁸

Tabelle 35: Vergleich Straßenbeleuchtung (HQL/LED)⁴⁹

Lampenart	HQL (HQL SUPER DL 80W 27E)	LED (euroLight Mini 20 Corn Bulb)	HQL LED 3000 23W	HQL LED 2000 18 W
Lampenleistung [W]	80	20	23	18
Lichtmenge [lm]	3.400	2.530	3.000	2.000
Vorschaltgerät [W]	16	Inkl.	Inkl.	Inkl.
Systemleistung [W]	96	20	23	18
Lebenserwartung [h]	24.000	50.000	50.000	32.000
Jährliche Betriebsstunden [h/a]	4.000	4.000	4.000	4.000
Verbrauch [kWh/a]	384	80	92	72
Betriebskosten [Euro/a] bei 0,30 Euro/kWh	120,42	25,09	28,85	22,58
CO ₂ [kg]	215,04	44,80	51,52	40,32
Einsparung (Verbrauch, Kosten, CO ₂)		79,2 %	76 %	81,3 %
Betriebsstunden mit Leistungs- reduzierung um 50 %		2.000		
Verbrauch [kWh/a]		40		
Betriebskosten [EUR/a]		12,54		
CO ₂ [kg]		22,4		
Einsparung		89,6 %		
Kosten Leuchtmittel ⁵⁰		ca. 40 EUR	Ca. 40 EUR	Ca. 36 EUR

⁴⁸ Ledvance

⁴⁹ Eurolighting, 2016, 2017

⁵⁰ Stückpreise laut Internetabfrage; bei größeren Bestellungen sind Preisnachlässe zu erwarten

Der Vergleich verdeutlicht nicht nur die enormen Einsparpotenziale im Bereich der Straßenbeleuchtung, sondern auch die schnelle Amortisationszeit im Falle von Retrofit-Lösungen. Zu beachten ist, dass nicht jeder alte Laternenkopf Retrofit-Lösungen ermöglicht. Oft ist der Austausch des gesamten Kopfes, teilweise auch des Laternenmastes, notwendig, sodass der Investitionsbedarf gegenüber Retrofit-Lösungen das 15-25-Fache (beim Austausch des Laternenkopfes) ausmachen kann. Dies hat natürlich auch Auswirkungen auf die Amortisationszeit. Diese kann durch den Bezug von Fördermitteln jedoch auf ca. 5-8 Jahre verringert werden. Eine präzise Wirtschaftlichkeitsberechnung hängt hier vom konkreten Laternentyp und Angebotspreis ab. Ersichtlich ist zudem, dass durch die **Reduzierung/Dimmung der Beleuchtungsintensität** oder die gänzliche Abschaltung der Anlagen in Zeiträumen, in denen der Bedarf gering ist, zusätzliche Einsparungen im erheblichen Ausmaß erreicht werden können.

In Tabelle 36 werden die Einsparpotenziale durch die Modernisierung der Straßenbeleuchtung dargestellt. Die Ausgangssituation für die Berechnung der Einsparpotentiale errechnet sich durch die von den Energienetzen Apolda vorgegebenen Verbrauch für die Straßenbeleuchtung. Es wird dabei von der Annahme ausgegangen, dass bereits die Hälfte aller Leuchtmittel auf energieeffiziente LED-Technologie umgestellt wurde, welche nur ein Drittel der Energie traditioneller Beleuchtung benötigt. Die Erstellung eines Leuchtenkatasters dient als Fundament für die Durchführung präziser Analysen und ermöglicht die Integration der Modernisierungsmaßnahme in den PDCA-Zyklus, um so eine kontinuierliche Verbesserung zu gewährleisten. Durch die zusätzliche Teilabschaltung kann die Effizienz noch weiter gesteigert werden kann.

Tabelle 36: Einsparpotenziale Straßenbeleuchtung (Eigene Darstellung)

	Ist-Zustand (Normnutzung)	Ist-Zustand (Nutzung Optimiert)	Sanierung (Normnutzung)	Sanierung (Nutzung optimiert)
Installierte Leistung [kW]	247	247	124	124
Leuchtdauer [h]	4.000	3.000	4.000	2.500
Verbrauch [kWh]	989.299	741.974	494.650	309.156
CO2-Emissionen [CO2äq]	247	247	124	124
Kosten	297.000 €	223.000 €	148.000 €	93.000 €

Weitere Kostenvorteile ergeben sich in der Regel aus dem verringerten **Wartungsaufwand** und der längeren **Lebenserwartung** der neuen Leuchten. Aufgrund der bedarfsgerechten Lichtverteilung lassen sich zudem die **Abstände** der Laternen vergrößern, sodass die Anzahl der Leuchten pro Kilometer verringert werden kann. Zudem ist die **Farbwiedergabe** bei LED-Leuchten in der Regel besser, was bspw. die Verkehrssicherheit steigert.

Im Zusammenhang mit der Modernisierung der Straßenbeleuchtung sind auch weitere Aspekte relevant, die bei der Auswahl der Leuchtmittel oder der Gestaltung der Anlagen beachtet werden sollten:

- **Natur/Insektenschutz:** bei der Wahl der Lichtquelle sollte auf den Insektenschutz geachtet werden. Leuchten mit geringeren Farbtemperaturen (2.600-3.700 K – Warmweißbereich), die zugleich kein oder nur wenig Licht im UV-Bereich erzeugen, locken deutlich weniger Insekten an.
- **Lichtemissionen:** die Straßenbeleuchtung sollte so gestaltet werden, dass Lichtimmissionen (z. B. ins Schlafzimmer), Blendungen sowie das Aufhellen des Himmels durch unnötige Lichtabgabe vermieden

werden. Dies kann durch die Auswahl der Leuchten mit entsprechenden Abstrahlwinkeln sowie Spiegelsystemen an den Leuchtköpfen vermieden werden. Letztendlich steigt somit auch die Effizienz der Beleuchtung, da das Licht nur dorthin gelenkt wird, wo es erforderlich ist.

- **Sicherheit:** bei allen Bemühungen zur Optimierung des Energieverbrauchs muss darauf geachtet werden, dass die Straßenbeleuchtung ihre Funktion im Bereich der Sicherheit im Straßenverkehr und auch beim Sicherheitsgefühl der Bürger erfüllt.

8.8. Potenziale Mobilität

8.8.1. Sozialer Zusammenhalt

Die Art und Weise, wie wir unseren Verkehr organisieren, ist fundamental für unser Zusammenleben. Das betrifft uns als Gesellschaft in unseren Kommunen, in unserem Land und als Teil eines Ökosystems. Menschen bewegen sich. Sie möchten zur Arbeit, zur Schule, zu Freunden, einkaufen oder in die Freizeit. Mobilität beschreibt genau dieses Bedürfnis, sich als Mensch fortzubewegen. Es ist unbestritten, dass es viel unnützen Verkehr gibt. Die Ansicht aber, dass man Verkehr nur genügend verhindern müsse, um unsere Verkehrsprobleme zu lösen, ist irreführend. Mobilität ist sprichwörtlich der Weg zu gesellschaftlicher Teilhabe.

Der Begriff der „Mobilitätsarmut“ beschreibt hierin einen Zustand, in welchem Menschen diese Teilhabe verwehrt bleibt, weil sie sich nicht fortbewegen können. Das kann ein fehlender Pkw sein, wenn das Wohnhaus außerhalb fußläufiger Erreichbarkeit liegt und es kein ÖPNV-Angebot gibt. Es kann aber auch etwas ganz Elementares sein, wie z. B. ein unbefestigter Weg für Rollstuhlfahrende. Mobilität ist für uns Menschen der Garant, am gesellschaftlichen Leben teilhaben zu können. Dass wir dabei künftig häufiger den Bus, unser Fahrrad oder die eigenen Füße anstelle des Autos benutzen sollen und können, ist deswegen zwar auch eine ökologische, aber vielmehr eine soziale Frage.



Abbildung 84 Nachhaltigkeitsziele der UN

Von den 17 durch die UN ausgerufenen Nachhaltigkeitszielen werden mindestens 13 durch Mobilitätsmanagement beeinflusst, u. a.:

- **Ziel 1 – Armut bekämpfen:** Der Anteil an durch Mobilitätsarmut betroffenen Menschen ist messbar höher, wenn der Autoverkehr die einzige bzw. dominante Verkehrsform ist. Es würden alle ausgeschlossen, die keinen Führerschein haben oder haben wollen. Und das ist noch ungeachtet der Frage, ob ein eigener Pkw tatsächlich verfügbar wäre. Die Kosten für einen privaten Pkw belasten vor allem Menschen mit geringem Einkommen. Der Zugang zum ÖPNV oder zum eigenen Fahrrad, ob mit oder ohne Elektroantrieb, ist hingegen deutlich niedrighschwelliger. Die Möglichkeit, sicher mit zu Fuß oder dem Fahrrad mobil zu sein, lindert deren Belastungen erheblich. In prekären Fällen eröffnen diese Angebote überhaupt erst eine Möglichkeit zur Teilhabe am öffentlichen Leben, weil der Zugang zu einem Pkw finanziell verwehrt war.
- **Ziel 3 – Gesundheit und Wohlergehen:** Die Stadt wird zum Fitnesscenter, wenn Menschen ihre Wege mit dem Rad oder zu Fuß, ggf. mit Unterstützung durch einen guten ÖPNV, erreichen können. Die positiven Effekte auf die körperliche und geistige Gesundheit durch viel Bewegung sind hinreichend bewiesen.
- **Ziel 5 – Geschlechtergleichheit:** In Deutschland besitzen 2021 etwa 84 Prozent aller Männer einen Führerschein, aber nur 79 Prozent aller Frauen. Gerechnet auf die Altersgruppe von 17 bis 44-Jährigen beträgt der Unterschied sogar gute zehn Prozent. Frauen haben, wenngleich dieser Unterschied schwindet, weniger Zugang zu einem eigenen Pkw als Männer. Wird ein Pkw Notwendigkeit, wird Frauen überproportional das Bedürfnis auf selbstbestimmte Mobilität abgesprochen.
- **Ziel 8 – Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum:** Insbesondere Radverkehr und ÖPNV ist ein Katalysator für lokale Wertschöpfung. Während Ausgaben für den Betrieb eines Autos tendenziell an globale Unternehmen gehen, bleibt im Radverkehr und ÖPNV das Kapital am Standort. Darüber hinaus setzt der Verzicht auf ein eigenes Auto Kaufkraft frei, die dem lokalen Einzelhandel nutzen kann.
- **Ziel 11 – Nachhaltige Städte und Gemeinden:** ÖPNV und Radverkehr sind im urbanen Kontext die mit Abstand effizientesten Verkehrsformen. Die volkswirtschaftlichen Aufwendungen für Bereitstellung und Durchführung sind nur ein Bruchteil dessen, was für den Autoverkehr erforderlich ist.
- **Ziel 13 – Maßnahmen zum Klimaschutz:** Der Verkehr ist für ein Fünftel aller Treibhausgasemissionen verantwortlich. Wer zu Fuß oder mit dem Rad unterwegs ist, mindert den Eintrag von Treibhausgasen in die Atmosphäre.

Die Aufzählung ist nicht als abschließend zu betrachten. Dennoch sei davon auszugehen, dass es im gesamtgesellschaftlichen Interesse ist, wenn Menschen künftig häufiger das Rad, den Bus, die Bahn oder auch nur die eigenen Füße benutzen.

In der Stadt der Zukunft werden nicht die Armen mit dem Auto fahren.

In der Stadt der Zukunft werden die Reichen mit der Straßenbahn kommen.

~Enrique Penalzo (ehem. Bürgermeister Bogotá)

Im ländlichen und kleinstädtischen Kontext deckt ein zumeist rudimentäres ÖPNV-Angebot fast ausschließlich nur überörtliche Verkehre ab. Für den Bereich der Nahmobilität ist der Fußgänger- und Radverkehr demnach meist die einzige Alternative zum Auto. Diese Verkehrsformen zu stärken, ist essentiell, wenn die Abhängigkeit vom Auto vermindert werden soll. Hierzu werden entsprechende Handlungsempfehlungen unterbreitet.

8.8.2. Fußgänger- und Radverkehr

Die Stärkung des Fuß- und Radverkehrs kann im Wesentlichen damit erreicht werden, dass Nutzungsbarrieren gemindert bzw. beseitigt werden.

Abkürzende Verbindungen

Das Stadtgebiet ist mit diversen Stichen durchzogen, die verkehrsberuhigt oder nur durch Fußgänger und ggf. Radfahrende nutzbar sind. Dazu zählen:

- der Brühl,
- der Schulplatz,
- das Roßmaringäßchen,
- die Wege am Ebert- und Kantplatz,
- die Wege durch den Paulinenpark,
- die Verbindung von der südlichen Peter-Schilling-Straße zur Elisenstraße

Sie helfen, Umwege zu vermeiden. Sie verkürzen nicht nur perse die zu laufenden Wege. Sie schaffen auch einen deutlichen Zeitvorteil gegenüber der Benutzung des Autos bei kurzen Distanzen.

Dieses Wegenetz soll weiter verdichtet werden. Es ist zu prüfen, ob entlang offener Baufelder weitere Stiche angelegt werden können. Im Zuge der Entwicklung von Flächen sollen derartige Stiche unbedingt mit eingeplant werden.

Angsträume beseitigen

Die Bereitschaft, Wege zu Fuß zu gehen oder mit Rad oder Rollstuhl zu fahren ist eng an das eigene Sicherheitsgefühl gebunden. Sogenannte Angsträume beschreiben dabei Stellen oder Passagen, die schlecht ausgeleuchtet oder nicht gut einsehbar sind.

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass solche Stellen entdeckt und beseitigt werden. Das betrifft insbesondere die zuvor genannten Stiche. Zu beachten ist hierbei die veränderliche Vegetation entlang des Weges. Einzubeziehen in die Begutachtung sind explizit weibliche Menschen.

Die Abbildung 85 zeigt einen möglichen Angstrraum. Durch die undurchsichtige, inhomogene umgebende Vegetation sind die Seitenbereiche nicht einsehbar. Die künstliche Beleuchtung während dunkler Tageszeiten verschärft diesen Effekt. Das Beispiel stammt nicht aus dem Untersuchungsgebiet.



Abbildung 85: Beispiel für einen Weg mit möglichen Angsträumen

Barrierefreiheit

Alle Fußgängerfurten sollen barrierefrei gestaltet werden. Dazu gehören abgesenkte bzw. eingelassene Borde und taktile Leitstreifen. Diverse Knotenpunkte sind entsprechend (um)gestaltet, bspw. am Kreisverkehr Heidenberg / Bachstraße. Der linke Bereich mit Aufmerksamkeitsfeld und Richtungsfeld der Abbildung 86 dient sehbehinderten Menschen. Daneben ist ein Bereich mit abgesenktem (und nicht ertastbarem) Bordstein für Gehbehinderte und vorgelagertem Sperrfeld (quer verlaufende Rillen anstelle einer Bordsteinkante). Die Leitelemente heben sich farblich deutlich vom umgebenden Belag ab. Die Furt setzt sich fahrlich von der Fahrbahn ab.



Abbildung 86: Beispiel einer vollständig barrierefreien Fußgängerfurt

Neue Radverkehrsanlagen

Neue Radfahrende sind bislang aber überwiegend ehemalige ÖPNV-Nutzer und eher selten ehemalige Autofahrer. Damit auch Autofahrer auf das Rad wechseln, soll die Radinfrastruktur verbessert werden. Etwa 60 Prozent aller Autofahrenden würden wenigstens gelegentlich das Rad nutzen, fühlen sich aber bislang zu unsicher. Diesen Menschen kann mit neuen Radwegen ein entsprechendes Angebot gemacht werden.

Der Querschnitt der meisten Straßen erlaubt kaum die Anlage von Radwegen, weder im Seitenraum noch auf der Fahrbahn. Zudem ist die Topografie im Stadtgebiet derart, dass sie das Radfahren teilweise sehr erschwert. In Kombination beider Umstände soll aber geprüft werden, ob entlang der ansteigenden Abschnitte Schutzstreifen angelegt werden, beispielsweise auf der Buttstädter Straße nordwärts oder der Dornburger Straße in Richtung Südosten.



Abbildung 87: Lufttankstelle mit Werkzeug für Kleinstreparaturen.

Radabstellanlagen und Radstationen

Öffentliche Fahrradparkplätze und Radstationen sind ein guter Nährboden für eine städtische Kultur des Radfahrens. Multiplikatoren dieser Bemühungen sind Gewerbetreibende, die diesen Ansatz mittragen und vor allem mit befördern. Intention ist, das Fahrrad als alternatives Verkehrsmittel im Verkehrsraum sichtbar zu machen. Es soll ein Ambiente geschaffen, das zum Radfahren einlädt und eine Kultur des Radfahrens begünstigt. Öffentliche Radabstellanlagen reichen in der Ausstattung von einfachen Anlehnbügel bis hin zu überdachten Anlagen. Sie begünstigen den Radverkehr. Wenn das Fahrrad bei Bedarf sofort und vor allem sichtbar zur Abfahrt bereitsteht, beeinflusst das die Wahl des Verkehrsmittels deutlich zugunsten des Radverkehrs.



Abbildung 88: Vorschlag für ein Piktogramm einer Radstation, angelehnt an das Zeichen für Haltestellen

Am Zielort soll das Rad mit wenigen Griffen diebstahlsicher abgestellt werden können. Idealerweise folgen Einzelhändler dem Ansinnen und Widmen angelegte Stellplätze um. Anstelle von drei Pkw-Stellplätzen können etwa 45 Plätze für das sichere Abstellen von Fahrrädern geschaffen werden. Eine Stellplatzsatzung kann entsprechende Anreize liefern. Anlehnbügel ermöglichen, anders als traditionelle „Felgenkiller“ ein materialschonendes, rückschonendes und schnelles An- und Abschließen. Radabstellanlagen an den Haltestellen können helfen, die Erreichbarkeit des ÖPNV zu erleichtern.

Mögliche Orte für die Aufstellung von Anlehnbügel sind die Bereiche vor den Ladengeschäften in der Bahnhofstraße.

Radstationen sind Abstellanlagen mit erweitertem Angebot. Diese umfassen:

- Lufttankstellen
- Verleih von Werkzeugen für Kleinstreparaturen

Mögliche Standorte sind an größeren Einrichtungen des Lebensmittel-Einzelhandels.

Für den Fremdenverkehr ist eine Ausstattung mit

- Bänken und Tischen zum Rasten,
- Stadtplänen,
- Verweisen auf Gasthäuser, Herbergen und Sehenswürdigkeiten und
- USB-Ports zum Laden von Handys und Navigationssystemen hilfreich.

Eine entsprechende Station kann am Stadthaus errichtet werden. Entlang des Gehweges können Anlehnbügel, wie in Abbildung 89 dargestellt, installiert werden. Sie stärken die Position des Radverkehrs im Bereich der Nahmobilität. Sie sind, anders als traditionelle „Felgenkiller“ schonender mit den Rädern und leisten deutlich besseren Schutz gegen Diebstahl. Und vor allem erlauben sie ein schnelles An- und Abschließen des Rades in Gehrichtung und ohne Bücken.



Abbildung 89: Anlehnbügel für Fahrräder



Abbildung 90: Radabstellanlage auf dem Seitenstreifen, anstelle zweier Pkw stehen dort bis zu 30 Räder



Abbildung 91: Radabstellanlage auf der Fahrbahn und Stellplätze für Lastenräder

8.8.3. ÖPNV

Das Gebiet ist räumlich gut erschlossen. Die meisten Menschen wohnen im direkten Einzugsbereich von Haltestellen. Art und Umfang des Angebotes sind angemessen. Um den Marktanteil des ÖPNV zu erhöhen, seien dennoch Taktverdichtungen nahegelegt. Eine stündliche Abfahrt geht selbst im kleinstädtischen Kontext kaum über eine Grundversorgung hinaus. Für ein attraktives und wahrnehmbares ÖPNV-Angebot sei wenigstens ein 30-Minuten-Takt während der Geschäftsöffnungszeiten nahegelegt. Für eine Fortsetzung des Angebotes in Tagesrandlage sind alternative Bedienkonzepte zu prüfen.

Die Existenz zweier zentraler Umsteigepunkte schafft eine Disharmonie zwischen dem innerstädtischen und dem regionalen Verkehrsangebot. Sie erzwingt ggf. unnötige und attraktivitätsmindernde Umsteigevorgänge und erschwert die Abstimmung des Angebotes. Sie wirkt dem Gedanken eines integrierten Angebotes entgegen. Eine mögliche Maßnahme, um mehr Menschen für den ÖPNV zu gewinnen, wäre demnach die Verlegung des Busbahnhofs direkt an den Bahnhof. Das schufte einen zentralen Umsteigepunkt. Um weitere Funktionen bereichert, entstünde eine Mobilitätsstation. Alle Verkehrsträger würden zentral miteinander verknüpft.

Das Areal des heutigen Busbahnhofs kann als Verkehrsfläche entwidmet werden. Als Ausgleichsmaßnahme könnte hier eine Grünanlage mit Spielplatz und Begegnungsflächen entstehen. In Verbindung mit dem Herressener Bach böte sich die Gelegenheit, das ganze naturnah zu gestalten und ein Kleinbiotop zu etablieren.

Gepflegte und moderne Haltestellen sind die Visitenkarte eines guten Nahverkehrsangebotes. Anzustreben ist die Ausstattung aller Haltestellen mit Wetterschutz und dynamischer Fahrgastinformation. Alle Haltestellen im Stadtgebiet sollen barrierefrei hergerichtet werden. Denn hinzukommt: Menschen in Apolda werden älter und der barrierefreie Ausbau von Haltestellen ist gesetzlich vorgegeben (§8 Absatz 3 PBefG).

Die Stärkung des ÖPNV steht und fällt mit der Erreichbarkeit der Stationen. Wie anfangs herausgearbeitet, sind die Fahrzeiten im ÖPNV sehr günstig. Sie unterschreiten die Fahrzeiten im Pkw teilweise deutlich. Es ist aber zu berücksichtigen, dass für öffentliche Verkehrsangebote die gesamte Wegezeit zu berücksichtigen ist. Dies beinhaltet ausdrücklich auch Wegezeiten zu und von den Haltestellen oder Bahnstationen. Deswegen soll die Erreichbarkeit des Bahnhofs und der Haltestellen der Regionalbusse verbessert werden.

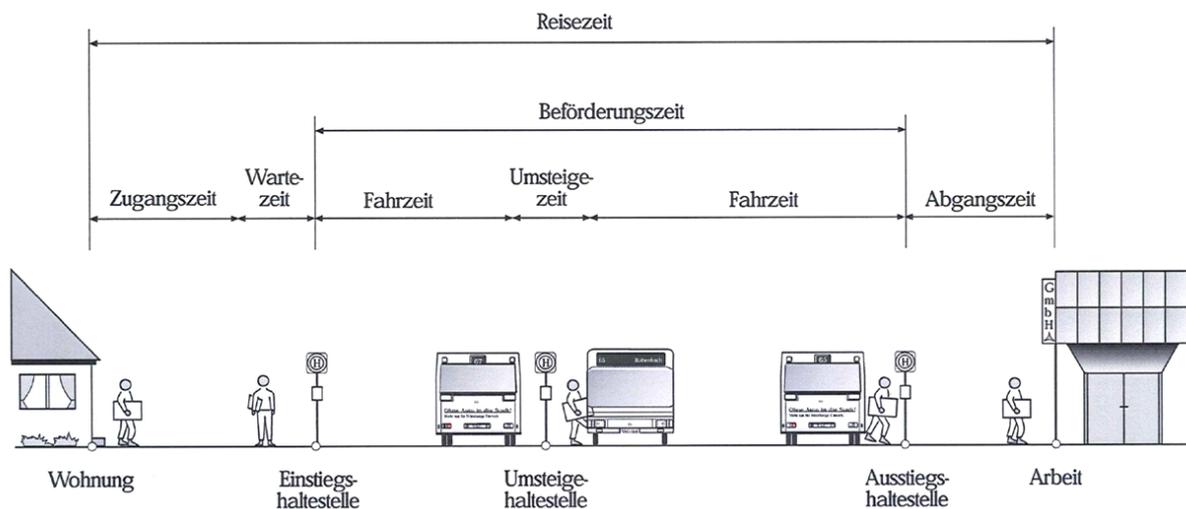


Abbildung 92: Zeitanteile bei Benutzung des ÖPNV. Quelle VDV.

Darüber hinaus stehen lange Zu- und Abwege während dunkler Tageszeiten dem Sicherheitsbedürfnis der Menschen entgegen. Das betrifft vor allem weibliche Menschen, die darüber hinaus überproportional oft auf den ÖPNV angewiesen sind. Die Wege mit der Einrichtung zusätzlicher Haltestellen zu verkürzen, widerspräche aber insbesondere dem Nutzungsanspruch der Regionalbusse. Bei ihnen überwiegt die überörtliche Verbindungsfunktion, welche möglichst hohe Reisegeschwindigkeit verlangt. Die Verlängerung der Fahrzeiten durch zusätzliche Haltestellen würde dem entgegenwirken.

Anstelle zusätzlicher Haltestellen liegt der Schlüssel in der Kombination von Fahrrad und ÖPNV. Abstellanlagen oder Radstationen in direkter Nähe der ÖPNV-Stationen machen das möglich. Das Fahrrad kann helfen, diese vorgenannte „letzte Meile“ zu überwinden und den Weg zu den Stationen zeitlich zu verkürzen.



Abbildung 93: Fahrradabstellanlage an der Haltestelle

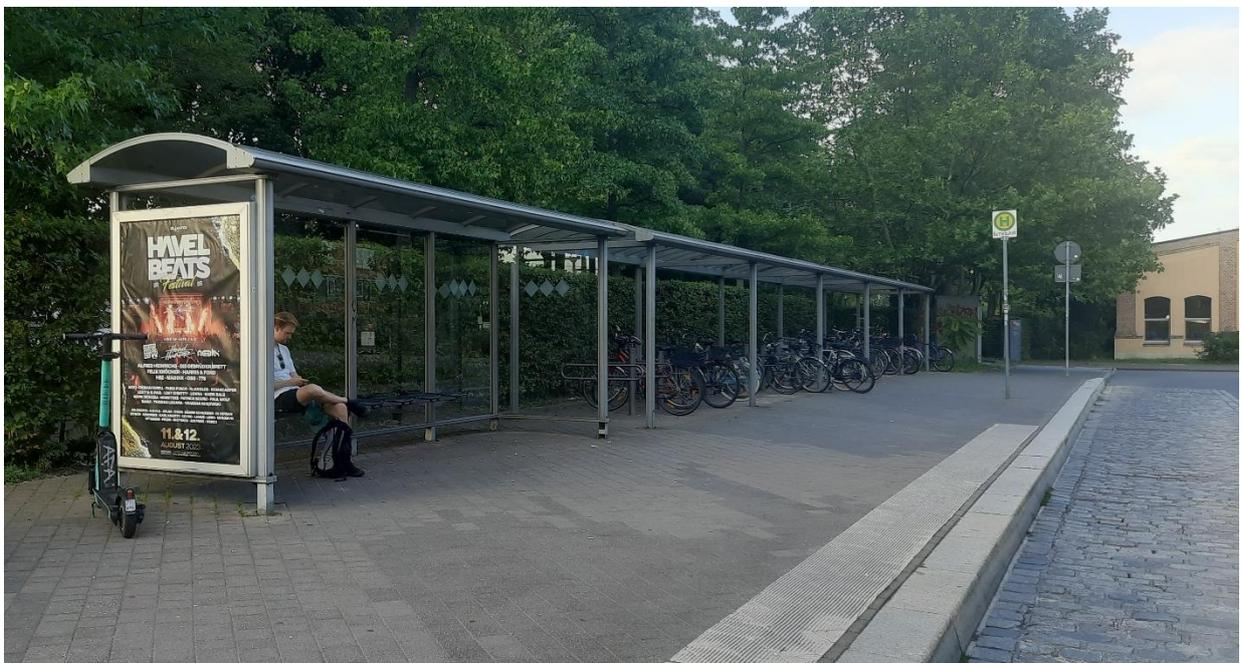


Abbildung 94: Wettergeschützter Fahrgast- und Fahrradunterstand in Bahnhofsnähe

8.8.4. Motorisierter Individualverkehr

Aktuell ist davon auszugehen, dass Menschen im ländlichen und kleinstädtischen weiterhin mehrheitlich das Auto für ihre Wege nutzen werden. Es soll darauf hingewirkt werden, dass das Auto nur noch bei längeren, überörtlichen Wegen das Verkehrsmittel der Wahl ist. Für Wege im Bereich der Nahmobilität sollen der Fuß- und Radverkehr begünstigt werden. Dem kann mit Maßnahmen zur Verkehrsberuhigung begegnet werden. Ebenso können Durchfahrtsbeschränkungen hilfreich sein.

Das Abstellen von Fahrzeugen auf der Fahrbahn soll möglichst nicht mehr möglich sein. Die Stellplätze sollen anstelle auf größeren Stellplatzanlagen konzentriert werden. Das böte die Möglichkeit der Aufweitung der Seitenräume. Dies würde den Fuß- und Radverkehr begünstigen. Die Vergrößerung der Wege zum Auto mindert darüber hinaus den Anreiz, dieses für kurze Wege zu nutzen. Ferner ermöglicht die Konzentration der auf einigen wenigen Anlagen die Implementierung eines Parkleitsystems. Dieses würde den Parksuchverkehr mindern.

Grundsätzlich sollen Stellplätze möglichst entsiegelt und beschattet werden. In direkter Sonne abgestellte Fahrzeuge wirken als thermische Masse und verstärken den lokalen Wärmeeintrag. Die Effekte wirken nachteilig auf Mikroklima. Die Pflanzung von Bäumen soll dem entgegenwirken. Das Aufbrechen der festen Eindeckung ermöglicht, dass Niederschlagswasser lokal versickert.

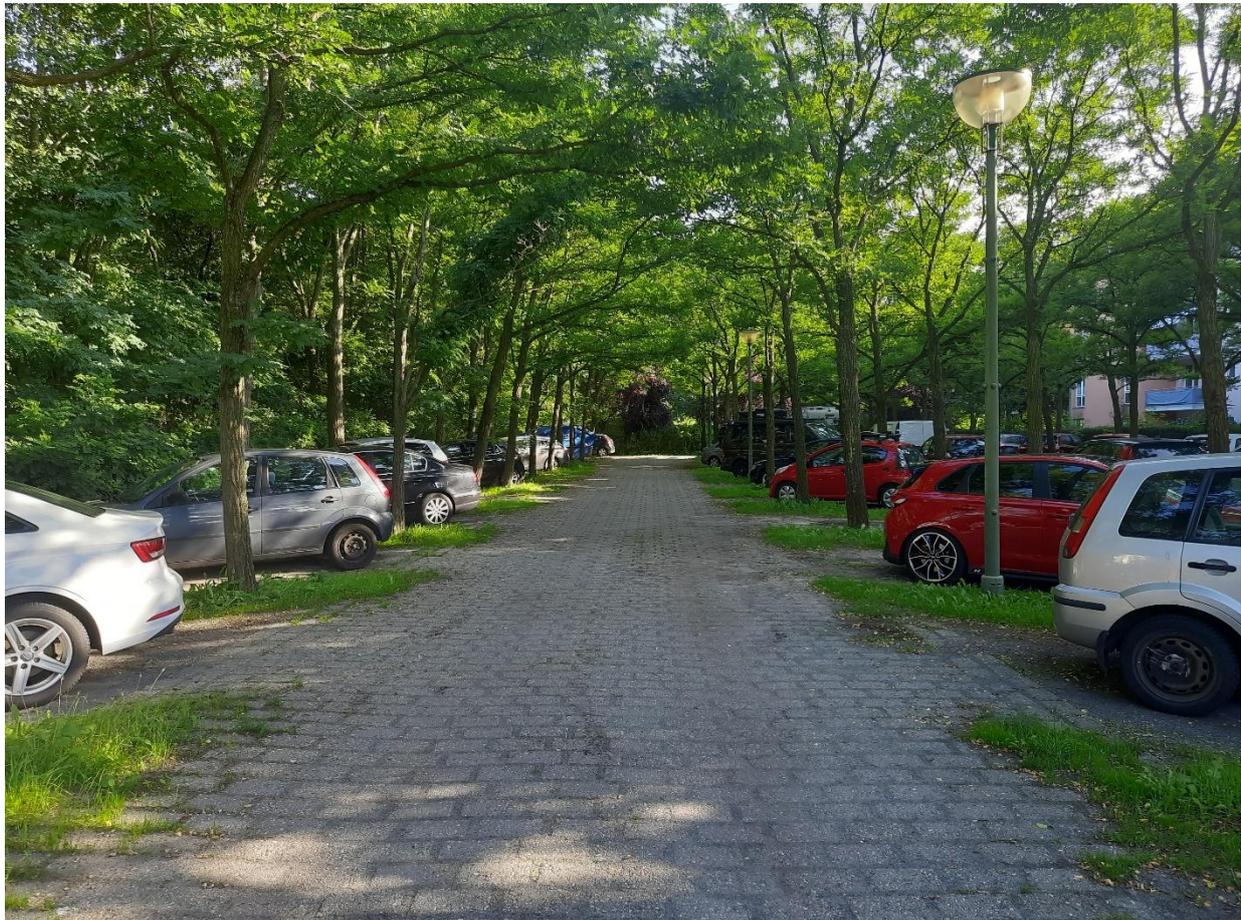


Abbildung 95: Stellplatzbeschattung durch Bäume

8.8.5. Leihsysteme und Ladeinfrastruktur

Leihsysteme können helfen, die Abhängigkeit vom eigenen Pkw zu mindern. Die Aussichten, dass durch freie Anbieter Leihsysteme etabliert werden, ist eher gering. Wegen der hohen Pkw-Dichte im ländlichen Raum ist die Nachfrage oft nur gering. Der private Pkw wird, zumindest aus heutiger Sicht, das dominierende Verkehrsmittel für Berufspendler im ländlichen Raum bleiben. Es sei hieraus abgeleitet, dass eine Abschaffung des eigenen Autos mehrheitlich nicht zur Debatte steht.

Analog sei unterstellt, dass eine ausreichende Verfügbarkeit von Fahrrädern gegeben ist. Lediglich für Besucher bestünde ein Potential, ein Fahrrad am Ort zu mieten. Es sei davon ausgegangen, dass dieser spezielle Markt für kommerzielle Anbieter nicht ausreichend ist. Möglich ist jedoch ein durch die Gemeinde bereitgestelltes Leihradsystem. Dieses könnte durch die Touristinformation bespielt werden.

Es gibt aktuell ausreichende Ladeinfrastruktur innerhalb des Stadtgebietes. Es ist davon auszugehen, dass eine Ausweitung des Angebotes der zunehmenden Verbreitung von Elektroautos folgen wird.

8.8.6. Stadt der kurzen Wege

Apolda kann durch die Förderung einer kompakten Stadtstruktur, die verschiedene Lebensbereiche wie Wohnen, Arbeiten und Freizeit miteinander verbindet, das Konzept der „Stadt der kurzen Wege“ realisieren. Neben dem Ausbau von Radwegen und Fußgängerzonen sowie die Verbesserung des öffentlichen Nahverkehrs wird es so den Bewohnern erleichtert, auf Autos zu verzichten und stattdessen umweltfreundlichere Fortbewegungsmittel zu wählen. Eine gleichmäßige Verteilung der Versorgungsinfrastruktur ist essentiell, um den Bewohnern von Apolda den Zugang zu Gütern des täglichen Bedarfs zu erleichtern. Dazu gehören nicht nur Einkaufsmöglichkeiten, sondern auch Bildungseinrichtungen, medizinische Dienste und Grünflächen.

Die Schaffung von Stadtteilzentren, die eine Vielzahl von Dienstleistungen bieten, kann die Notwendigkeit langer Wege reduzieren und die Lebensqualität verbessern. Durch die gezielte Förderung einer Durchmischung von Wohn- und Gewerbeflächen kann Apolda lebendige Quartiere schaffen, die kurze Arbeits- und Versorgungswege ermöglichen. Die Ansiedlung von Kreativ- und Kulturunternehmen, Start-ups und Handwerksbetrieben in Wohnquartieren belebt die Stadtteile und schafft attraktive Arbeitsplätze in unmittelbarer Nähe zum Wohnort. Die Belegung der Quartiere durch kurze Wege und gemischte Nutzung fördert nicht nur eine nachhaltige Mobilität, sondern auch den sozialen Zusammenhalt. Gemeinschaftszentren, öffentliche Plätze und Grünflächen dienen als Treffpunkte, die den Austausch und die Vernetzung der Bewohner unterstützen. Kulturelle Veranstaltungen und Feste können die Identifikation mit dem Quartier stärken und das Gemeinschaftsgefühl fördern.

8.8.7. Quantifizierung der Reduktionspotenziale

Der Verkehr verursacht etwa ein Drittel aller Treibhausgase, im Untersuchungsgebiet beträgt der Anteil aus strukturellen Gründen ca. 17 %. Entsprechend hoch ist das Potential, dort eine Verminderung der Emissionen zu erzielen. Das Ziel einer möglichst nachhaltigen d.h. treibhausgasarmen Mobilität kann über mehrere Stellschrauben angegangen werden, die im Endergebnis ineinandergreifen. Grundsätzlich sind hier drei Parameter relevant:

Verkehrs- oder Fahrleistung (mit Energieverbrauch einhergehende)

Die Verminderung der Treibhausgasemissionen soll durch eine Reduzierung der Fahrzeug-km erreicht werden. Das Potential der Verminderung soll anhand des folgenden Rechenbeispielles gewichtet werden. Dabei wird eine Reihe von Annahmen getroffen. Infolge dessen haben die Ergebnisse eine Unschärfe, genügen aber für qualitative Aussagen.

Tabelle 37: Verkehrsleistung und Emissionen des motorisierten Individualverkehrs

Anzahl Menschen	19.000	
Wege pro Mensch	3	
Anzahl Wege	57.000	
Anteil des MIV	65%	
Wege im MIV	37.050	
Durchschnittliche Weglängen in km	4	
Fahrzeug-km	148.200	
	Diesel-Fahrzeug	Benzin-Fahrzeug
Anteil	33%	67%
CO2 Emissionen g je km	120	135
Fahrzeug-km	49.350	98701
CO2 Emissionen in kg	5.922	13.324
CO2 Emissionen gesamt in kg Mo-Fr täglich	19.200	
CO2 Emissionen gesamt in kg Mo-Fr jährlich	4.907.900	

Auf Basis der getroffenen Annahmen emittieren die Pkw im Stadtbereich gut 19 t CO₂ an einem Arbeitstag. Auf ein Jahr gerechnet (bei 255 Arbeitstagen pro Jahr) entspricht das knapp 5.000 t CO₂.

Die meisten Wege im Stadtbereich sind kaum länger als 5 km. Das sind Distanzen, die für die meisten Menschen problemlos zu Fuß oder mit dem Rad zu bewältigen sind. Gelänge es bspw. jede zehnte Autofahrt durch einen Fußweg oder eine Radfahrt zu ersetzen, wäre das eine jährliche Minderung um 500 t CO₂.

Verbrauch/Effizienzsteigerung

Die Verringerung der Treibhausgasemissionen kann auch dadurch erzielt werden, dass die Effizienz der Antriebe gesteigert würde. In der Konsequenz würden dann je km weniger CO₂ Emissionen entstehen. Der aktuelle Stand der Technik verspricht bei der Entwicklung neuer Motoren kaum größere Effizienzsteigerungen. Zudem liegt dieser Aspekt weit außerhalb dem Einfluss einer Gemeinde. Für vorliegende Untersuchung er deswegen von nur geringer Relevanz.

Emissionsfaktor des Energieträgers

Der Ersatz fossiler Brennstoffe im Auto durch elektrische Antriebe wird helfen, die CO₂ langfristig zu verringern. Das gilt selbst dann, wenn übergangsweise der Strom durch fossile Energieträger erzeugt wird. Entsprechend sollen elektrische Autos begünstigt werden. Diesem Ansatz wird mit einem weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur Rechnung getragen.

8.9. Potentiale im Städtebau – Klimafolgen Anpassung

8.9.1. Digitaler urbaner Zwilling

Das betrachtete Quartier in Apolda umfasst eine Größe von circa 993 Hektar. Damit ergeben sich im Quartier vielfältige Potentiale zur Klimafolgenanpassung. Um bei der Vielfalt die wesentlichen Herausforderungen und Maßnahmen fokussiert zu erfassen, wurde für die Stadt Apolda ein urbaner digitaler Zwilling erstellt. Ein urbaner digitaler Zwilling ist ein 3D-Modell einer Stadt, in dem Zusammenhänge zu verschiedenen Themen und Planungen mittels virtueller Realität veranschaulicht werden. Dieser kann als Planungs- und Entscheidungsgrundlage für die Stadtplanung genutzt werden. In urbanen digitalen Zwillingen werden häufig nur einige Aspekte der Stadt dargestellt, wie Verkehrsplanung, Grünflächen oder Klimafolgenanpassung. Der Zwilling stellt derzeit den IST-Zustand mit Themenbezug der klimatischen Bedingungen dar, soll aber im Rahmen des Sanierungsmanagements erweitert werden. Viele der folgenden Potentiale konnten erst durch den Zwilling verortet und dargestellt werden.

8.9.2. Allgemeine Klimafolgenpotentiale

Um den Gesamt-CO₂-Ausstoß im Untersuchungsgebiet zu verringern, ist eine umfassende Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Themen Klimawandel und der energetischen Sanierung ein wichtiger Schritt, um die Bereitschaft, eine positive Einstellung und das Bewusstsein für diese Thematik zu fördern. Hier kann eine gut geplante Öffentlichkeitsarbeit ansetzen, um vorhandene Barrieren abzubauen. Dementsprechend ist das erste verortete Potential die Internetpräsenz der Stadt. Klimaspezifische, das Quartier betreffende Kommunikationsstrategien können hier anknüpfen oder eingebunden werden. In diesem Zusammenhang sollten auch andere Formen der Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. Öffentlichkeit und Planung sind eng verwoben. Ein hohes Bewusstsein für ökologische und energetische Schwerpunkte in der Bevölkerung kann planerische Zielstellungen begründen oder bestärken.

Ein zweites Potential ist deshalb der energetisch-klimatische Charakter der Bauleitplanung. Festsetzungen wie Gründach, Versiegelung und Baumbepflanzung können auf zukünftige Bauvorhaben übertragen werden. Diese Ambitionen sollten entsprechend erweitert und in die Planung integriert werden, denn bedingt durch klimatische Veränderungen, wird der öffentliche Raum in den nächsten Jahren eine besondere Rolle zukommen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Hitzebelastung, sowie der Entwicklung von Extremwetterereignissen wird der Raum mit unterschiedlichen Szenarien und Anforderungen konfrontiert, um die Auswirkungen auf die Bewohner:innen abzumildern. Dabei konnte durch Best-Practice Beispiele gezeigt werden, dass sich der Umgang mit den veränderten Anforderungen durch die vier Themengebieten Entsiegelung, Grün-/Freiflächen, Verschattung und Luftzirkulation bewältigen lässt.

Für die Erreichung dieser Ziele könnte ein Rahmenplan bzw. Klima-Aktionsplan erstellt werden. Das Ziel des Aktionsplanes wäre die Einhaltung der Pariser Klimaziele. Darin muss eine Einordnung und Kategorisierung der Flächen stattfinden, um gezielt den Auswirkungen der sich veränderten klimatischen Bedingungen entgegenzuwirken. Durch den Bericht könnten im ersten Schritt Flächen identifiziert werden, die hitze- oder starkregengefährdet sind. Dabei kann der digitale urbane Zwilling unterstützen.

Im zweiten Schritt könnten mittels des Berichtes Maßnahmen bestimmt werden, die die identifizierten Risiken abschwächen könnten. Dazu müssten insbesondere die Größe, Eigentumsverhältnisse, technische Anforderungen und anfallende Kosten erfasst und abgewogen werden, um eine Maßnahmenpriorisierung zu schaffen. Außerdem sollten Sofort-Maßnahmen entwickelt werden, die bei auftretenden Wetterereignissen eingesetzt werden, um die Bevölkerung zu schützen. Dazu zählen Hitze-, Sturm- und Hochwasserreaktionspläne. Im Folgenden werden langfristige Maßnahmen zur Anpassung an die zukünftigen klimatischen Folgen, sowie Beispiele zur Beteiligung von Bürger:innen an der Erarbeitung von Reaktionsplänen näher erläutert.

8.9.3. Wassersensitive Stadtentwicklung

Im Zentrum einer wassersensiblen Stadtentwicklung steht neben dem Aufbau von Resilienzen gegen Extremwetterereignissen zusätzlich der Schutz und die Einsparung der Ressource Wasser. Aber auch soziale Funktionen sollten bei der Etablierung von wassersensiblen Maßnahmen nicht vernachlässigt werden, z.B. indem man den Stadtbewohner:innen die Erlebbarkeit von Wasser in Städten wieder ermöglicht. Eine wassersensible Stadtentwicklung beinhaltet unter anderem folgende Kernelemente:

- Wiederherstellung der natürlichen Wasserkreisläufe
- Naturnahe, dezentrale Regenwasserbewirtschaftung
- Schonung der Ressource Wasser durch Reduzierung des Trinkwasserbedarfs

Durch den fortschreitenden Klimawandel werden in Apolda Trockenperioden mit sommerlichem Wassermangel häufiger und auch länger anhaltend auftreten. Dies ist verbunden mit großen wirtschaftlichen Schäden – etwa in der Land- und Forstwirtschaft. Konflikte um konkurrierende Wassernutzungen, insbesondere mit der Trinkwasserversorgung, werden zunehmen. Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser und die Steuerung von Wassernutzungen müssen vorausgeplant und vorsorgende Maßnahmen zum Schutz ergriffen werden. Um den Herausforderungen des fortschreitenden Klimawandels und den damit verbundenen Trockenperioden und Wassermangel in Apolda zu begegnen, sind verschiedene Maßnahmen erforderlich. Hier sind einige mögliche Schritte:

- Wassereffizienz und sparende Maßnahmen: Die Aufklärung der Bevölkerung über die Bedeutung einer nachhaltigen Wassernutzung und den Umgang mit Wasserknappheit kann zur Verbesserung der Wassereffizienz beitragen.
- Frühwarnsysteme und Risikomanagement: Die Einrichtung von Frühwarnsystemen für Trockenperioden und Wassermangel kann dazu beitragen, wirtschaftliche Schäden zu minimieren. Dies ermöglicht es der Land- und Forstwirtschaft, rechtzeitig auf veränderte Bedingungen zu reagieren.
- Wasserrechte und Wassernutzungskonflikte: Die Etablierung klarer Wasserrechtsregelungen und die Schlichtung von Konflikten um konkurrierende Wassernutzungen sind von großer Bedeutung. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Landwirten, Wasserversorgungsunternehmen und anderen Beteiligten.
- Diversifizierung der Wasserversorgung Die Förderung alternativer Wasserquellen wie gereinigtes Abwasser (zur Bewässerung) kann dazu beitragen, die Wasserversorgung in Trockenperioden zu sichern.

- Klimaresiliente Land- und Forstwirtschaft: Die Förderung von klimaresilienten Anbaumethoden und nachhaltiger Forstwirtschaft kann dazu beitragen, die Auswirkungen von Trockenperioden auf die Land- und Forstwirtschaft zu minimieren.
- Anpassung der Trinkwasserversorgung: Die Trinkwasserversorgung muss sich an veränderte Bedingungen anpassen. Dies kann den Ausbau der Wasseraufbereitungstechnologien und den Schutz der Wasserressourcen einschließen.

Neben Bewirtschaftungssystemen wie der Versickerung und Verdunstung, die sich vor allem darauf konzentrieren, die Niederschläge zeitverzögert in den Wasserkreislauf zurückzubringen, kann sauberes Regenwasser ohne Aufbereitung für unterschiedliche Zwecke (Grünflächenbewässerung oder Toilettenspülungen) genutzt werden. Die Speicherung erfolgt meist in Form von unterirdischen Zisternen oder durch Speicheranlagen auf dem Dach. Durch die Nutzung des Regenwassers können täglich bis zu 30 Liter Wasser pro Einwohner:innen eingespart werden. Sinnvoll ist es für jedes der geplanten Quartiere eine Zisterne vorzusehen, welche dann von den anfallenden Niederschlägen der umliegenden Häuser, bzw. Grundstücken, gespeist wird. Als Potenzialflächen würden sich die Quartiersgaragen eignen, welche mit unterirdischen Zisternen ausgestattet werden könnten. Auch das Schulzentrum bietet eine gute Möglichkeit, Regenwasser aufzufangen und für die Toilettenspülung zu nutzen. Kombiniert mit Infotafeln für alle Schüler:innen sichtbar kann über eingespartes Wasser informiert werden, sodass auch der pädagogische Aspekt mitgedacht werden kann und Schüler:innen zum Wassersparen animiert und sensibilisiert werden.

Nicht nur die Speicherung und Nutzung von Regenwasser spart Wasser. Eine wichtige und sehr effektive Wassersparmaßnahme ist das Recyceln von gebrauchtem Grauwasser. Grauwasser fällt in jedem Haushalt in Form von gering verschmutztem Wasser aus Dusche, Waschbecken oder Waschmaschine an und macht mit ca. 50 - 70 Litern pro Person und Tag den größten Anteil des Abwassers aus. Um das Grauwasser separat vom Schwarzwasser aufzufangen, benötigen Gebäude entsprechend ein voneinander unabhängiges doppeltes Leitungsnetz. Anschließend kann das Grauwasser in mehreren Stufen vor Ort auf Badewasserqualität gereinigt werden, sodass dieses den Haushalten als Betriebswasser für die Toilettenspülung, fürs Wäsche waschen, die Bewässerung von Grünanlagen oder auch der Raumreinigung wieder zur Verfügung steht.

Grauwasserrecycling senkt je nach Ausmaß der Verwendung des Betriebswassers den Wasserverbrauch von Haushalten um bis zu 50 %. Ergänzt man die Grauwasserrecyclinganlage mit Photovoltaikanlagen, können die zusätzlich entstehende Energieaufwendungen ausgeglichen werden, was die dezentrale Aufbereitung des Abwassers, im Gegensatz zur herkömmlichen zentralen Reinigung in Klärwerken heute, CO₂-neutral macht. Durch eine Wärmerückgewinnung kann zusätzlich eine positive CO₂-Bilanz erreicht werden. Dabei wird die Abwärme des anfallenden Grauwassers genutzt, um mittels eines Wärmetauschers das Trinkwasser vor Eintritt in die Warmwassererhitzung vorzuwärmen. Somit würde die Wasseraufbereitung vor Ort zu den Klimazielen der Stadt bis 2045 Klimaneutral zu werden, beitragen. Auch hier zeigen zahlreiche Beispiele, dass eine Grauwassernutzung nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile mit sich bringt, indem im laufenden Betrieb Wasser- und Energiekosten eingespart werden können.

Grauwasserrecycling kann natürlich nicht baurechtlich festgesetzt werden, sodass man hier auf die Bereitschaft der Eigentümer:innen angewiesen ist. Diese sollten aber vor dem Hintergrund der zu erwartenden Trinkwasserverknappungen der Region über die Möglichkeiten informiert und für die Thematik sensibilisiert werden.

Ein Beispiel für die Nutzung von Grauwasserrecycling stellt das Passivmiethaus am Arnimplatz in Berlin dar. In diesem Wohngebäude in Berlin-Pankow werden 41 Wohneinheiten mit vor Ort aufbereitetem Betriebswasser versorgt. Der Flächenverbrauch für die Grauwasserrecyclinganlage beträgt rund 9m². Die gesamte Anlage inklusive doppeltem Leitungsnetz, Einbau und Umsatzsteuer liegt bei ca. 20 -25€/ m². Im Jahr konnten hier rund 900m³ Wasser und somit ca. 5.000€ an Wasserkosten eingespart werden. Auch für diese Form der Stadtentwicklung sind tabellarisch nochmals Beispiele verlinkt.

Neben den Trockenperioden wird es zu Starkregenperioden kommen, bei denen der Niederschlag nicht mehr durch die Kanalisationen bewältigt werden kann. Um diesen Ereignissen entgegenzuwirken, konnten mithilfe des digitalen urbanen Zwillings Flächen identifiziert werden, die bei Starkregen sehr wahrscheinlich zu viel Wasser anstauen und dadurch zu lokalen Überschwemmungen führen können. Diese sind in der folgenden Karte nochmals zu erkennen.



Abbildung 96: Überschwemmungspotentialflächen (Eigene Darstellung)

Eine Lösung zur Minderung des lokalen Anstauens von Wasser stellen dabei Retentionsräume dar.

(Multi-)Funktionelle Retentionsräume

Dabei wird versiegelter Raum umfunktioniert, sodass bei Starkregenereignissen, die nicht durch die Kanalisation bewältigt werden können, diese Flächen das Wasser aufnehmen und dabei örtliche Überschwemmungen verhindern können. Dabei wird zwischen zwei Flächentypen unterschieden:

- Typ 1 sind Flächen die in der Hauptnutzung nicht wasserwirtschaftlich betrieben werden, jedoch bei Starkregenereignissen für den Abfluss dieses Wassers in Anspruch genommen werden. Dies könnten bspw. Verkehrs- oder Freiflächen sein.
- Typ 2 sind Flächen die schon als Regenrückhalteanlagen dienen und als zusätzlicher Versickerungsraum bei Strakregenereignissen fungieren.

Durch die Implementierung dieser Flächen, kann Regenwasser u.a. wieder in das Grundwasser gelangen. Im Falle von Starkregenereignissen wird die Kanalisation entlastet und die obersten Erdschichten befeuchtet. Sie sind damit in der Lage Regenwasser aufzunehmen. Neben der Entlastung der Kanalisation, kann durch noch nicht versickertes

Wasser, mittels Verdunstung das Stadtklima gekühlt werden. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass die Flächen in regenarmen Zeiten u.a. als Spiel- und Erholungsfläche genutzt werden können. Dadurch wird die Fläche multifunktional nutzbar und dient der Stärkung einer resilienten Stadt. Bei der Entwicklung von Retentionsräumen müssen verschiedene Faktoren beachtet werden, um die Fläche bestmöglich zu nutzen.

1. Die Nutzung und Intensität der Räume muss geprüft werden. Bei Grünflächen muss zunächst ermittelt werden, wie stark die Fläche genutzt wird und welche Folgen auf die Nutzer:innen zu kommt, sollte die Fläche durch Starkregen nicht zur Verfügung stehen. Bei Verkehrsflächen muss ebenfalls hinterfragt werden, wie stark die vorgesehene Fläche genutzt wird und wie die Verkehrsströme fließen, sollte die Fläche aufgrund von Regen nicht genutzt werden können. Daher eignen sich zentrale Plätze, sowie die primären Verkehrsachsen eher weniger als Retentionsräume.
2. Bei der Auswahl von Retentionsräumen muss die Sicherheit der Nutzer:innen beachtet werden. Beschilderung und andere Maßnahmen sind erforderlich, um auf die multifunktionale Nutzung hinzuweisen und mögliche Gefahren zu minimieren. Regelmäßige Kontrollen der Flächen und ihrer Entwässerungssysteme sind notwendig.
3. Barrierefreiheit spielt eine zentrale Rolle bei der Gestaltung von Retentionsräumen. Taktile Leitsysteme und rutschfeste Oberflächenmaterialien sollten verwendet werden, wobei eine Nutzungsabwägung zwischen Überflutungsschutz und Barrierefreiheit erforderlich sein kann.
4. Bei der Entwicklung von Retentionsräumen spielt der Aspekt des Umweltschutzes eine große Rolle. Es ist wichtig zu prüfen, inwieweit das Zulaufwasser belastet ist, besonders wenn es aus Verkehrsflächen stammt und einen hohen Anteil von Gummi- und Bremsabrieb aufweisen kann. Um Verschmutzung zu verhindern, sollte dieses Wasser nicht ins Grundwasser geleitet werden. Des Weiteren muss die Empfindlichkeit der vor Ort befindlichen Naturräume gegenüber möglichen Stauungen berücksichtigt werden. Technische Maßnahmen wie spezielle Bepflanzung können in Betracht gezogen werden, um die Belastung der Böden zu reduzieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die Wiederherstellungskosten nach einer Überschwemmung, die für die erneute Nutzung der Fläche als Retentionsraum anfallen können. Diese Kosten müssen genau bestimmt werden, etwa für die erneute Anpflanzung von Pflanzen oder die Beschaffung neuer Gegenstände, um die Fläche wiederherzustellen.
5. Der letzte zu berücksichtigende Faktor betrifft potenzielle Synergiepotenziale. Durch das oberflächliche Stauen von Wasser bietet sich die Möglichkeit, den öffentlichen Raum zu gestalten. Dies verbessert nicht nur die Resilienz einer Stadt, indem gestautes Wasser zu Kühlungseffekten führt und den Raum befeuchtet, sondern auch Grünflächen tragen dazu bei. Diese Flächen, die regelmäßig für dezentrale Regenwasserbewirtschaftung genutzt werden und Verdunstung sowie Versickerung ermöglichen, bieten vielseitige Synergien für das Mikroklima, die Luftreinhaltung, die Artenvielfalt, das Stadtbild und die Aufenthaltsqualität. Durch geeignete Hinweisvorrichtungen kann das temporäre Auftreten von Regenwasser auf diesen Flächen verdeutlicht werden, um die Funktion für die Öffentlichkeit erlebbar zu machen.

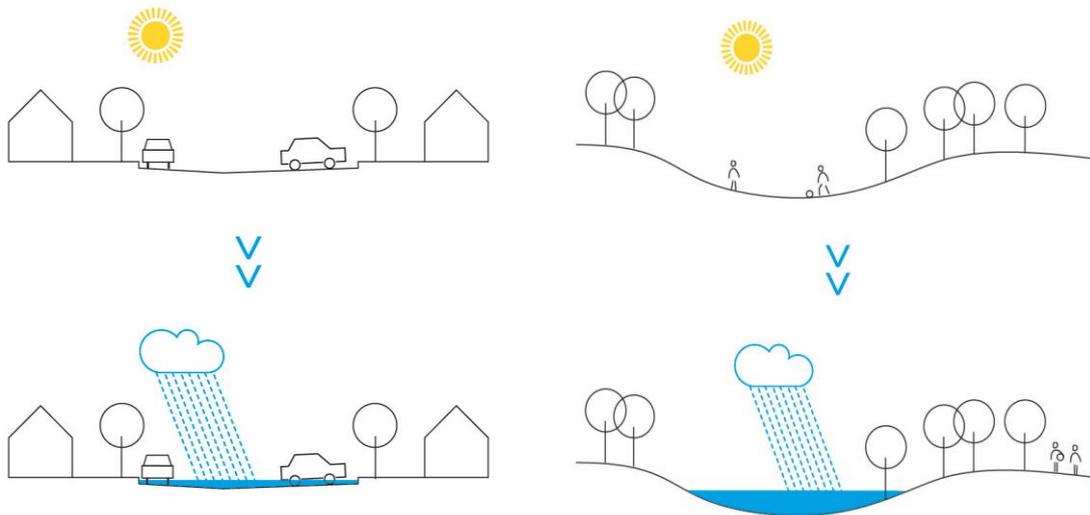


Abbildung 97: Nutzungsweise Retentionsräume (Datenquelle: Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. MURIEL)

Deutlich umfangreicher und weiterführender ist neben der Entwicklung von Retentionsflächen, die Gestaltung von Apolda zu einer Schwammstadt. Dabei geht es um die Speicherung von sauberem „Niederschlagswasser“ in zentralen oder kleineren dezentralen Speichern. Dazu wird das Regenwasser aus allen vorhandenen Quellen gesammelt, um es wieder in den Wasserkreislauf zurückzugeben. Das Wasser könnte aus Regenrinnen der Häuser oder aus Retentionsflächen entstammen.

Verschmutztes Wasser hingegen wird, wie jetzt bereits, mittels der Kanalisation aus der Stadt abgeleitet. Damit kann bei Starkregenereignissen zunächst so viel Wasser gesammelt werden, wie die Speicher der Stadt fassen können. Sollten diese vollständig gefüllt sein, kann das übrige Wasser entweder den tieferen Erdschichten zugeführt werden oder notfalls an die Kanalisation weitergegeben werden. Dadurch besitzt die Stadt im Falle eines Starkregenereignisses mindestens eine Notfallkapazität, auf die zurückgegriffen werden kann, um lokale Überschwemmungen zu verhindern. Auch private Regentonnen oder Zisternen helfen dabei lokale Überschwemmungen zu verringern und das Abwassersystem zu entlasten. Das gesammelte Regenwasser kann dann für verschiedene Zwecke genutzt werden, wie die Bewässerung von Grünflächen, Toilettenspülung oder Reinigungszwecke und spart somit auch aufbereitetes Trinkwasser.

Das Wasser aus kommunalen Speichern kann genutzt werden, um es in besonders heißen und/ oder niederschlagsarmen Monaten den Pflanzen in der Stadt zuzuführen. Zusätzlich kann durch die Bewässerung auch die natürliche Verdunstung angeregt werden, wodurch das Stadtklima wiederum gekühlt wird. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch eine mögliche Umsetzung der genannten Idee.



Abbildung 98: Konzept einer "Schwammstadt" (Datenquelle: HAZ, Leibniz Universität)

In Apolda steht dabei die Innenstadt und die Kernstadt im besonderen Fokus. In keinem anderen Teil der Stadt, gibt es so ein hohes Maß an Versiegelung und dichter Bebauung. Um den angesprochenen Herausforderungen zu begegnen bedarf es einer Teilentsiegelung, durch Schotter, Rasengittersteine, Fugenpflaster oder Sickerpflastersteinen, sowie der Schaffung von Retentionsräumen. Dabei treten besonders die Straßen, Wege, Plätze, Stellflächen, Parkplätze, Innenhöfe und Feuerwehrezufahrten der Kernstadt in den Fokus der Betrachtungen. Nach der Analyse der baulichen Nutzung, würde sich die Fläche des Marktplatzes oder der Platz vor der Lutherkirche für erste Maßnahmen eignen.

8.9.4. Hitzesensitive Stadtentwicklung

Um präzise Maßnahmen für die hitzesensitive Stadtentwicklung vorzuschlagen, wurde zunächst mithilfe des digitalen urbanen Zwillings analysiert, welche Gebiete besonders durch Hitze gefährdet sind.

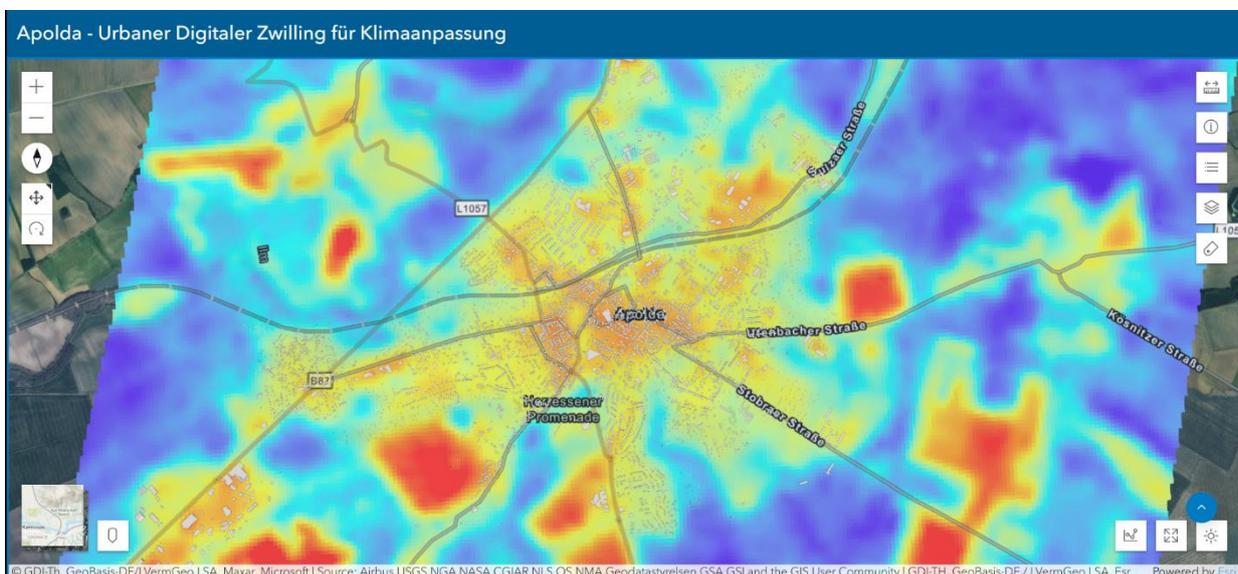


Abbildung 99: Hitzebelastete Orte (eigene Darstellung)

In der vorherigen Übersichtskarte wird deutlich, dass besonders das Zentrum der Stadt, mit Teilen des Marktplatzes und vielen weiteren versiegelten Flächen besonders stark durch Hitze betroffen ist. Bei den besonders stark geröteten Flächen außerhalb der Stadt handelt es sich um landwirtschaftliche Fläche bzw. naturnaheflächen, die über keinen hoch gewachsenen Grasbewuchs verfügen. Dadurch heizen sich die Flächen während eines Tages besonders stark auf.

Verschattung

Das erste Maßnahmenpaket beschäftigt sich mit der Verschattung von Flächen, um die Wärmebelastung zu reduzieren. Der größte Teil der Wärme in innenstadtnahen Lagen entsteht durch die direkte Einstrahlung von Sonnenlicht und der geschlossenen Bebauung von Gebäuden, wodurch die Wärme gestaut wird. Um diesem Effekt vorzubeugen, gibt es bauliche oder natürliche Lösungen. Die Lösungen auf baulicher Seite bestehen aus der Errichtung von Sonnensegeln oder Überdachungen über besonders belasteten Plätzen oder Straßen. Diese Lösungen können auch kreativ und künstlerisch umgesetzt werden, um einen zusätzlichen Anziehungspunkt innerhalb der Stadt zu schaffen. Zu den natürlichen Lösungen gehört die Platzierung von Bäumen oder Sträuchern, um deren Schatten zu nutzen. Diese Lösung weist den Vorteil auf, dass wieder Synergieeffekte zum Regenwassermanagement hergestellt werden können. Auch Schallemissionen können durch Bepflanzungen vermindert werden. Je nach Standort und Zielsetzung, welche der Faktoren relevant sind, ist die passende Baum oder Strauchart auszuwählen. Zur Implementierung dieser Maßnahme würde sich die Kernstadt von Apolda eignen. Durch den bereits vorhanden baulichen Bestand, mit den engen Gassen und der damit einhergehenden Stauung der Wärme könnte die Verschattung helfen, die entstehende Wärmeinsel zu reduzieren. Einige Beispiele für eine innenstadtnahe Verschattung liefert die Stadt Wien, wie in den folgenden Darstellungen sichtbar wird:



Abbildung 101: Verschattung durch Begrünung (Datenquelle: Stadt Wien)



Abbildung 101: Verschattung durch die Errichtung von Sonnensegel (Datenquelle: Stadt Wien)

Luftzirkulation

Das zweite vorgeschlagene Mittel zur Erhöhung der Resilienz gegenüber den klimatischen Veränderungen besteht in der Verbesserung/ Schaffung und Optimierung von Luftzirkulation. Wetterlagen mit hohen Lufttemperaturen, die zu überdurchschnittlich hohen Wärmebelastungen in den Siedlungsräumen führen, können durch nächtliche Kalt- und/oder Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen abgebaut werden. Als Kaltluft produzierende Bereiche werden vegetationsgeprägte Freiflächen identifiziert, wie z.B. Parkareale aber

auch Grünflächen wie Grünanlagen, Kleingärten oder sogar Friedhofsanlagen. Die Kaltluftströmungen aus diesen Bereichen tragen direkt zur Frisch-/Kaltluftversorgung der angrenzenden Siedlungsflächen bei. In bebautem Gelände üben dabei die einzelnen Gebäude eine Hinderniswirkung auf nächtliche Kaltluftströmungen aus und verzögern diese. Kleinere Grünareale können dagegen als „grüne Trittsteine“ das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung unterstützen und damit den klimatischen Einwirkungsbereich vergrößern.

Für Apolda gibt es zwei Möglichkeiten diese Mittel umzusetzen. In den schon bestehenden Siedlungsflächen könnten „grüne Trittsteine“ entwickelt werden, damit Kalte Luft in die Wärmebelasteten Zonen gelangen kann. Für die vielfältigen Neubau- und Revitalisierungsprojekte könnte bei der Planung schon auf die Errichtung von Frischluftschneisen geachtet werden, um die Bereich auf die klimatischen Veränderungen vorzubereiten. Eine letzte Möglichkeit, um Frischluft in die schon bestehenden Siedlungsflächen strömen zu lassen, bestünde in dem Anlegen von bewegten Wasserflächen. Damit könnten wiederum Synergieeffekte freigesetzt werden, da zusätzlich zu der Funktion als Ventilationsbahn auch noch die Abkühlung des direkten Umfeldes durch Fließgewässer unterstützt werden kann. Somit kann der Hitzebelastung vorgesorgt werden. Eine Möglichkeit, um in Apolda die Luftzirkulation zu verbessern, wäre der Ausbau bzw. die Erweiterung des Umfeldes um den Heressener Bach. Der Bach fließt heute schon durch Apolda und hat seinen Ursprung vor der verdichteten Innenstadt. Damit wäre durch den Ausbau der Grünflächen entlang des Baches eine Frischluftschneise geschaffen, die wie in der untenstehenden Darstellung dafür sorgen könnte, dass frische Luft direkt in die Kernstadt gelangt und somit die städtische Wärmeinsel reduziert.

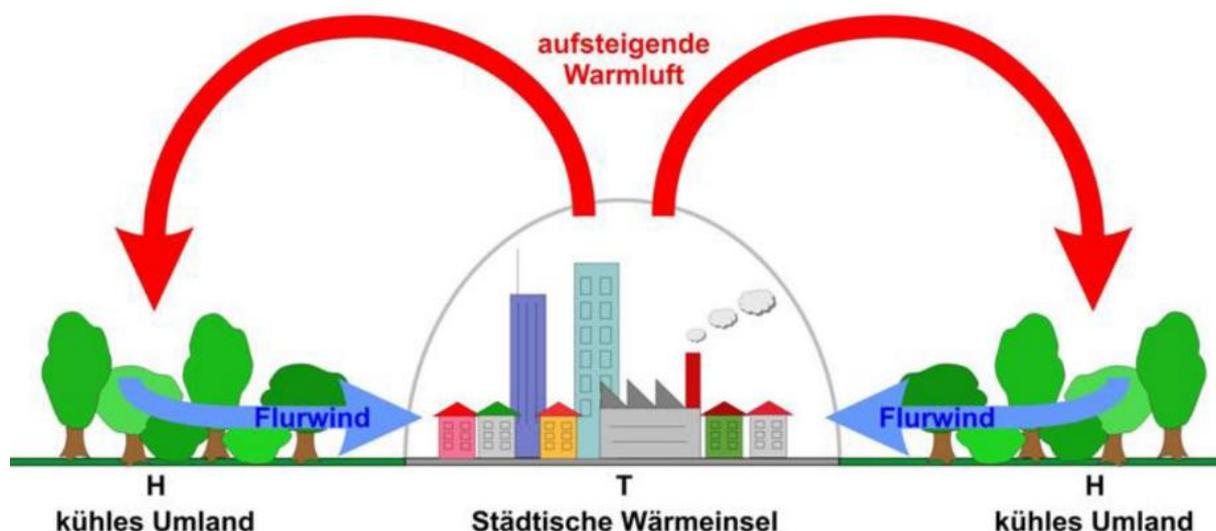


Abbildung 102: Wärmeinsel Stadt ⁵¹

Durch die Errichtung und Qualifizierung von Kaltluftschneisen, könnten ebenfalls Synergieeffekte mit anderen Sektoren erzielt werden, wenn hochwertige Radwege geschaffen werden. Dadurch könnten einpendelnde Menschen das Fahrrad nutzen, um die Kernstadt Apoldas zu erreichen. Somit lassen sich auch die Emissionen im Mobilitätssektors verringern.

⁵¹ Stadt Mannheim

8.9.5. Entsiegelung

Das Thema „Entsiegelung“ spielt sowohl bei der hitze- als auch wassersensitiven Stadtentwicklung eine wichtige Rolle und wird daher als eigenständiges Thema betrachtet. Wie in der Beschreibung des Quartiers schon deutlich wurde, besteht ein großer Teil der betrachteten Fläche aus Siedlungs- und Verkehrsflächen. Zwar gibt es auch zwei größere Grünflächen, zwei Standgewässer (Friedensteich und Lohteich) sowie den Herressener Bach, dennoch ist ca. ein Drittel des Quartiers versiegelt.

Für die detaillierte Untersuchung der versiegelten Flächen werden anhand von Luftbildern gezielt relevante Bereiche ausgewählt. Dabei liegt der Fokus insbesondere auf Verkehrs- und Gebäudeflächen sowie öffentlichen Plätzen. Private Parkplätze finden bei dieser Analyse nur eingeschränkte Berücksichtigung, da die Bildauflösung keine verlässlichen Aussagen zum Versiegelungsgrad ermöglicht und die Erfassung dieser Flächen äußerst aufwendig ist. Die Abbildung 103 veranschaulicht die Versiegelung im Untersuchungsgebiet "Erweiterte Kernstadt", wobei vor allem im Stadtzentrum und in den Gewerbegebieten zahlreiche versiegelte Flächen identifiziert werden können.

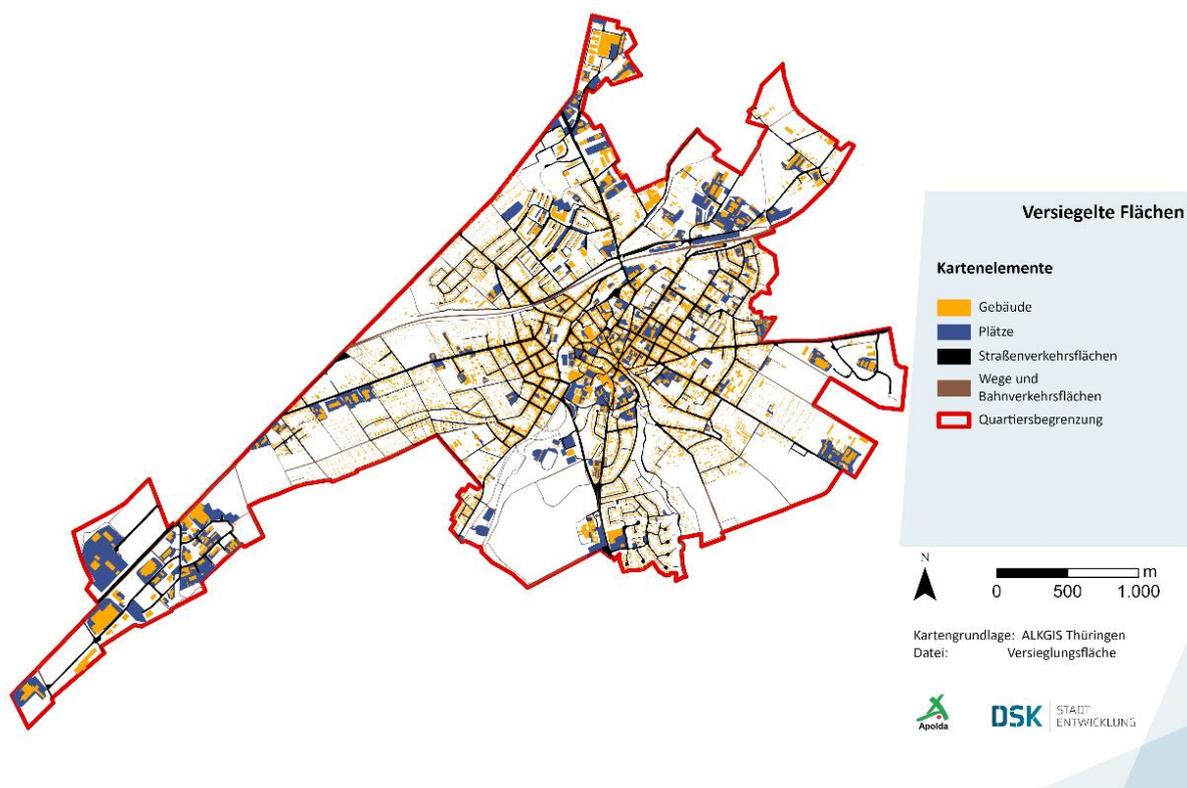


Abbildung 103: Versiegelung in Apolda

Für die Bestimmung des Versiegelungsgrades werden die identifizierten Flächen mit dem Versiegelungsfaktor multipliziert. Dieser weist beispielsweise bei Dächern, Asphalt und Beton einen Wert von 1 auf, während er bei Schotter 0,2 beträgt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 104 lokalisiert und zeigen, dass beinahe ein Drittel des Quartiers versiegelt ist. Dabei wird deutlich, dass Gebäude den höchsten Anteil an der Versiegelung ausmachen, während auch Verkehrsflächen und Plätze einen bedeutenden Teil der Quartiersfläche bedecken. Wege und Bahnverkehrsflächen spielen aufgrund ihres geringen Versiegelungsfaktors eine untergeordnete Rolle.

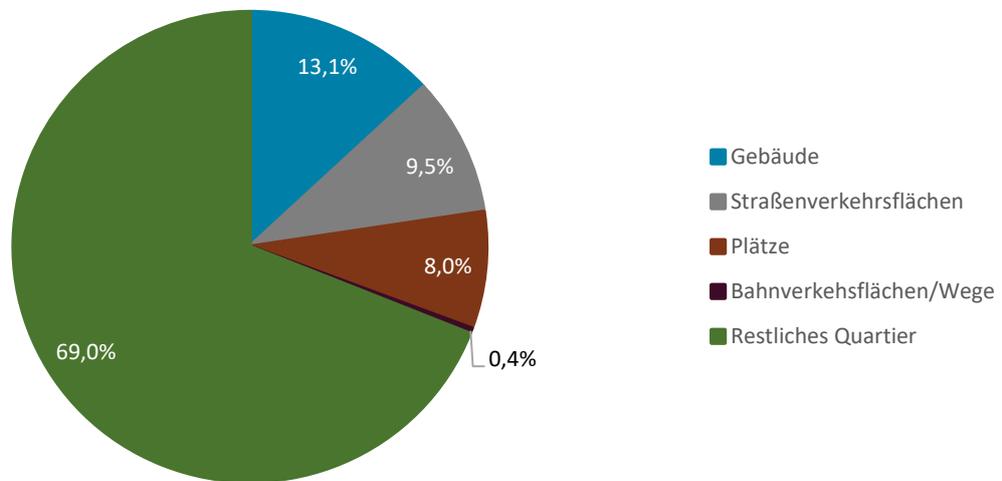


Abbildung 104: Versiegelunganteile in Apolda (Eigene Darstellung)

Neben der besseren Bewältigung von Niederschlagsereignissen und vor dem Hintergrund der zunehmenden Hitzebelastung werden aus Sicht des Mikroklimas auf Quartiersebene künftig die natürlichen Kühlungsprozesse immer mehr an Bedeutung gewinnen. Durch die versiegelten Flächen kann kein Wasser verdunsten, wodurch in den Sommermonaten die Luft nicht durch den Verdunstungseffekt gekühlt werden kann und der Effekt der Wärmeinsel sich über den Städten verstärkt. Dies hat zur Folge, dass sich die Stadt noch stärker aufwärmt, wodurch wiederum die Bewohner:innen, sowie die Flora und Fauna stärker belastet werden. Gerade bei sehr jungen oder alten Personen kann Hitze gesundheitliche Folgen haben. Für Apolda ist dies besonders relevant, da es in den kommenden Jahren zu einer Überalterung der Stadtbevölkerung kommen wird und dementsprechend immer mehr Menschen mit den Hitzefolgen umgehen müssen. Um den genannten Herausforderungen zu begegnen kann eine mögliche Lösung die Entwicklung von Retentionsräumen sein.

8.9.6. Qualifizierung von Grün-/Freiflächen

Grün- und Freiflächen spielen bei der Entwicklung einer klimaresilienten Stadt eine besondere Bedeutung. Durch die Freiflächen kann aufgewärmte Luft besser abkühlen und damit zu einer Verbesserung des Mikroklimas in der Stadt beitragen. Außerdem gibt es große Synergien zwischen der Entwicklung von Grünflächen und dem Niederschlagsmanagement, wie bereits in dem Kapitel zuvor gezeigt werden konnte. Somit verbinden Grün- und Freiflächen zwei der zentralen Vorhaben klimaresilienter Planung. Um diese Synergien zu nutzen und dabei das Mikroklima zu verbessern können verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel könnte das schon vorhandene Straßenbegleitgrün ausgebaut werden, damit noch mehr Straßen und damit versiegelte Fläche aufgewertet werden kann. Neben der Entwicklung von Straßenbegleitgrün ist auch die Entwicklung von kleinen Parks im direkten Wohnumfeld denkbar, damit die Menschen noch mehr Erholungsflächen nutzen können, sowie die weiteren positiven Effekte der Grün- und Freiflächen. Die beiden Darstellungen zeigen möglichen Entwicklung von Grünflächen mit der gleichzeitigen Maßnahme des Niederschlagsmanagements. In der ersten Darstellung ist ein Tiefbeet zu erkennen, das als Straßenbegleitgrün fungiert und bei Starkregen diesen aufnehmen und versickern lassen kann. In der zweiten Darstellung ist ein naturnaher Erholungsraum erkennbar, der für die Bewohner:innen die Wärmebelastung reduziert und bei Starkniederschlag die Überschwemmungsgefahr mindert. Durch

die Erstellung bzw. Weiterentwicklung eines Baumkatasters könnte die Freiflächenplanung in den urbanen digitalen Zwilling aufgenommen werden. Dadurch könnte der Zwilling auch bei der Freiflächenplanung unterstützen.

Im Bereich des fließenden Verkehrs hat sich zudem ein weiteres Potential der klimaresilienten Stadtentwicklung herausgebildet. Die bisherige Flächennutzungsanalyse offenbart, dass viele Straßenbereiche ein Defizit an Begleitgrün aufweisen, was nicht nur ästhetische, sondern auch ökologische Nachteile mit sich bringt. Durch die Implementierung von Mulden-Rigolen-Systemen und anderer Formen der Begrünung können signifikante Vorteile erzielt werden. Diese reichen von einem verbesserten Regenwassermanagement und einer Reduktion urbaner Hitzeeinseln über die Verbesserung der Luftqualität durch die Filterung von Schadstoffen bis hin zur Schaffung neuer Lebensräume für städtische Flora und Fauna. Zudem trägt ein vermehrtes Straßenbegleitgrün zur psychologischen und sozialen Aufwertung des Stadtraumes bei, indem es das Wohlbefinden der Bewohner fördert und zu einer freundlicheren, interaktiveren Nachbarschaftsumgebung beiträgt. Die Einführung von Straßenrandbegrünung ist somit ein zentraler Schritt hin zu einer nachhaltigeren, lebenswerteren Stadtgestaltung in Apolda.



Abbildung 105: Tiefbeet⁵²



Abbildung 106: Retentionsfläche und naturnaher Erholungsraum⁵³

⁵² Sieker.de

⁵³ Bäuerle Landschaftsarchitektur

8.9.7. Beratungsmaßnahmen

Im Kontext von Stadtgrün und Resilienzmaßnahmen ist es von Bedeutung, dass diese im öffentlichen Raum, sowie in privaten Grundstücks- und Gebäudeflächen in den Fokus rücken. Um diese Entwicklung zu fördern, können Beratungs- und Förderangebote als unterstützende Maßnahmen dienen. Eine effektive Beeinflussung der Entwicklung vor Ort kann durch Festsetzungen im Bebauungsplan für Neubaugebiete im Quartier von Anfang an erreicht werden. Die Umsetzung einer langfristigen, nachhaltigen und zukunftsorientierten Grünflächengestaltung kann durch die Integration eines Katalogs von besonders klimaresistenten Pflanzen und Bäumen gewährleistet werden. Ein integraler Bestandteil dieser grünen Entwicklung ist das Konzept der "Essbaren Stadt", bei den Grünflächen nicht nur ästhetisch, sondern auch funktional gestaltet werden. In diesem Kontext spielt das Konzept des "Mundraubs" eine bedeutende Rolle. Eine detaillierte Übersicht über vorhandene Obststräucher und Obstbäume ist über den folgenden Link einsehbar: <https://mundraub.org/>. Diese Plattform fördert nicht nur die lokale Lebensmittelherzeugung, sondern auch das gemeinsame Ernten und Teilen. Anwohner:innen sollte die Möglichkeit gegeben werden, Vorschläge für die Entwicklung der Grünflächen einzubringen, während im Gegenzug Vorschläge zur Nutzung unterbreitet werden können. Die langfristige Beteiligung der Bewohner:innen an der Pflege einzelner Elemente. Die Installation von Hochbeeten oder einem Gemeinschaftsgarten stellt einen vielversprechenden Ansatz dar. Durch die Bereitstellung von Trinkwasserpumpen und kleinen Kisten für Gärtnerwerkzeug können Transportwege vermieden werden. Das stärkt nicht nur die lokale Gemeinschaft, sondern kann auch zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beitragen.

Es sollten auch die Jüngsten sensibilisiert und in die Gestaltung ihrer Umwelt einbezogen werden. Bildungspartner:innen sind dabei wichtige Akteur:innen. Eine naturnahe Gestaltung der Freiräume in Schulen und Kindergärten ermöglicht das Naturerlebnis. Im Quartier selbst kann dies über nachhaltig gestaltete Spielplätze und lehrreiche Elemente geschehen. Einen Beitrag leistet dabei bereits der Lehrpfad an der Schötener Promenade, der im Zuge des Landschaftsprojekts „Naturblüte“ gestaltet wurde. Eine weitere Motivation können auch Nachhaltigkeitspreise sein, die von der Kommune ausgelobt werden.

Die Aufenthaltsqualität kann durch klimaresiliente Elemente gesteigert werden. Beispiele hierfür sind die Entwicklung von multifunktionalem Stadtraum, wie bereits oben dargelegt. Resilienz setzt sich aus zwei Elementen zusammen: Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit. Diese beiden Elemente sind zum einen durch die Stadtgesellschaft (Bürger:innen, Verwaltungsmitarbeitende, Politiker:innen) und zum anderen durch die bauliche Struktur (z.B. Gebäude und Grünzüge) geprägt. In den bisherigen Maßnahmen wurden die baulichen Strukturen in den Fokus der Maßnahmen gesetzt. Im Folgenden rückt die Stadtgesellschaft in den Fokus. Um allen Menschen die potentiellen Möglichkeiten der Klimaanpassung deutlich zu machen, bedarf es der Aktivierung der Bürger:innen. Im Projekt IResilience, das in der Stadt Köln und Dortmund durchgeführt worden ist, wurde versucht diesem Anspruch gerecht zu werden. In unterschiedlichen Veranstaltungen wurden die Bürger:innen über Klimaanpassungsstrategien aufgeklärt und in die Entwicklung dieser miteinbezogen. Daraus sind verschiedene Maßnahmen entstanden, wie der „Hitzepickzettel“. Darin haben die Bürger:innen die am stärksten von der zunehmenden Hitze betroffen sind alle relevanten Punkte, um die zusätzliche Belastung auszuhalten, kartiert. Dabei wurden zum Beispiel Bänke, die sich im Schatten befinden oder kostenlose Trinkwasserbrunnen kartiert. Außerdem konnten die Menschen Ideen einbringen ihr Umfeld aber auch das private Grundstück klimaneutraler zu gestalten, durch die Schaffung weiterer Grünflächen auf Dächern der Garagen oder Carports. Diese Maßnahmen wurden zusammen

mit der Stadtverwaltung besprochen, sodass ein Kommunikations-Dreiklang entstand aus engagierten Bürger:innen, Vereinen und der Stadtverwaltung. Dadurch konnten u.a. besonders stark belastete Plätze identifiziert und markiert werden, sodass die Menschen diese in den Sommermonaten meiden.

Das gesamte Projekt führte dazu, die Menschen zu beteiligen und zu aktivieren gemeinsam mit der Stadtverwaltung gegen die Auswirkung des Klimawandels zu arbeiten. Ein anderes Projekt zur Aktivierung der Bürgerschaft, ist das Projekt „Leuchtturm Louise“. Dabei wurde eine interaktive Plattform gestaltet, auf der Menschen sich über den Klimawandel und die Auswirkungen im Allgemeinen informieren können. Zusätzlich wurde noch eine interaktive Karte implementiert, mit Hilfe derer die Bürger:innen Orte markieren können, bei denen sie Anpassungsmöglichkeiten sehen. Dadurch werden die Menschen aktiviert und die Verwaltung erhält Hinweise auf potentielle Projekte zur Klimaanpassung.

8.9.8. Biodiversität

Der letzte Punkt, der in dem Aspekt der Klimaanpassung beachtet werden muss, ist die Biodiversität. Dabei werden unter dem Begriff die biologische Vielfalt, der Schutz und die nachhaltige Nutzung der Natur vereint. Somit besteht in der Klimaanpassung auch gleichzeitig der Erhalt, sowie der Ausbau der Biodiversität. Um dieses Ziel zu erreichen, um damit die Grundlage für das menschliche Leben zu unterstützen, bedarf es dem Einsatz von naturbasierten Lösungen. Damit ist der Ausbau von hochwertigen Park- und Grünflächen aber auch der Schutz der Böden, durch die Verhinderung des Einsatzes von bspw. Pflanzenschutzmitteln in der Grünpflege gemeint. Aber auch die Klimaanpassungsmaßnahmen spielen bei der Entwicklung eine wichtige Rolle. Nur durch die Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch die Entwicklung von Grünflächen oder Luftzirkulation können sich auch die Tiere und die Böden anpassen und langfristig resilient werden.

8.10. Szenarien

Im Folgenden sollen die einzelnen Potenziale in Szenarien zusammengeführt werden. Im ersten Schritt werden die Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf den Endenergieverbrauch quantifiziert. Anschließend werden die Möglichkeiten zur Deckung des Verbrauchs mit Energieträgern und somit die Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch und den THG-Ausstoß dargestellt.

Für den Bereich der kommunalen Liegenschaften und Infrastruktur werden folgende Annahmen getroffen

- Stromverbrauch: Rückgang des Stromverbrauchs um ca. 0,75 % p.a. Dies kann durch die kontinuierliche Erneuerung der technischen Ausrüstung, weitere Effizienzsteigerungen bei der Innenbeleuchtung, Installation von Sensorik, Modernisierungen von Pumpen usw. sowie die Optimierung des Nutzerverhaltens erreicht werden. Unterstützt werden kann der Prozess durch die Einführung eines kommunalen Energiemanagements und ein engmaschiges Verbrauchsmonitoring.
- Wärmeverbrauch: im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde aufgrund der Vielzahl der Objekte keine detaillierte Betrachtung der Einsparpotenziale auf Ebene einzelner Gebäude durchgeführt. Zu den baulichen Maßnahmen sollte ein Sanierungsfahrplan erstellt werden, um die Investitionstätigkeit zu priorisieren. Unterstützend ist hier das bereit erwähnte kommunale Energiemanagement einzubinden. Es

wird ein pauschaliertes Reduktionspotenzial von 25 % unterstellt. Dieses kann neben investiven Maßnahmen zur Sanierung der Hülle in großen Teilen durch Anpassungen der Einstellungen und der Fahrweise der Heizungstechnik, einen hydraulischen Abgleich, die Optimierung des Nutzerverhaltens unterstützt durch das Einführen eines kommunalen Energiemanagements idealerweise begleitet durch die Ausstattung der Gebäude mit Sensorik erreicht werden.

- Straßenbeleuchtung: es wird die Umrüstung aller Leuchten auf LED-Technik sowie die Optimierung der Fahrweise unterstellt. Somit wird ein Verbrauchsrückgang im insgesamt 50 % erreicht

Für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen werden folgende Annahmen zur Minderung getroffen:

- Stromverbrauch: Rückgang des Stromverbrauchs um ca. 0,5 % p.a. Dies kann auf die kontinuierliche Erneuerung der technischen Ausrüstung, weitere Effizienzsteigerungen bei der Innenbeleuchtung, Installation von Sensorik, Modernisierungen von Pumpen usw. werden.
- Wärmeverbrauch: bei Objekten mit Mischnutzung (Wohnen und Gewerbe in einem Objekt vertreten) wird eine Verbesserung entsprechend der Sanierungstätigkeit im Sektor wohnen unterstellt. Bei eigenständigen Gewerbeobjekten wird eine Optimierung um 1 % p.a. unterstellt

Für den Sektor Wohnen werden folgende Annahmen zu Minderungspotenzialen getroffen:

- Stromverbrauch: Rückgang des Verbrauchs um 1 % p.a. Auch hier spielt die kontinuierliche Effizienzsteigerung bei den Geräten, insbesondere der energieintensiven Haushaltsgeräten wie Kühlschrank, Herd, Waschmaschine und der Beleuchtung eine wesentliche Rolle, die die Rebound-Effekte bedingt durch zusätzliche Geräteausstattung und Mehrfachnutzung übersteigt. Zudem können perspektivisch positive Effekte aus der Einführung von Smart-Metering erwartet werden.
- Wärmeverbrauch: es wird eine Entwicklung entsprechend Sanierungsszenario 1 unterstellt. Im Wesentlichen wird somit einer Sanierungsquote von ca. 1 % p.a. unterstellt.

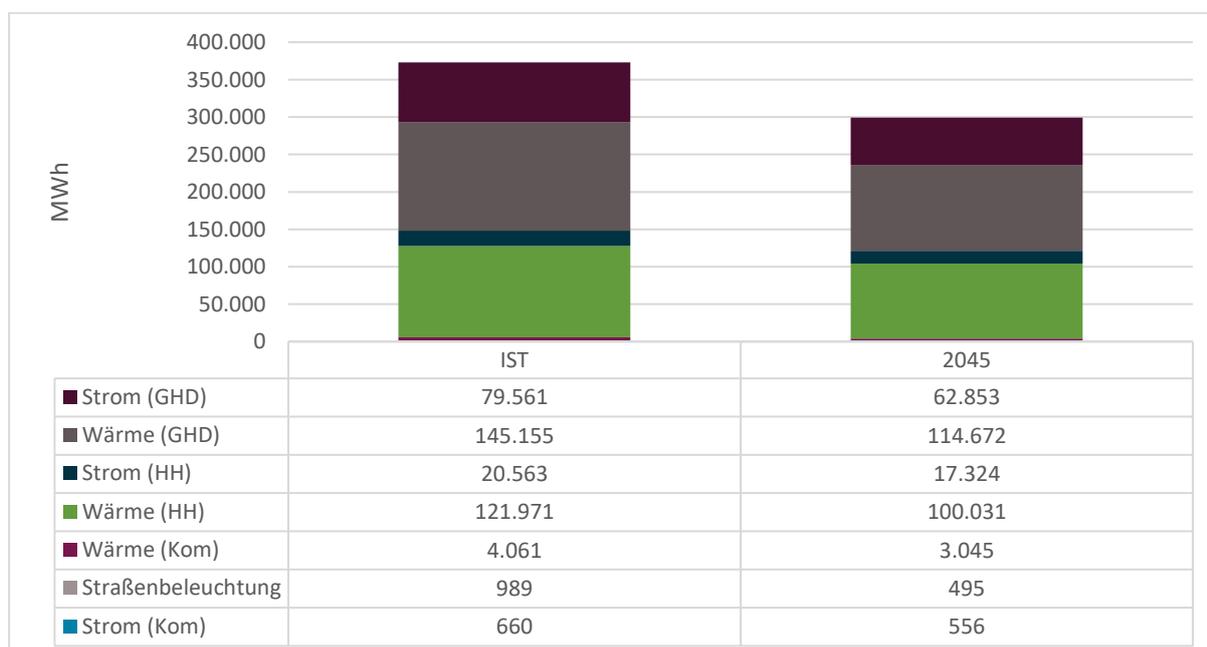


Abbildung 107: Endenergieverbrauch

Tabelle 38: Einsparung, Endenergie

	Einsparung absolut [MWh]	Einsparung relativ [%]
Kommune	1.614	28
Strom	104	16
Straßenbeleuchtung	495	50
Wärme	1.015	25
Wohnen	25.178	18
Strom	21.939	18
Wärme	3.239	16
GHD	47.190	21
Strom	30.482	21
Wärme	16.708	21
SUMME	73.982	19

Im nächsten Schritt erfolgt der Vergleich unterschiedlicher Szenarien für dominante Versorgungsmöglichkeiten für den verbliebenen Energiebedarf. Die Wahl der Energieträger hat dabei Auswirkungen auf die Primärenergiebilanz und den THG-Ausstoß. Hierbei handelt es sich um eine Grobbetrachtung die in drei Szenarien erfolgt:

1. Szenario Wärmepumpe:

der Anteil von Wärmepumpen an der Wärmeversorgung im Sektor Haushalte erreicht ca. 66 % (Jahresarbeitszahl 4), Fern-/Nahwärmeversorgung erfolgt lediglich in dem aktuell bestehende Versorgungsgebiet sowie den beiden identifizierten und zuvor beschriebenen Erweiterungsgebieten; bei Solarthermie erfolgt eine Verdreifachung der installierten Kollektorfläche, auch bei Biomasse, die im Rahmen des GEG als Erfüllungsoption für den Bestand gilt, erfolgt eine Steigerung der Nutzung um 300 %, Direktstromanwendungen steigern sich um Faktor 2,5.

Im gewerblichen Bereich erreicht Wärmepumpe einen Anteil von fast 40 %, ca. 35 % entfallen auf die netzbasierte Wärmeversorgung, wobei hier auch lokale Nahwärmeinsellösungen inbegriffen sind. Wasserstoff oder synthetische Gase machen ca. 22 % aus. Solarthermie, Biomasse und Direktstromanwendungen übernehmen, so wie bereits heute eine residuale Rolle.

2. Szenario Fernwärme : dominante Rolle netzbasierter Wärmeversorgung

Der Anteil netzbasierter Wärmelösungen an der Versorgung im Sektor Haushalte erreicht ca. 50 %. Dies entspricht fast einer Verdopplung der Mengen gegenüber Szenario Wärmepumpe. Der Anteil von Wärmepumpen erreicht etwa 42 %. Die übrigen Energieträger behalten ihre Anteile, wie im Szenario Wärmepumpe.

Im gewerblichen Sektor erreichen netzbasierte Lösungen einen Anteil von knapp 53 %. Auf Wärmepumpen entfallen ca. 30 % und auf Wasserstoff etwa 13%.

3. Szenario Wasserstoff

in diesem Szenario erfolgt die Ausweitung von Wärmepumpen und netzbasierten Wärmeversorgungs-
lösungen im geringeren Ausmaß, sodass Wasserstoff eine gewisse Rolle auch in der Wärmeversorgung der
Haushalte zukommen muss. Im Sektor Gewerbe erreicht der Anteil ca. 31 %.

Die sich aus den Annahmen ergebenden Auswirkungen auf den Endenergiebedarf im Quartier werden in Abbildung
108 dargestellt. An dieser Stelle soll keine Festlegung auf die einzelnen Energieträger oder Technologien erfolgen.
Alle aufgeführten Energieträger stellen prinzipiell Erfüllungsoptionen laut GEG dar. Die Vorschläge sind teils mit
der Verfügbarkeitsproblematik konfrontiert. Zur Verfügung stehen auch weitere Erfüllungsoptionen (z.B. Biogas),
deren lokale Verfügbarkeit jedoch aktuell ebenfalls nicht gesichert/gegeben ist, oder die Kombinationen verschie-
dener Technologien. Die genaue künftige Verteilung der Technologien kann nicht vorhergesagt werden. Eine etwas
präzisere Quantifizierung der Anteile kann erst im Zuge der kommunalen Wärmeplanung erfolgen. Da diese aktuell
noch nicht vorliegt, ist das Ziel daher die Größenordnungen darzustellen, die künftig mit alternativen Energieträ-
gern abzudecken sind sowie die bilanziellen Unterschiede der am meisten diskutierten Energieträger.

Im weiteren Verlauf sollen die unterschiedlichen Auswirkungen von Biomasse und Wasserstoff auf die Primärener-
gie und THG-Bilanz dargestellt werden.

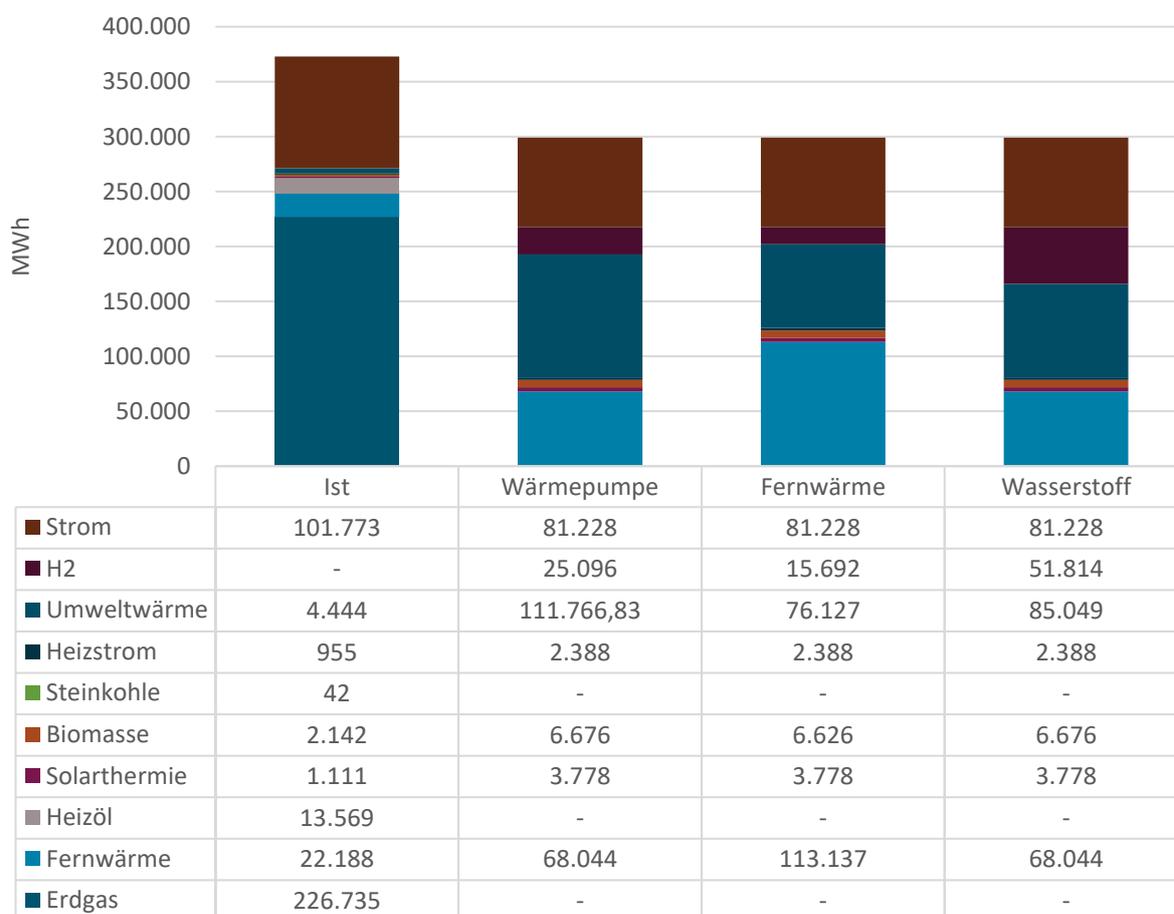


Abbildung 108: Endenergiebilanz nach Energieträgern

Abschließend werden einige Annahmen zu den Faktoren – Primärenergie (PEF) – und THG-Emissionsfaktor – skizziert.

- Im ersten Schritt erfolgt die Bilanzierung mit den aktuellen PEF und CO₂-Faktoren entsprechend GEG, für Energieträger, die im GEG definiert sind.
- Fern-/Nahwärme: der Primärenergiefaktor und der CO₂-Emissionsfaktor wird entsprechend den vorliegenden Berechnungen aus dem Klimaschutzplaner übernommen (PEF 0,7, Emissionsfaktor 151 g CO_{2äq}/kWh). Perspektivisch muss für das bestehende Netz eine Dekarbonisierung erfolgen, d.h. der Ersatz fossiler durch nicht fossile Energieträger. Dies wird Auswirkungen auf den PEF und den Emissionsfaktor haben. Eventuelle neue Versorgungsgebiete werden ebenfalls auf Basis nachhaltiger Energiequellen bedient. Der PEF wird somit im Bereich oder nahe des im GEG definierten mindestwertes liegen und wird mit 0,25 angenommen. Der CO₂-Emissionsfaktor wird aufgrund des nachhaltigen Energieträgermixes ebenfalls sehr gering ausfallen. Insbesondere, wenn mögliche künftige Verbesserungen der Faktoren bei Strom und Wasserstoff berücksichtigt werden. Für die Berechnungen wird ein Emissionsfaktor von 25 g CO_{2äq}/kWh unterstellt.
- Strom: sowohl der Primärenergie- als auch der CO₂-Emissionsfaktor für Strom unterliegen einer dynamischen Entwicklung. Der Primärenergiefaktor für Strom verringerte sich in den vergangenen Jahren schrittweise von 3,0 im Jahr 2002 auf aktuell 1,8, wobei der reelle Faktor entsprechend der Berechnung von IINAs bei ca. 1,45 liegt (2021). Der CO₂-Emissionsfaktor wird jährlich durch das Umweltbundesamt ermittelt (GEG-Wert 560 g/kWh, Berechnung von IINAs für 2021: 409 g/kWh). Aufgrund des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien am Strommix ist auch künftig von einer weiteren Verringerung des CO₂-Emissionsfaktors und dementsprechend auch einer Anpassung des Primärenergiefaktors auszugehen. Letzteres ist insbesondere auch deswegen erforderlich, um die strombasierten Wärmeeerzeugungsanlagen bilanziell gegenüber fossilen Anlagen nicht zu benachteiligen. Da perspektivisch eine ausschließliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreicht werden soll, müsste auch der Primärenergiefaktor künftig auf nahezu null sinken. Dies führt zwangsläufig zu Verzerrungen und unerwünschten Ergebnissen. So kommt eine Studie des IFEU zur Schlussfolgerung *„Die derzeitige Ausgestaltung bzw. Verwendung des PEF_{ne} im Rahmen der EnEV/GEG macht perspektivisch keinen Sinn mehr, wenn – insbesondere im Strombereich – die Werte gegen Null konvergieren. Die implizite Schlussfolgerung, dass mit der Verwendung von (beliebigen Mengen an) erneuerbarem Strom keine Umweltwirkungen einhergehen, ist nicht zutreffend.“*⁵⁴

Mehrere Studien unterschiedlicher Institute (IINAs, dena, KN) befassen sich mit der künftigen Entwicklung und Gestaltung des Primärenergiefaktors und Emissionsfaktors für Strom. Festgehalten wird an dieser Stelle, dass die Primärenergiefaktorermittlung für Strom angepasst werden sollte. Für die Zwecke der Bilanzierung werden der aktuelle Primärenergiefaktor (PEF-Ist) von 1,8 und Emissionsfaktor (THG-Ist) von 560 g/kWh genutzt. Es werden auch Auswirkungen der künftigen Entwicklungen auf die Faktoren dargestellt. Dabei wird ein durchschnittlicher Wert aus den Modellen der IINAs, dena und KN ermittelt: PEF-Zukunft 0,04, THG-Zukunft 21,67 g/kWh.

⁵⁴ iTG/IFEU, 2016: Weiterentwicklung der Primärenergiefaktoren im neuen Energiesparrecht für Gebäude; iinas, 2021: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strom-mix im Jahr 2020 sowie Ausblicke auf 2030 und 2050

- Wasserstoff⁵⁵: für Wasserstoff werden im GEG keine Faktoren vorgegeben. Der PEF und der Emissionsfaktor werden sich künftig sehr stark vom Herstellungsprozess und den eingesetzten Energieträgern unterscheiden. Es besteht allgemeiner Konsens, dass der großvolumige Einsatz von Wasserstoff nur dann klimapolitisch sinnvoll ist, wenn dieser aus erneuerbaren Energien (grüner Wasserstoff) oder unter Abscheidung und Lagerung des entstehenden CO₂ (türkis) erzeugt wird. Aktuell sind noch keine ausreichenden Mengen grünen Wasserstoffs vorhanden. Es wird daher einer PEF und Emissionsfaktor für einen Wasserstoffmix der zu jeweils einem Drittel aus grauen⁵⁶ (PEF 1,48; THG: 297 g/kWh), blauen⁵⁷ (1,46; 55 g/kWh) und grünen Wasserstoff aus Deutschland (0,06; 21 g/kWh) besteht. Daraus ergibt sich ein PEF von 1 und ein Emissionsfaktor von 124,3 g/kWh.

In der Zukunft wird von dem Einsatz von ausschließlich grünem Wasserstoff ausgegangen, der zum Teil in Deutschland erzeugt und zum Teil importiert wird (z.B. aus Nordafrika). In diesem Fall kann ein PEF von 0,07 und ein Emissionsfaktor von 23,5 g/kWh angesetzt werden.

Die Ausführungen zu den Faktoren werden in Tabelle 39 zusammengefasst. Die nicht genannten Energieträger werden entsprechend den Angaben in Tabelle 15 bilanziert.

Tabelle 39: Faktoren für Szenarienberechnungen

	Ist		Zukunft/2045	
	PEF	THG	PEF	THG
Nah/Fernwärme	0,7	151 g/kWh	0,25	25 g/kWh
Wasserstoff	1	124,33 g/kWh	0,07	23,5 g/kWh
Strom	1,8	472 g/kWh	0,04	21,67 g/kWh

⁵⁵ Die Ausführungen zu den Faktoren für Wasserstoff beruhen auf aktuellen Berechnungen des BDEW (2022): Grundlagenpapier Primärenergiefaktoren

⁵⁶ Dampfreformierung in Deutschland ohne CO₂-Abscheidung

⁵⁷ Dampfreformierung in Norwegen mit CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS)

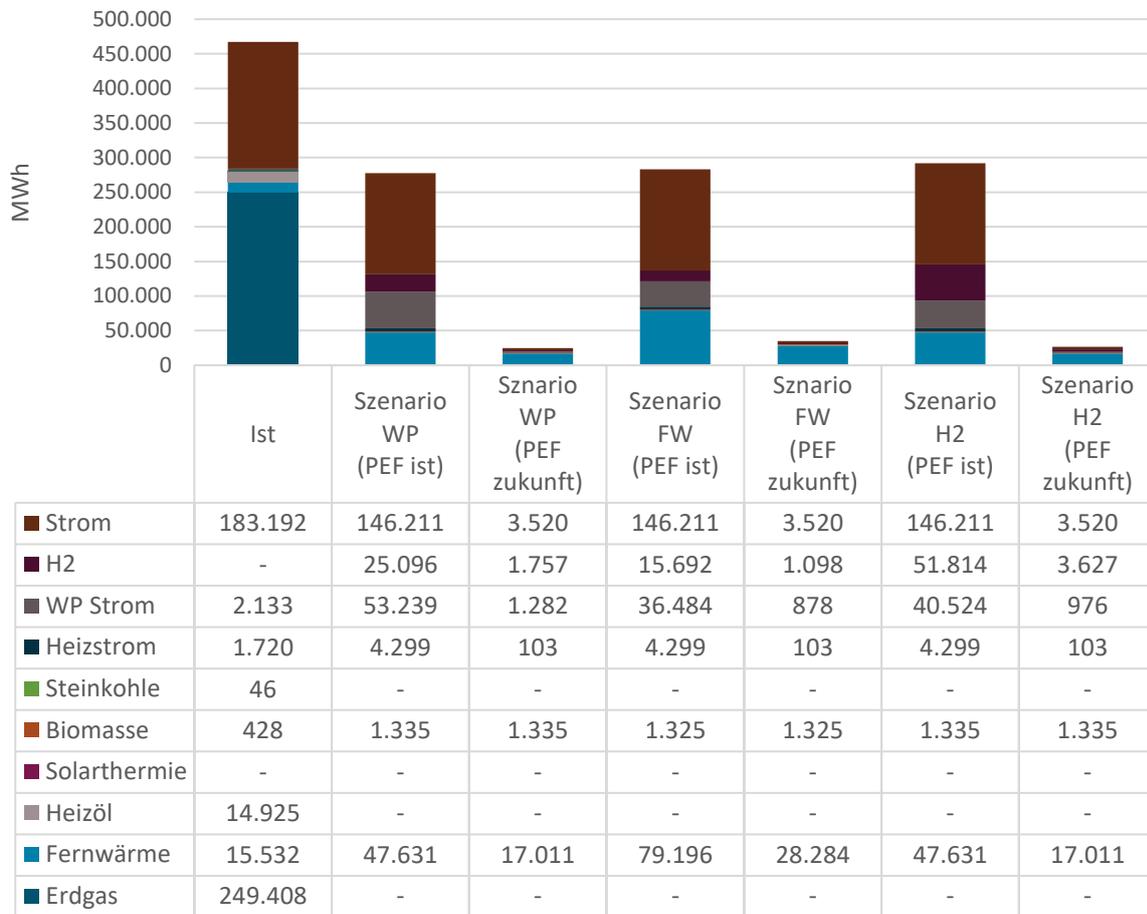


Abbildung 109: Primärenergieverbrauch: Ergebnisse der Szenarien

Die kumulierten Ergebnisse werden in Tabelle 40 gezeigt. Die künftig zu erwartende Entwicklung im Bereich der Primärenergiefaktoren führt dazu, dass rechnerisch extreme Einsparungen möglich sind. Inwiefern jedoch eine primärenergetische Betrachtung noch sinnvoll ist, wenn einzelne Energieträger mit 0 bilanziert werden (Solarthermie, Umweltwärme kombiniert mit lokaler Stromerzeugung) oder Faktoren aufweisen, die perspektivisch gegen 0 tendieren, ist fraglich. Zugleich würde die Beibehaltung der aktuellen Faktoren (Strom, Wasserstoff) nicht zielführend sein, wenn die Erzeugung dieser Energieträger unter Einsatz erneuerbarer Energien erfolgt.

Tabelle 40: Einsparung Primärenergie [kWh]

	Ist	WP (PEF Ist)	WP (PEF Zukunft)	FW (PEF Ist)	FW (PEF Zukunft)	H2 (PEF Ist)	H2 (PEF Zukunft)
Primärenergiebedarf	467.385	277.811	25.008	283.208	35.210	291.814	26.572
Einsparung absolut		189.574	442.377	184.177	432.175	175.571	440.813
Einsparung relativ		40,6%	94,6%	39,4%	92,5%	37,6%	94,3%

Analog zur primärenergetischen Betrachtung erfolgt im Folgenden die Darstellung der Einsparung im Bereich der Treibhausgasemissionen.

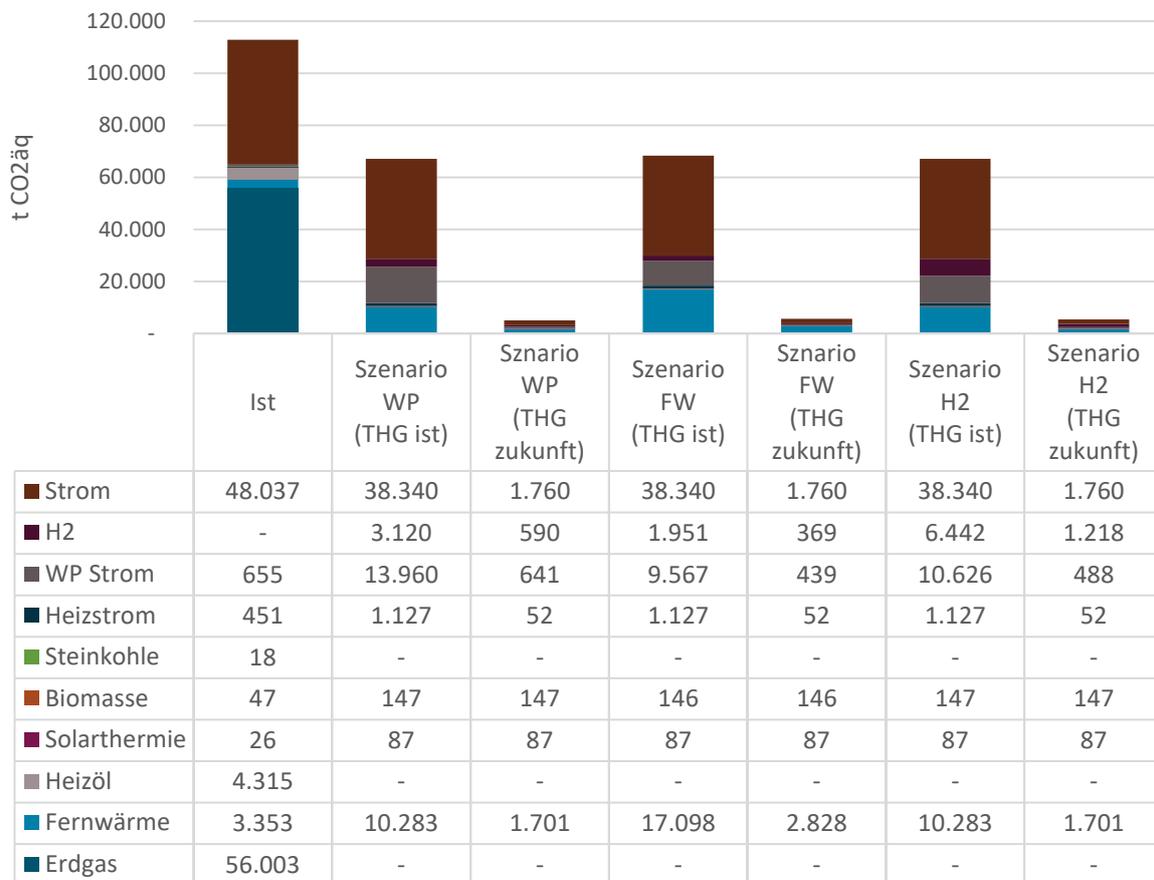


Abbildung 110: Treibhausgasemissionen: Ergebnisse der Szenarien

Die kumulierten Ergebnisse für den Bereich der Treibhausgasemissionen sind in der

Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Einsparung THG-Emissionen [t CO_{2äq}]

	Ist	WP THG Ist	WP THG Zukunft	FW THG Ist	FW THG Zukunft	H2 THG Ist	H2 THG Zukunft
THG-Emission	112.906	67.065	4.977	68.316	5.681	67.053	5.452
Einsparung absolut		45.841	107.929	44.590	107.225	45.853	107.454
Einsparung relativ		40,6%	95,6%	39,5%	95,0%	40,6%	95,2%

Rechnerisch/bilanziell sind zusätzliche Einsparungen möglich, in dem bspw. lokal/gebäudenah erzeugter Strom aus PV-Anlagen, der direkt für die Wärmeerzeugung eingesetzt wird (Wärmepumpen), angerechnet wird. Dieser Strom kann mit einem Faktor von 0 bilanziert werden. Auf diesen Rechenschritt wurde an dieser Stelle aus den bereits diskutierten Gründen bewusst verzichtet.

Die Szenarienbetrachtung zeigt, dass eine massive Verringerung der THG-Emissionen möglich ist. Dies wird zum einen durch die nachhaltige Gestaltung des bundesdeutschen Strommixes bedingt und zum andere durch einen

Wandel des Wärmeversorgungssystems. Der Bundesstrommix stellt einen externen Faktor dar, der lokal nur beschränkt beeinflusst werden kann. Die Forcierung der lokalen Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien kann jedoch den Bedarf an Netzbezug deutlich verringern und zugleich einen Beitrag zum Erreichen des bundesweiten Zieles eines nachhaltigen Strommixes leisten. Der Aufbau von netzbasierten Wärmesystemen, die perspektivisch auf Basis regenerativer Energien betrieben werden, stellt einen wichtigen Baustein auf dem Weg zur CO₂-Neutralität im Bereich der Wärmeversorgung dar. Wärmenetze ermöglichen die großflächige Einbindung erneuerbarer Energien in die Wärmeversorgung und deren Bereitstellung für Abnehmer, die hierzu sonst keine (geeigneten) Bedingungen aufweisen. Da aus wirtschaftlichen und technischen Gründen keine absolute Erschließung möglich und sinnvoll ist, müssen auch für die nicht an die Netze angeschlossenen Objekte nachhaltige Lösungen geschaffen werden. Da nicht alle Objekte für den Einsatz von Wärmepumpen – unter den aktuellen technischen Rahmenbedingungen – wirtschaftlich und/oder technisch geeignet sind, müssen andere Energieträger herhalten. Die Verfügbarkeit von Biomasse ist beschränkt und deren Nutzung geht ebenfalls mit lokalen Emissionen einher. Wasserstoff ist aktuell noch nicht in ausreichenden Mengen und zu wirtschaftlich vertretbaren Konditionen verfügbar. Zudem fehlt noch die entsprechende Transport-/Lieferinfrastruktur. Jedoch werden in diesem Bereich künftig positive Entwicklungen erwartet. Darüber hinaus wird der Einsatz von solarthermischen Heizsystemen, Stromdirektheizungen oder biogenen Gases als mögliche Alternativen genannt. Oder die Kombination verschiedener zuvor genannter Systeme. Die Auswahl eines geeigneten Heizsystems ist in der Praxis stark von den Gebäudecharakteristika abhängig und muss somit auf Basis einer individuellen Beratung erfolgen. Somit kommt dem Aufbau eines Beratungsangebotes eine wesentliche Rolle zu.

9. Handlungsempfehlungen

Auf Grundlage der Ausgangs- und Potenzialanalyse wurden erste Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen herausgearbeitet. Die Vorschläge wurden im Rahmen eines Akteursworkshops (November 2023) unter Teilnahme von Vertretern der Stadtverwaltung, des Energieversorgers/Netzbetreibers, der Wohnungswirtschaft und des ÖPNV-Dienstleisters diskutiert. Als Ergebnis der Diskussion und der anschließenden Rückmeldungsrunde wurde eine Maßnahmenliste herausgearbeitet. Jede Maßnahme wird in einem Steckbrief kurz zusammengefasst. Um die Übersichtlichkeit des Dokumentes zu wahren, sind die Steckbriefe im Anhang zu finden. Die Maßnahmen sind auch im Zusammenhang mit anderen zum Zeitpunkt der Verschriftlichung dieses Konzeptes bestehenden oder im Entstehungsprozess befindlichen Konzepten und Strategien zu sehen. Es wird angeraten alle Maßnahmen in Verbindung mit Klimaschutz und Klimaresilienz konzeptübergreifend zu bündeln und ein umfassendes Controlling aufzubauen.

Table 42: Maßnahmenempfehlungen für diverse Handlungsfelder

Anzahl	Nr.	Titel der Maßnahme
Handlungsfeld 1 Umsetzungsstrategie		
1.	U1	Sanierungsmanagement nach KfW432
2.	U2	AG Energie und Klima
3.	U3	Kommunales Energiemanagement
4.	U4	Einstellung Klimaschutzbeauftragter
5.	U5	Sensornetzwerk (Installation von Sensorik zur Erfassung des öffentl. Raumes)
6.		Erstellung virtueller Zwilling → Einbezug der Daten aus der Sensorik (Bsp. Bürgerwolke Soest)
Handlungsfeld 2: Kommunale Infrastruktur		
7.	KI1	Modernisierung Straßenbeleuchtung
8.	KI2	Energetische Sanierung kommunaler Liegenschaften
9.	KI3	Photovoltaik auf kommunalen Objekten
Handlungsfeld 3: Gebäudesektor		
10.	G1	Heizungssanierung und -modernisierung
11.	G2	Energetische Sanierung von privaten Gebäuden
12.	G3	Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage
13.	G4	Nachhaltige Heizungssysteme
14.	G5	Nutzung solarer Energie an und auf Gebäuden
15.	G6	Balkonkraftwerke
16.	G7	Mieterstrommodelle
Handlungsfeld 4: Zentrale Energieversorgung im Quartier		
17.	ZE1	Ausbau der Netzbasierten Wärmeversorgung
18.	ZE2	Kommunale Wärmeplanung

Handlungsfeld 5: Mobilität		
19.	M1	Abkürzende Wege erhalten bzw. schaffen
20.	M2	Angsträume entdecken und beseitigen
21.	M3	Schutzstreifen auf Hauptverkehrsstraßen an Steigungen
22.	M4	Taktverdichtung im Stadtverkehr
23.	M5	Beschaffenheit und Ausstattung von Haltestellen
24.	M6	Anlehnbügel an Haltestellen des regionales Busverkehrs
25.	M7	Verlegung des Busbahnhofs zum Bahnhof
26.	M8	Verkehrsberuhigung und Durchfahrtsbeschränkung
27.	M9	Konzentration der Stellplätze
28.	M10	Beschattung und Entsiegeln von Stellplatzanlagen
Handlungsfeld 6: Klimafolgenanpassung und Stadtentwicklung		
29.	KA1	Retention im öffentlichen Raum
30.	KA2	Grauwasserrecyclen
31.	KA3	Stadt gießen (Bürger kümmern sich um Bäume etc.)
32.	KA4	Blau-Grüne-Straßen
33.	KA5	Verschattung
34.	KA6	Fassadenbegrünung
35.	KA7	Kaltluftschneisen
36.	KA8	Umbau ehemaliges Gelände Busbahnhof zu naturnaher Erholungsfläche
37.	KA9	Erhöhung der Begrünung und Förderung der Biodiversität
38.	KA10	Schulgärten
39.	KA11	Leitlinien zur Grünpflege (Verbot von Schottergärten)
40.	KA12	Aufbau (digitales) Baumkataster
41.	KA13	Erstellung eines Klimawandelaktionsplans
42.	KA14	Naturerfahrungsraum
43.	KA15	Trinkbrunnen
44.	KA16	Stärkung von Fließgewässer
45.	KA17	Mietergärten und Patenschaften
Handlungsfeld 7: Informations- und Öffentlichkeitsarbeit		
46.	Ö1	Beratungsangebote
47.	Ö2	Informationsveranstaltungen
48.	Ö3	Internetpräsenz und Homepage
49.	Ö4	Quartier zum Anfassen
Handlungsfeld 8: Gewerbe		
50.	Ge1	Vernetzung der Gewerbetreibenden

10. Umsetzungshemmnisse

10.1. Hindernisse und Lösungsansätze

Zur Umsetzung konkreter Maßnahmen aus diesem Konzept sind teilweise erhebliche finanzielle Aufwendungen erforderlich. Mit Rücksicht auf die Haushaltslage stellt die tatsächliche finanzielle Leistungsfähigkeit von Kommunen ein vielfach zitiertes Hindernis dar. Aber auch auf Ebene der Wohnungswirtschaft, der privaten Haushalte oder selbst der Gewerbetreibenden stellt die finanzielle Leistungsfähigkeit einen limitierenden Faktor dar.

Die Bundes- und Landesregierungen stellen aufgrund der hohen Priorität, die dem Klimaschutz und der energetischen Stadtsanierung zugeschrieben werden – entweder direkt oder mittels entsprechender Einrichtungen (beispielsweise KfW) – über diverse Förderprogramme umfangreiche Fördermittel zur Verfügung. So sind die Personalkosten des Sanierungs- bzw. Quartiersmanagers im Rahmen des KfW-Programmes 432 „Energetische Stadtsanierung“ zu 75 % förderfähig. Die KfW stellt im Rahmen der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) zudem Mittel für umfangreiche Sanierungen der Gebäude zur Verfügung, deren Ziel das Erreichen eines Effizienzhausstandards ist. Durch die Kommunalrichtlinie werden die Umrüstung der Straßenbeleuchtung und Lichtsignalanlagen auf hocheffiziente LED-Technik, der Ausbau der Fahrradinfrastruktur samt dem dazugehörigen Leitsystem bzw. der alternativen Mobilitätsoptionen sowie weitere Projekte im Bereich der energetischen Sanierung kommunaler Liegenschaften (z.B. Austausch der Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Warmwassererzeugung usw.) gefördert. Auch die Bafa fördert einzelne Vorhaben insbesondere im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung, Optimierung von Heizungssystemen (u.a. hydraulischer Abgleich) sowie Einzelmaßnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle (ebenfalls BEG). Gesonderte Fördermittel sind im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen im Bereich der netzbasierten Wärmeversorgung vorgesehen. Hier wird sowohl der Bau neuer als auch die Umrüstung bestehender Systeme unterstützt. Zusätzlich werden auch Mittel für die Förderung der Betriebskosten einzelner Technologien bereitgestellt. Auch über die Städtebauförderung können Investitionen gefördert werden, die direkt oder indirekt positive Auswirkungen auf das Erreichen energetischer oder klimapolitischer Ziele haben. Gesonderte Förderprogramme sind auf Bundesebene auch für den Ausbau nachhaltiger Mobilitätsformen vertreten. Hierzu zählen die investiven Radverkehrsprogramme „Modellvorhaben des Radverkehrs“, „Radnetz Deutschland“ und „Sonderprogramm Stand und Land“. Weitere Fördermöglichkeiten für Kommunen, Privatpersonen oder wirtschaftliche Akteure bietet die Investitionsbank des Landes Sachsen-Anhalt, deren Unterstützung mit Zuschüssen bzw. Fördermitteln aus anderen Fonds kombinierbar ist. Somit werden kommunale und private Akteure bei der Realisierung ihrer Projekte finanziell entlastet.

Aufgrund der dynamischen Entwicklung (u.a. ist nach der Novellierung des GEG auch eine Neugestaltung der Fördermöglichkeiten vorgesehen) und des schieren Ausmaßes der Fördermittellandschaft wird an dieser Stelle auf eine umfassende Darstellung der bestehenden Förderoptionen bewusst verzichtet. Im Rahmen der einzelnen Maßnahmenblätter werden Hinweise zu passenden Förderprogrammen gegeben, wobei hier explizit darauf hingewiesen wird, dass eine aktuelle Prüfung erforderlich ist.

Die Vielfalt und Komplexität der Förderlandschaft kann ebenfalls als ein mögliches Umsetzungshemmnis für einzelne Vorhaben angesehen werden. Die Schaffung eines kostenlosen und neutralen Beratungsangebotes in Form

einer Anlauf- oder Kontaktstelle ist hier als entscheidendes Überwindungselement zu nennen. Die Funktion kann dem energetischen Sanierungsmanagement zukommen, dass von der KfW für bis zu fünf Jahre gefördert wird und im Anschluss an die Konzeptphase beantragt, werden kann. Das Sanierungsmanagement kann die Beratung in unterschiedlicher Form – Sprechstunde, aufsuchend, nach Vereinbarung, digital usw. - für sowohl für größere Akteure (Wohnungswirtschaft, Stadt) als auch Privatpersonen und das Gewerbe anbieten. Neben der reinen Information über das passende Förderprogramm kann das Sanierungsmanagement in zutreffenden Fällen auch bei der Antragsstellung mitwirken.

Nicht zu unterschätzen als Element zur Überwindung der Investitionsbereitschaft ist die langfristige Wirtschaftlichkeit einzelner energetischer Maßnahmen. Denn, obwohl der anfängliche Investitionsaufwand hoch ist, führen viele investive Maßnahmen auf längere Sicht zu relevanten Energiekosteneinsparungen, die zusammen mit den Wertsteigerungen beim Objekt den Aufwand durchaus rechtfertigen. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Rolle der CO₂-Bepreisung hinzuweisen, die künftig zur kontinuierlichen Steigerung der Kosten für fossile Energieträger führen wird. Insbesondere mit Hinblick auf die Planung künftiger Wärmeversorgungsanlagen werden somit nicht-fossile Lösungen bevorzugt. Durch die genaue Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einzelner Umsetzungs- und Finanzierungsoptionen kann letztendlich eine den Interessen und Möglichkeiten des jeweiligen Akteurs am besten entsprechende Varianten identifiziert werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Verknüpfung ohnehin anstehender und notwendiger Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen mit energetischen Optimierungen (Sanierung der Gebäudehülle, Umrüstung der Heizungstechnik usw.). Aufgrund der verhältnismäßig langen Investitions- und Sanierungszyklen sollten dabei möglichst anspruchsvolle energetische Lösungen gewählt werden, deren Standard auch künftigen Anforderungsniveaus genügen wird.

Zudem sind für die Umsetzung einzelner Maßnahmen beispielsweise Contracting-Modelle vorstellbar, die eine direkte finanzielle Beteiligung der Kommune oder der Wohnungsunternehmen umgehen. Hier können entweder lokale Energieversorger bzw. Netzbetreiber oder externe Akteure involviert werden.

Nicht zu vernachlässigen ist, dass in vielen Fällen erhebliche Einsparungen bereits durch nicht- oder geringinvestive Maßnahmen möglich sind, die insbesondere Verhaltens- und Verbrauchsveränderungen stimulieren sollen. Auch für geringinvestive Maßnahmen werden ab dem 01.01.2022 von der Zukunft – Umwelt – Gesellschaft gGmbH Mittel zur Verfügung gestellt.

Aufgrund der bestehenden personellen Unterbesetzung des kommunalen Verwaltungsapparates, stellt der mit der Umsetzung der energetischen Quartierssanierung sowie der begleitenden Öffentlichkeitsarbeit einhergehende zeitliche und personelle Aufwand ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Das Aufgabengebiet ist zudem so umfangreich und vielfältig, dass es nicht einfach auf eine einzelne Verwaltungsstelle übertragen werden kann, die parallel für ihren eigenen regulären Aufgabenbereiche Verantwortung trägt. Neben einer intensiven Begleitung stellt die Komplexität einzelner Projekte zudem besondere Anforderungen an die fachlichen Kompetenzen. Vor diesem Hintergrund ermöglicht der zweite Baustein des KfW-Förderprogrammes 432 die Förderung eines Sanierungsmanagements. Dieses ist über den Zeitraum von bis zu fünf Jahren ausschließlich mit der Umsetzung des Maßnahmenkataloges beauftragt. Die Auswahl eines Partners mit umfassenden Erfahrungen im Bereich der Projektsteuerung bzw. des Projektmanagements ist hier von besonderer Bedeutung. Der angestrebte Aufbau

von netzbasierten Wärmeversorgungslösungen geht mit einem erheblichen Koordinierungsaufwand einher und erfordert eine qualifizierte Begleitung.

Ein spezifisches Hemmnis – insbesondere im Falle eingeschränkter finanzieller Mittel – können zudem divergierende parteipolitische Prioritäten darstellen, die in den zuständigen politischen Gremien zu Verzögerungen oder Verweigerungen der Mittelfreisetzung führen können. Hier ist eine umfangreiche Aufklärungsarbeit erforderlich, die auch eine regelmäßige Berichterstattung über die bereits erzielten Erfolge (insbesondere in Form von Verbrauchssenkungen und Kosteneinsparungen) vor den relevanten politischen Gremien einschließt. Auch hier kann das Sanierungsmanagement eine zentrale Funktion einnehmen.

Die Komplexität der regulatorischen Anforderungen stellt ebenfalls ein Umsetzungshemmnis dar. Die Wahl der passenden Erfüllungsoption ist für Laien kompliziert. Auch hier können Beratungsangebote Abhilfe schaffen. Informationsdefizite auf Ebene von Objekteigentümern oder Wohnungsunternehmen hinsichtlich einzelner energetischer Maßnahmen können durch ein entsprechendes Beratungsangebot angegangen werden. Hier stellt das Sanierungsmanagement als zentraler Ansprechpartner und koordinierende Instanz die erste Anlaufstelle dar. Dies bedeutet nicht, dass das Sanierungsmanagement alle Beratungsleistungen alleine erbringen soll. Dies ist aufgrund der Vielfalt in der Regel nicht möglich. Es kann jedoch die Funktion einer vermittelnden Instanz übernehmen. Denn für viele investive Maßnahmen können Leistungen qualifizierter Energieberater in Anspruch genommen werden, die zugleich förderfähig sind. Das Wissen darüber und die Wahl der passenden Person sind jedoch ebenfalls nicht allgemein bekannt. Auch hier kann durch eine neutrale Anlaufberatung die richtige Vorgehensweise bestimmt und die Anfangshürde verringert werden.

Die Gruppe der Mieter:innen zeichnet sich in dem Untersuchungsgebiet im Vergleich zu den Eigenheimbesitzern:innen durch einen deutlich höheren Anteil aus. Der Hauptunterschied zu den Eigenheimbesitzern liegt darin, dass diese Personen lediglich als Nutzer von Immobilien auftreten und somit nicht für die energetische Optimierung zuständig sind. Das Interesse der Mieter:innen an energetischen Sanierungsmaßnahmen kann durchaus unterschiedlich sein. Wirken sich Optimierungsmaßnahmen nicht negativ auf die Miete aus, wie zum Beispiel bei der altersbedingten Modernisierung von Heizungsanlagen, so sind die erzielten Energieeinsparungen durch die Verringerung der Nebenkosten spürbar und genießen eine entsprechend hohe Zustimmung. Führen dagegen Sanierungsmaßnahmen im Falle der Umlegung auf die Mieter:innen zu einer Erhöhung der Kaltmiete, so werden diese, wenn sie nicht durch eine entsprechende Reduzierung der Betriebskosten ausgeglichen werden, in der Regel als Belastung bzw. als unerwünscht wahrgenommen. Kritisch wird auch der Aspekt der Wertsteigerung der Immobilie gesehen, der aus Sicht der Mieter ausschließlich dem/der Vermieter:in zugutekommt und von den Mietern:innen finanziell getragen wird. Vor diesem Hintergrund werden energetische Optimierungen an Mietobjekten oft behutsam und verträglich mit den Interessen und finanziellen Möglichkeiten des Mieter:innenklientels realisiert.

Die Zustimmung für energetische Sanierungsmaßnahmen kann ggf. dadurch gesteigert werden, wenn diese mit einer entsprechenden Steigerung der Wohnqualität und Verringerung wahrgenommener Missstände zum Beispiel im Bereich der Barrierefreiheit einhergehen. Auch bei den Mietern können relevante Energieverbrauchseinsparungen erreicht werden. Diese gehen insbesondere auf Anpassungen des Nutzerverhaltens und ggf. den Austausch von alten oder ineffizienten Elektrogeräten zurück. Insbesondere der Bereich Trinkwarmwasser ist zum absoluten

Großteil durch das Nutzerverhalten bedingt. Dieser macht bei unsanierten Objekten ca. 20 % des Gesamtwärmebedarfs aus, bei sanierten Objekten steigt der Anteil dagegen erheblich an.

Als mögliches Hemmnis kann die mangelnde Motivation zur Veränderung des eigenen Nutzerverhaltens gelten. Hier kann über entsprechende Informationskampagnen entgegengewirkt werden. Über Einsparmöglichkeiten im Haushalt informieren bereits zahlreiche Internetportale oder Informationsmaterialien, sodass diesbezüglich seitens der Vermieter:innen keine neuen Angebote entwickelt werden müssen. Die Vermieter können ihre Mieter:innen jedoch über das bestehende Informationsangebot informieren. Hierzu kann auf einen Link verwiesen, eine entsprechende Broschüre bzw. ein Merkblatt, das kostenlos bezogen wurde, versendet werden oder über Artikel in Mieterzeitschriften in regelmäßigen Abständen informiert werden. Wichtig ist hierbei auch eine alters- und zielgruppengerechte Auswahl der Materialien, die möglichst ansprechend und anschaulich sein sollte. Auch das Sanierungsmanagement kann hier bspw. in Kooperation mit der Verbraucherzentrale ein Informationsangebot schaffen.

Ein nicht zu vernachlässigendes Hemmnis bei der Umsetzung einzelner Maßnahmenvorschläge kann auch die technologische Machbarkeit bzw. Verfügbarkeit sein. Im vorliegenden Konzept wurden Möglichkeiten für den Aufbau einer auf Wasserstoff basierten Wärmeversorgung behandelt, die als Verteilungsinfrastruktur das vorhandenen Erdgasnetz nutzen könnte. Zwar sind die beschriebenen Technologien der Wasserstoffherzeugung prinzipiell etabliert und werden in der Praxis genutzt. Dennoch kann in diesem Bereich aktuell noch von keinem Massenmarkt gesprochen werden. Genauso zeigen Untersuchungen im Auftrag des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), dass die Erdgasnetze für den Transport von reinem Wasserstoff geeignet sind. Jedoch bestehen in Deutschland aktuell weder Beispiele für die Anwendung in der Praxis oder Erfahrungen mit dem Fuelswitch, noch sind aktuell regulative Vorgaben für die Ausgestaltung des Prozesses vorhanden. Dies muss nicht bedeuten, dass die Maßnahme nicht umsetzbar ist. Aufgrund der fehlenden Erfahrungswerte und Regelungen besteht hier noch Lernbedarf.

Um eine nachhaltige Entwicklung der energetischen Quartierssanierung zu gewährleisten, bedarf es einer langfristigen Verstetigung des Prozesses, die über den Zeitraum der Beauftragung eines Sanierungsmanagers hinausreicht. In Hinblick auf diese Herausforderung sind das frühe Einbeziehen von Multiplikatoren und die Bildung einer Akteursnetzwerkstruktur erforderlich. Hiermit müssen auch die Identifizierung zentraler Ansprechpartner und die Etablierung fester Abstimmungsabläufe einhergehen, um eine erfolgreiche Weiterführung auch ohne Sanierungsmanager zu gewährleisten. Diese Strukturen sollten sich nicht nur auf die Quartiersebene bzw. das Quartiersgebiet beschränken, sondern im Sinne der Handlungsempfehlungen im Klimaschutzkonzept möglichst die ganze Kommune abdecken.

10.2. Controllingkonzept

Um den tatsächlichen Umsetzungsgrad sowie die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen zu überprüfen, bedarf es eines kontinuierlichen Controllings und Monitorings. Mit diesem sollen die Entwicklungen in der Umsetzungsphase einzelner Maßnahmen systematisch erfasst, evaluiert, begleitet und die Maßnahmen bei Bedarf angepasst und weiterentwickelt werden. Hiermit soll zugleich gewährleistet werden, dass bei Fehlentwicklungen und Zielab-

weichungen rechtzeitig gegengesteuert wird bzw. positive Tendenzen aufgegriffen werden. Das Controlling zielt somit auch auf eine bessere Regelung des Implementierungsprozesses ab und führt bei Bedarf zur Optimierung einzelner Maßnahmen. Demnach stehen in seinem Fokus neben dem Gesamtziel – dem Erreichen der Energie- und CO₂-Reduktionsvorgaben – auch einzelne Detailvorhaben sowie die erfolgreiche Implementierung einzelner Maßnahmen. Vor diesem Hintergrund muss das Controlling sowohl eine generalisierende Top-down- als auch eine maßnahmenpezifische Bottom-up-Herangehensweise enthalten. In der wirtschaftswissenschaftlichen Terminologie entspricht erstere dem strategischen und letztere dem operativen Controlling.

10.2.1. Monitoring und Berichtswesen

Die Top-down-Herangehensweise prüft auf Ebene des gesamten Untersuchungsgebietes, ob die im Quartierskonzept angestrebten Ziele erreicht werden können und welche Auswirkungen die bereits eingeschlagenen Schritte zeigen. Zugleich können hier eventuelle Veränderungen der Rahmenbedingungen oder maßnahmenübergreifende Auswirkungen identifiziert und entsprechende Anpassungen vorgenommen werden. Vor diesem Hintergrund wird zur zielführenden Umsetzung des vorliegenden Konzeptes die regelmäßige Erstellung eines Kurzberichtes empfohlen. Dieser kann zugleich als wichtiges Instrument der Öffentlichkeitsarbeit dienen und daher den Verwaltungsmitarbeitern sowie den Bewohnern des Untersuchungsgebietes zur Verfügung gestellt werden.

Der Kurzbericht sollte die im Berichtszeitraum angestoßenen, laufenden und umgesetzten Maßnahmen erfassen, kurz beschreiben und bewerten. Bestandteil der Bewertung sollte auch die Einschätzung eventuell eingetretener Hemmnisse sein. Bewertet werden müssen in diesem Zusammenhang auch die Zusammenarbeit einzelner beteiligter Akteure und die Funktionsweise der bestehenden oder ggf. neu etablierten Strukturen. Zugleich sollte der Bericht Ausblick über die anstehenden Schritte geben. Im Bericht können zudem relevante Veränderungen in den gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen insbesondere hinsichtlich der Fördermöglichkeiten und Programme (z.B. GEG, Kommunalrichtlinie, KfW- und BAFA-Förderprogramme, Förderprogramme des Landes usw.), der regulatorischen Anforderungen (z.B. Neubaustandards) oder andere wichtige Belange (z.B. CO₂-Bepreisung, Kostenumlagen usw.) aufgegriffen werden. Daraus können sich eventuell auch neue Handlungsbereiche ergeben oder die Priorisierung, Reihenfolge oder Ausgestaltung einzelner Maßnahmen angepasst werden (z.B. wenn ein neues Förderprogramm mit einer begrenzten Laufzeit aufgesetzt wird). Der Kurzbericht sollte – im Falle der Etablierung eines Sanierungsmanagements - mit einer Periodizität von einem Jahr angefertigt werden. Er sollte zielführend sein und daher mit möglichst geringem Aufwand hergestellt werden. Es geht somit primär um die strukturierte Darstellung der zurückliegenden und ein Ausblick auf die kommenden Schritte. Möglich ist auch eine tabellarische Berichtsform, die den kontinuierlichen Vergleich einzelner Maßnahmen und Berichtszeiträume erlaubt. Die gewählte Form sollte eine leichte und kontinuierliche Fortschreibbarkeit erlauben.

Im Falle der Einrichtung eines zeitlich begrenzten externen Sanierungsmanagements wird zum Abschluss seiner Tätigkeit die Erstellung eines umfassenderen Abschlussberichtes empfohlen. Dieser sollte neben der Zusammenfassung der durchgeführten Maßnahmen auch die noch erforderlichen weiteren Schritte skizzieren und somit einen Handlungsleitfaden für die weiteren Jahre schaffen.

Als zentrales Instrument des Top-down-Controllings kann zudem die Fortschreibung der Energie- und CO₂-Bilanz des Untersuchungsgebietes („Quartiersbilanz“) eingesetzt werden. Diese ermöglicht, Entwicklungen des Energieverbrauchs und den daraus resultierenden THG-Ausstoß zu erfassen, nach einzelnen Sektoren auszuwerten und

somit auch qualifizierte Aussagen über erzielte Fortschritte zu treffen. Die Bilanzierung kann grundsätzlich entsprechend den methodischen Hinweisen aus diesem Konzept durchgeführt werden. Problematisch ist jedoch, dass die Bilanzierung eine gewisse Erfahrung erfordert und somit für Personen, die sich hiermit bisher nicht befasst haben, zeitlich aufwendig sein kann. Eine weitere Herausforderung stellt die für die Erstellung der Bilanz notwendige Datenerfassung dar. Diese ist ebenfalls zeitaufwendig und erfordert bei Datenlücken das Einsetzen von Parametern, Schätzungen und Annahmen. Grundsätzlich empfiehlt es sich, die Energieverbrauchs- und Treibhausgasbilanzierung zumindest am Anfang (sollte es eine längere Lücke zur Konzepterstellung geben) und am Ende des Sanierungsmanagements durchzuführen und hierbei dasselbe methodische Vorgehen und Annahmen anzuwenden.

Aus den vorher genannten Gründen sind die Ergebnisse der Bilanzierung für das Untersuchungsgebiet nicht absolut kompatibel mit den Ergebnissen der Bilanzierung auf dem Gebiet der Gesamtstadt. Synergien bestehen jedoch insbesondere im Bereich der Datenerhebung (Netzbetreiber, Schornsteinfeger) und können somit den Bilanzierungsaufwand verringern. Es wird empfohlen, das Berichtswesen für die gesamtstädtische Ebene mit dem auf Ebene des Quartiers zu koordinieren bzw. die Ebene des Quartiers als Vertiefung der Gesamtstadt zu verstehen.

Die Berichterstattung muss auch durch eine begleitende Betrachtung und Auswertung der einzelnen Maßnahmen flankiert werden.

10.2.2. Maßnahmencontrolling

Das Controlling auf Ebene einzelner Maßnahmen stellt eine operative Herangehensweise dar und dient zum einen der Betrachtung und Bewertung des Erfolges bzw. der Ergebniseffizienz konkreter Maßnahmen und zum anderen der Begleitung bei der Umsetzung dieser Maßnahmen bzw. ihrer Einzelschritte. Hier sind auch die Auswertung der Hindernisse und Identifizierung von Optimierungspotenzialen auf Ebene der Maßnahmen notwendig (Prozess-Management).

Inhalt des Maßnahmencontrollings besteht somit im ersten Schritt aus der Festlegung von Kriterien und Indikatoren anhand derer der Erfolg einer konkreten Maßnahme beurteilt werden kann. Bei technischen bzw. sogenannten „harten“ Maßnahmen sind dabei durch die Erfassung von Kennzahlen auch konkrete Rückschlüsse auf den Energieverbrauch und THG-Ausstoß möglich. Beispiele für derartige Maßnahmen aus dem in diesem Konzept vorliegenden Katalog sind: Aufbau eines Wärmenetzes, Sanierung von Wohngebäuden, Ausbau der Photovoltaik, Sanierung der Straßenbeleuchtung usw.

Bei weichen Maßnahmen im Bereich der Beratung, Informationsverbreitung oder Sensibilisierung können kaum konkrete und unmittelbare Rückschlüsse auf den Verbrauch und THG-Ausstoß gezogen werden, da die Auswirkungen erst mit Verzögerung auftreten oder schwer von externen Einflussfaktoren zu trennen sind. Hier müssen eher leicht quantifizierbare Werte und Indikatoren (z. B. Teilnehmerzahlen, Anzahl durchgeführter Veranstaltungen oder Beratungsgespräche, Anzahl veröffentlichter Artikel usw.) erfasst werden, auf deren Grundlage die gesellschaftliche Resonanz der jeweiligen Maßnahme bewertet werden kann. Die konkrete Wirkung von weichen Maßnahmen kann auf Grundlage einer Evaluation durch Kurzinterviews oder Fragebögen der Teilnehmer ggf. Beratungsempfänger durchgeführt werden. Hierbei handelt es sich jedoch um eine äußerst zeit- und arbeitsaufwendige

Methode, die vom Sanierungsmanager selbst kaum bewältigt werden kann. Fragebogenerhebungen können jedoch auch im Rahmen von Schul- oder Forschungsprojekten erfolgen.

Im Rahmen eines Prozess-Managements ist bei einzelnen insbesondere längerfristig angelegten oder komplexen Maßnahmen, wie zum Beispiel beim Aufbau des Nahwärmenetzes, die kontinuierliche Zwischenbewertung und der Abgleich mit dem im Voraus festgelegten Realisierungsplan (Zeit- und Projektabfolgeplan) durchzuführen. Dies erlaubt, den Fortschritt zu überwachen und bei Bedarf Modifikationen im Umsetzungsprozess durchzuführen.

Tabelle 43: Indikatoren für Maßnahmen-Controlling

Maßnahmenliste		Indikator	Basis
U1	Sanierungsmanagement	Implementierung, Anzahl umgesetzter Maßnahmen	Berichterstattung, Dokumentation zu einzelnen Maßnahmen
U2	AG Energie und Klima	Implementierung	Dokumentation, Protokolle, Berichterstellung
U3	Kommunales Energiemanagement	Implementierung	Dokumentation, Protokolle, Berichterstellung
U4	Einstellung eines/ einer Klimaschutzmanager:in	Einstellung	Dokumentation
U5	Erstellung/ Pflege des urbanen virtuellen Zwillings	Implementierung	Dokumentation, Protokolle, Berichterstellung
K11	Modernisierung Straßenbeleuchtung	Anzahl sanierter Anlagen, Energieverbrauch, THG-Einsparung	Kommunales Energiemanagement, Verbrauchsabrechnung, Bilanzierung
K12	Energetische Sanierung der kommunalen Liegenschaften	Anzahl sanierter Anlagen, Energieverbrauch, THG-Einsparung	Verbrauchsabrechnung, Bilanzierung
K13	Photovoltaik auf kommunalen Objekten	Anzahl installierter Module	Verbrauchsabrechnung, Bilanzierung
G1	Heizungssanierung und -modernisierung	Anzahl umgesetzter Projekte, Wärmeverbrauch	Befragung, Protokolle/, Dokumentation, Bilanzierung, Daten Netzbetreiber
G2	Energetische Sanierung von privaten Gebäuden	Anzahl sanierter Objekte, Energiebedarf absolut und spezifisch (pro m ² *a)	Protokolle/, Dokumentation, Bilanzierung, Daten Netzbetreiber
G3	Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage	Anzahl umgesetzter Projekte, Wärmeverbrauch	Befragung, Protokolle/, Dokumentation, Bilanzierung, Daten Netzbetreiber
G4	Nachhaltige Heizungssysteme	Anzahl Installationen, Eingesparte fossile Energie, THG-Einsparung	Befragung, Protokolle/, Dokumentation, Bilanzierung, Daten Netzbetreiber
G5	Nutzung solarer Energie an und auf Gebäuden	Installierte PV-Leistung, Erzeugte Strommenge, Anteil belegte Dachflächen	Daten Netzbetreiber
G6	Balkonkraftwerke	Anzahl Anlagen/versorgte Objekte, Verbrauchsrückgang fossiler Energien	Daten Netzbetreiber und Schornsteinfeger, Bilanzierung, Dokumentation

ZE1	Netzbasierte Wärmeversorgung	Grad der Umsetzung, Zahl der Anschlussnehmer, Wärmeabsatz, Primärenergiefaktor, THG-Faktor	Dokumentation, Projektablaufplan, Wirtschaftsbericht, Energie- und THG-Bilanz
ZE2	Kommunale Wärmeplanung	Grad der Umsetzung	Projektablaufplan
M1	Abkürzende Wege erhalten bzw. schaffen	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Fußverkehrskonzept
M2	Angsträume entdecken und beseitigen	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Befragung der Betroffenen, Fußverkehrskonzept
M3	Schutzstreifen auf Hauptverkehrsstraßen an Steigungen	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Nutzerbefragung, Radverkehrskonzept
M4	Taktverdichtung im Stadtverkehr	Fahrplan-km	Dokumentation, Berichtserstattung, Nahverkehrsplan
M5	Beschaffenheit und Ausstattung von Haltestellen	Haltestellenliste	Dokumentation, Nahverkehrsplan
M6	Anlehnbügel an Haltestellen des regionalen Busverkehrs	Anzahl aufgestellter Anlehnbügel	Dokumentation, Nahverkehrsplan
M7	Verlegung des Busbahnhofs zum Bahnhof	Grad der Umsetzung, Stufe im Planfeststellungsverfahren	Dokumentation, Nahverkehrsplan, Vorstudie
M8	Verkehrsberuhigung und Durchfahrtsbeschränkung	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Fußverkehrskonzept
M9	Konzentration der Stellplätze	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Stellplatzkonzept
M10	Beschattung und Entsiegeln von Stellplatzanlagen	Grad der Umsetzung, Anzahl gepflanzter Bäume, m ² entsiegelte Fläche	Dokumentation
KA1	Retention im öffentlichen Raum	Grad der Umsetzung, Entsiegelte Fläche, Anzahl Maßnahmen	Dokumentation, Berichtserstattung
KA2	Grauwasserrecycling	Anzahl der umgesetzten Systeme	Dokumentation, Berichtserstattung
KA3	Stadt gießen	Implementierung	Dokumentation, Berichtserstattung
KA4	Blau-Grüne-Straßen	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Berichtserstattung
KA5	Verschattung	Anzahl der umgesetzten Maßnahmen	Dokumentation
KA6	Fassadenbegrünung	Anzahl der umgesetzten Maßnahmen	Dokumentation
KA7	Kaltluftschneisen	Anzahl der umgesetzten Maßnahmen	Dokumentation, Temperaturbericht
KA8	Umbau ehemaliges Gelände Busbahnhof zu naturnaher Erholungsfläche	Grad der Umsetzung	Dokumentation

KA9	Förderung der Biodiversität	Anzahl durchgeführter Maßnahmen, Fläche	Dokumentation, Berichtswesen
KA10	Schulgarten	Anzahl der Projekte	Dokumentation, Berichtswesen
KA12	Aufbau digitales Baumkataster	Grad der Umsetzung	Anzahl der Bäume, Detaillierungsgrad
KA13	Erstellung eines Klimawandelaktionsplan	Grad der Umsetzung	Bericht
KA14	Naturerfahrungsraum	Anzahl der durchgeführten Maßnahmen	Dokumentation, Befragung
KA15	Trinkwasserbrunnen	Anzahl der Brunnen	Dokumentation, Befragung
KA16	Stärkung der Fließgewässer	Anzahl der durchgeführten Maßnahmen	Dokumentation
KA17	Mietergärten	Implementierung	Befragung
Ö1	Beratungsangebot	Anzahl der Beratungen, Anzahl umgesetzter Maßnahmen	Dokumentation, Fragebogen
Ö2	Informationsveranstaltungen	Anzahl Veranstaltungen, Beiträge, Besucher	Berichterstattung, Dokumentation, Besucherzähler,
Ö3	Internetpräsenz und Homepage	Grad der Umsetzung	Dokumentation, Besucherzahl, Befragung
Ö4	Quartier zum Anfassen	Anzahl der Aktivitäten, Anzahl Teilnehmer	Dokumentation, Nutzerbefragung
Ge1	Beratung und Vernetzung der Gewerbetreibenden	Anzahl der Beratungen, Anzahl umgesetzter Maßnahmen	Dokumentation, Fragebogen

10.3. Umsetzungsstrategie

10.3.1. Personalressource Sanierungsmanagement

Die Schaffung entsprechender personeller Ressourcen, die zur Moderation, Steuerung und Sicherung der Maßnahmenumsetzung beitragen und die Stadt auch in weitergehenden Fragen der Energie- und Klimaschutzpolitik beratend unterstützen können, wird empfohlen. Das Programm KfW432 sah hierzu die Möglichkeit der Installation eines sog. Sanierungsmanagement vor. Das Programm ist aufgrund der haushaltärischen Situation Anfang 2024 eingestellt worden. Sollte künftig die Möglichkeit der erneuten Antragstellung geschaffen werden, wird die Inanspruchnahme empfohlen. Das Sanierungs- bzw. Quartiersmanagement sollte auch die entscheidende Rolle im Controlling-Prozess übernehmen. Es kann neben der Begleitung bei der Umsetzung einzelner Maßnahmen sowie der entsprechenden Berichterstattung auch eine Koordinierungsfunktion einnehmen und als zentrales Bindeglied zwischen Politik, Verwaltung, Quartiersbewohnern und anderen relevanten Akteuren agieren. Unterstützt werden sollte das Sanierungsmanagement in seiner Tätigkeit durch eine Steuerungsgruppe, die aus relevanten Mitarbeitern der Verwaltung und ggf. auch Vertretern weiterer eng in die Maßnahmenumsetzung eingebundener Akteure besteht.

Die Aufgabe des Sanierungsmanagements könnte von einer oder mehreren Personen als Team erbracht werden. Je nach Umfang der geplanten Aufgaben kann mehr als eine Stelle gerechtfertigt sein. Förderfähige Leistungen sind insbesondere:

- Aufgaben des Projektmanagements wie Koordination der Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen, Projektüberwachung
- Fachliche Unterstützung bei Vorbereitung, Planung und Umsetzung einzelner Maßnahmen des Konzepts
- Durchführung und Inanspruchnahme (verwaltungs-)interner Infoveranstaltungen und Schulungen
- Unterstützung bei der systematischen Erfassung und Auswertung von Daten im Zuge der energetischen Sanierung (Controlling)
- Methodische Beratung bei der Entwicklung konkreter Qualitätsziele, Energieverbrauchs- oder Energieeffizienzstandards und Leitlinien für die energetische Sanierung
- Aufbau von Netzwerken
- Kosten für die Koordinierung der Mieter-, Eigentümer- und Bürgerinformation und -partizipation
- Inhaltliche Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit.

Die zentrale Aufgabe des Sanierungsmanagements würde darin bestehen, die Umsetzung der in diesem Konzept entwickelten Maßnahmen zu initiieren und zu begleiten. Dabei können aus Sicht der Verfasser einige Schwerpunkte der Tätigkeit identifiziert werden:

- der Aufbau eines Beratungsangebotes für die privaten Objekteigentümer sowie Gewerbetreibenden im Untersuchungsgebiet (Gebäudesanierung, Heizungsoptimierung, Nutzung erneuerbarer Energien).
- Unterstützung beim Aufbau eines kommunalen Energiemanagementsystems
- Beratung der Stadt im Bereich der Sanierung öffentlicher Liegenschaften, Nutzung erneuerbarer Energien,
- Verbesserung der Datenbasis für weiterführende Detailplanungen zum Ausbau der netzbasierten Wärmeversorgungsinfrastruktur inkl. Klärung der Anschlussbereitschaft und Informationsarbeit zum Projektfortschritt
- Unterstützung der Stadt/Akteure bei Fördermittelakquise – sowohl in Bezug auf kommunale Liegenschaften und Infrastruktur als auch insbesondere im Zusammenhang mit weiterführenden Wärmenetzplanungen (BEW Modul 1 und 2)
- Weiterentwicklung des digitalen Zwillings und damit einhergehender Strategien der Klimaresilienz
- Informations- und Öffentlichkeitsarbeit

Abbildung 111 zeigt einen möglichen Umsetzungsfahrplan für die vorgeschlagenen Maßnahmen. Einige der Maßnahmen sind komplex und müssen prinzipiell in Subphasen untergliedert werden. Mehrere Maßnahmen sind gegenseitig bedingt oder sollten koordiniert umgesetzt werden. Verzögerungen bei der einen Maßnahme beeinträchtigen somit auch die Umsetzung der anderen. Einzelne Maßnahmen können in ihrer Umsetzung nicht erzwungen werden, da sie nicht in der Zuständigkeit der Stadt liegen. Hier kann lediglich über das Beratungsangebot zur Umsetzung animiert werden.

	Priorität	Zuständigkeit				2024				2025				2026				2027				2028				2029
		SM	SA	WW	PH	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1																
U1	Sanierungsmanagement	•••••		•																						
	Fördermittelbeantragung & Vergabe			•																						
U2	AG Energie und Klima	••••	•	•	•																					
G1	Heizungssanierung und -modernisierung	•••••	•			•																				
G2	Sanierung private Wohnobjekte	•••••	•			•																				
G3	Hydraulischer Abgleich und Optimierung der Heizungsperipherie	•••	•			•																				
G4	Nachhaltige dezentrale Heizungssysteme	•••••	•			•																				
G5	Nutzung solarer Energie auf Dachflächen der Wohnobjekte	•••••	•		•	•																				
ZE1	Wärmenetz	•••••	•	•	•																					
	Machbarkeitsstudie (BEW1)																									
	Entscheidungsfindung																									
ZE2	Kommunale Wärmeplanung	•••••	•	•	•																					
M1	Abkürzende Wege erhalten bzw. schaffen	••	•	•																						
M2	Angsträume entdecken und beseitigen	••	•	•																						
M3	Schutzstreifen auf Hauptverkehrsstraßen an Steigungen	•••	•	•																						
M4	Taktverdichtung im Stadtverkehr	•••	•	•																						
M5	Beschaffenheit und Ausstattung von Haltestellen	•••	•	•	•																					
M6	Anlehnbügel an Haltestellen des regionales Busverf	•••	•	•																						
M7	Verlegung des Busbahnhofs zum Bahnhof																									
M8	Verkehrsberuhigung und Durchfahrtsbeschränkung																									
M9	Konzentration der Stellplätze																									
M10	Beschattung und Entsiegeln von Stellplatzanlagen																									
KA1	Retention im öffentlichen Raum	••••	•	•		•																				
KA2	Grauwasserrecyceln	••••	•	•																						
KA3	Stadt gießen (Bürger kümmern sich um Bäume etc.)	••	•	•		•																				
KA4	Blau-Grüne-Straßen	••••	•	•																						
KA5	Verschattung	••••	•	•																						
KA6	Fassadenbegrünung	••••	•	•																						
KA7	Kaltluftschneisen	••••	•	•																						
KA8	Umbau ehemaliges Gelände Busbahnhof zu naturnaher Erholungsfläche	••••	•	•																						
KA9	Erhöhung der Begrünung und Förderung der Biodiversität	••••	•	•		•																				
KA10	Schulgärten	•	•	•		•																				
KA11	Leitlinien zur Grünpflege (Verbot von Schottergärten)	••••	•	•																						
KA12	Aufbau (digitales) Baumkataster	••••	•	•																						
KA13	Erstellung eines Klimawandelaktionsplans	••••	•	•																						
KA14	Naturerfahrungsraum	•	•	•																						
KA15	Trinkbrunnen	••••	•	•																						
KA16	Stärkung von Fließgewässer	••••	•	•																						
KA17	Mietergärten und Patenschaften	•••	•	•																						
Ö1	Beratungsangebot	•••••	•																							
Ö2	Informationsarbeit	••••	•	•	•																					
Ö4	Internetpräsenz und Homepage	••••	•	•																						
Ö3	Quartier zum Anfassen	•••	•	•																						

SM – Sanierungsmanagement, SA – Stadt Apolda, WW- Wohnungswirtschaft, PH- private Hausbesitzer:innen

Abbildung 111: Vorschlag für Umsetzungsfahrplan

10.3.2. Digitaler Urbaner Zwilling

Wie in Kapitel 8.8.1. schon erkennbar wurde, bietet die Größe der Stadt Apolda vielfältige Potenziale in den unterschiedlichsten Bereichen. Viele der Potenziale werden nur durch explizites Wissen oder aufwendige Untersuchungen ersichtlich.

Eine Lösung dafür bietet der **urbane digitale Zwilling**. Dieses virtuelle Stadtmodell macht es möglich, Verbindungen zwischen verschiedenen Themengebieten und städtischen Planungen in virtueller Realität zu visualisieren, was es zu einem wertvollen Werkzeug für Planungs- und Entscheidungsprozesse macht.

In solch einem digitalen Abbild werden oftmals spezifische städtische Aspekte wie die Verkehrsinfrastruktur, Grünanlagen oder Anpassungen an klimatische Veränderungen dargestellt. Derzeit bildet das Modell den aktuellen Zustand mit Fokus auf klimatische Verhältnisse ab, jedoch könnte dieses um weitere Themen erweitert werden. Zahlreiche bisher unentdeckte Potenziale konnten erst mit Hilfe dieses digitalen Werkzeugs lokalisiert und visualisiert werden.

Der digitale Zwilling kann bei entsprechender Dateneinpfehlung insbesondere auch mit Hinblick auf die kommunale Wärmeplanung zielführend eingesetzt werden.

10.3.3. Weitere Umsetzungsstrukturen

Es erscheint sinnvoll eine **Arbeitsgruppe Energie- und Klima** innerhalb der Verwaltung einzurichten, die periodisch Abstimmungen zu Themen Klimaschutz und Energie ermöglichen würde.

Darüber hinaus ist auch eine enge und regelmäßige Abstimmung mit den Vertretern der ENA/EVA sowie der Wohnungswirtschaft sinnvoll. Die Institutionalisierung dieses Prozesses in Form regelmäßiger Treffen ist mit Blick auf die Bedeutung der energetischen und klimapolitischen Belange erforderlich. Gegebenenfalls können hier auch weitere Akteure inkludiert werden. Im Ergebnis könnte die Gruppierung als **Klimarat** fungieren.

Darüber hinaus ist der Aufbau eines kommunalen **Klimaschutzmanagements** möglich. Hierbei handelt es sich um eine verwaltungsinterne Stelle, die entsprechende Themen bündelt. Aufgrund der Größe der Stadt Apolda und der Themenvielfalt und -komplexität darf diese Stelle jedoch nicht als allein zuständige verstanden werden. Vielmehr sollten ihr koordinieren Funktionen übertragen werden. Der Aufbau eines Klimaschutzmanagements wird durch die ZUG im Rahmen der Kommunalrichtlinie gefördert.

10.3.4. Kommunale Wärmeplanung

Netzbasierte Wärmeversorgung wird als wesentlicher Baustein der Dekarbonisierungsstrategie im Bereich des Gebäudesektors und somit auch als Voraussetzung für das Erreichen der klimapolitischen Ziele gesehen. Wie bereits erwähnt strebt die Stadt Apolda die Aufstellung einer kommunalen Wärmeplanung an. Aus der zum Zeitpunkt der Konzepterstellung geltenden Gesetzgebung ergibt sich für Apolda die Vorgabe, diese bis zum 30.06.2028 zu erstellen. Im Rahmen des vorliegenden Konzeptes wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Akteursgespräche erste Überlegungen zu möglichen Wärmeversorgungsgebieten durchgeführt. Eine Vertiefung der Betrachtungen erfolgte aus unterschiedlichen Gründen nicht. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass derartige Gebiete im Rahmen der über die Kommunalrichtlinie geförderten Wärmeleitplanung nicht mehr als Fokusgebiete näher untersucht werden sollen. Auch ist die Datenbasis auf deren Grundlage die kommunale Wärmeplanung erstellt werden soll

detaillierter und die zu erwartenden Ergebnisse somit präziser. Nicht zuletzt sollte auf Seiten des Energieversorgers/Netzbetreibers eine strategische Positionierung mit Blick auf das weitere Vorgehen innerhalb der Stadt erfolgen. Ein Prozess, der auch unter Einbindung der Stadt und der Akteure der Wohnungswirtschaft erfolgen sollte.

Die kommunale Wärmeplanung umfasst darüber hinaus das gesamte Gebiet der Stadt und soll auch Aussagen für Gebiete treffen, die aus unterschiedlichen Gründen aktuell nicht im absoluten Fokus der Energiewirtschaft liegen. Durch den Beschluss der Wärmeplanung und die Ausweisung entsprechender zentraler und dezentraler Eignungsgebiete soll für alle Betroffenen (ein möglichst hohes Maß an) Planungssicherheit geschaffen werden. Die Implementierung der kommunalen Wärmeplanung wird somit als wichtiges Instrument auf dem Weg zum Erreichen der Ziele des vorliegenden Konzeptes verstanden.

10.3.5. Weiterführende Informations- und Öffentlichkeitsarbeit

Die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende und Etablierung des Klimaschutzgedankens als eines übergeordneten gesellschaftlichen Handelns geht weit über die Formulierung und Implementierung von Zielen und Maßnahmen hinaus. Vielmehr ist eine weitreichende Veränderung des menschlichen Verhaltens erforderlich. Denn der Energieverbrauch und THG-Ausstoß ist im erheblichen Umfang auf das Nutzerverhalten zurückzuführen. Technische Maßnahmen und das angepasste Handeln der Nutzer müssen somit einhergehen.

Die Mobilisierung und aktive Beteiligung von wichtigen Akteuren, Entscheidungsträgern und Multiplikatoren sowie einer möglichst breiten Öffentlichkeit an der Umsetzung der in diesem Konzept dargestellten Maßnahmen sowie an der weitergehenden Forcierung positiver klima- und energiepolitischer Handlungsweisen, ist daher für das Erreichen der langfristigen Minderungsziele von zentraler Bedeutung. Denn ohne eine entsprechende öffentliche Aufmerksamkeit und Partizipation sind auch die besten Ideen und Konzepte langfristig zum Scheitern verdammt. Darüber hinaus kann durch die Partizipation die Akzeptanz der Umsetzung auch kritisch gesehener Maßnahmen gesteigert werden oder wichtige Informationen bspw. in Bezug auf den Schutz vor den Folgen des Klimawandels vermittelt werden.

Als Basis für eine erfolgreiche Umsetzung der Klimaschutzanstrengungen und eine Verankerung des umweltbewussten Denkens und Handelns im Alltag dient das Konzept für die Öffentlichkeitsarbeit, dass eine Bewusstseinsbildung bei den relevanten Akteuren sowie möglichst vielen Einwohnern fördern und idealerweise weitreichende Multiplikatoreffekte erzielen soll. Öffentlichkeitsarbeit ist mit den Worten von Albert Oeckl: *„Arbeit mit der Öffentlichkeit, Arbeit für die Öffentlichkeit, Arbeit in der Öffentlichkeit. Wobei unter Arbeit das bewusste, geplante und dauernde Bemühen zu verstehen ist, gegenseitiges Verständnis und Vertrauen aufzubauen und zu pflegen.“*⁵⁸

Integrale Bestandteile der Öffentlichkeitsarbeit sind eine kontinuierliche und transparente Information der Öffentlichkeit über geplante und laufende Aktivitäten und deren Ergebnisse sowie Handlungen zur aktiven Einbeziehung der Öffentlichkeit in diese Aktivitäten. Bürgerbeteiligung sowie Informations- und Öffentlichkeitsarbeit bilden die Voraussetzung für die aktive Beteiligung der Bürger und die Umsetzung einzelner Maßnahmen zur Steigerung des

⁵⁸ Zit. in: FES (2006): Erfolgsfaktor Öffentlichkeitsarbeit. Ein Leitfadens für die PR-Arbeit von Vereinen und Verbänden. Ein Trainingshandbuch, Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung/Akademie Management und Politik

Bewusstseins der Bürger für Klimabelange und breiteren Verankerung des integrierten energetischen Quartierskonzeptes im Quartier und über seine Grenzen hinaus.

Die Umsetzung von Maßnahmen wird durch breite Akzeptanz und Verständnis in der Bevölkerung erleichtert. Um auch künftig bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, kommt der Abstimmung zwischen den relevanten Akteuren und Partnern eine zentrale Rolle zu. Durch Informationsveranstaltungen unter Einbezug der Öffentlichkeit, politischer Vertreter und Mitarbeiter der Verwaltung soll das Verständnis für Maßnahmen und deren Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung erhöht werden. Somit wird nicht nur die Transparenz des Planungsprozesses gesteigert. Aus derartigen Veranstaltungen können sich letztendlich auch Impulse für die künftige Weiterentwicklung der Maßnahmen und des Quartiers ergeben. Der Erfolg der Öffentlichkeitsarbeit ist dabei stark davon abhängig, wie glaubwürdig die Verwaltung und die politische Ebene ihr klimapolitisches Engagement machen. Somit kommt den Vertretern der Stadtverwaltung und der Politik in diesem Bereich eine wichtige Vorbildfunktion zu, da ihr Handeln von der Bevölkerung oftmals im Sinne einer Meinungsführerschaft wahrgenommen wird.

Die Herausforderung einer möglichst erfolgreichen Öffentlichkeitsarbeit ist die verständliche und wirkungsvolle Vermittlung von Inhalten und Zielen an wichtige Multiplikatoren sowie eine breite Öffentlichkeit. Die Öffentlichkeitsarbeit soll zur nachhaltigen Veränderung des Alltagsverhaltens führen, um klimaschädliches Handeln möglichst abzubauen und klimaschützendes Handeln zu fördern. Ohne eine aktive Mitwirkung der Bevölkerung und eine dauerhafte Veränderung ihrer Verhaltensmuster ist Klimaschutz kaum möglich. Neben der Fokussierung auf energetische Optimierungsmaßnahmen und der Motivation der Bewohner zur Beteiligung und Umsetzung muss die Öffentlichkeitsarbeit auch einen Schwerpunkt auf das tägliche Verhalten der Verbraucher legen. Nur durch ein effizienzbewusstes Verhalten hinsichtlich der Bedienung und Einstellung von Heizungsanlagen oder beim Umgang mit Elektrogeräten können die erforderlichen erheblichen Einsparungen im Energieverbrauch erzielt und die Klimaschutzziele erreicht werden.

Wichtig ist dabei die aktuell in energie- und klimapolitischen Themenbereichen herrschende Informationsüberflutung durch attraktiv gestaltete, auf spezifische Zielgruppen zugeschnittene und mit möglichst konkrete Handlungsmaßnahmen ausgestaltete Informations- und Beratungsangebote zu filtern. Wichtig ist auch, dass durch die Öffentlichkeitsarbeit ein Bezug zwischen dem Klimawandel bzw. seinen Auswirkungen und der Stadt bzw. der umliegenden Region geschaffen wird und zugleich klimafreundliches Handeln nicht nur als Herausforderung, sondern auch als große Chance für die Stadt und ihre Einwohner dargestellt wird. Für einzelne Zielgruppen sind dabei differenzierte Herangehensweisen geeignet und sie erfordern unterschiedliche Kommunikationswerkzeuge.

Die konkreten Elemente der Öffentlichkeitsarbeit, die zur Begleitung des Sanierungsmanagements der Gemeinden angewandt werden, können im Wesentlichen in folgende Gruppen aufgeteilt werden:

- Internetauftritt
Kontinuierlicher Internetauftritt und Berichterstattung auf der Homepage
- Informationsmaterialien
Das Nutzen und bedarfsgerechte Verbreiten von in der Regel frei verfügbaren Flyern/Faltblättern, Infoheften, Broschüren, Ratgebern zu Energieeffizienz/-einsparungen, Klimaanpassungsmaßnahmen und anderen relevanten Themen.

- Mediale Berichterstattung
Insbesondere Presse- aber auch Hörfunk- und ggf. Fernsehbeiträge zu den Entwicklungen im Untersuchungsgebiet; Klimarubrik im lokalen Printmedium; Interviews mit Vertretern der Verwaltung, Politik, Vereine, Akteure, Experten zu aktuellen Maßnahmen oder relevanten Themen usw.
- Aktionen/Kampagnen
Teilnahme an bundes- oder landesweiten Kampagnen und thematischen Aktionstagen oder –wochen (z. B. Earth Hour, Stadtradeln), Wettbewerbe, Preisausschreiben und Mitmachaktionen, Infostände bei öffentlichen Veranstaltungen, Plakataktionen mit thematischem Bezug zum Klimaschutz, Klimaanpassung und Energieeffizienz, inkl. Aktivitäten an Schulen und Bildungseinrichtungen
- Bildungs- und Diskussionsformate
Runde Tische, Workshops, Fachvorträge und Seminare, Lernmodule an Schulen, Exkursionen/Studienreisen und Besichtigungen mit thematischem Bezug zum Klimaschutz, Klimaanpassung und Energieeffizienz
- Beratungsangebote
Zielgruppenspezifisch bspw. für Hausbesitzer, Mieter, Senioren, Sozialschwache über Sanierungsmaßnahmen, Heizungstausch, Energieeinsparmöglichkeiten im Alltag, Förderprogramme, Elektromobilität usw.
- Veranstaltungen, Foren
Durchführung eigener Informations- oder thematischer Formate sowie Präsenz von Vertretern oder Akteuren aus dem Untersuchungsgebiet auf entsprechenden thematischen Veranstaltungen und das Einbringen von Themen aus dem Untersuchungsgebiet, Teilnahme unterstützt den Ideen- und Informationsaustausch, Wissensaufbau, gewinnt Kooperationspartner
- Netzwerkarbeit
Intern – zur Vernetzung der Akteure innerhalb des Untersuchungsgebiete
Extern – zur Einbindung weiterer Akteure und Partner
- Befragungen

Über diese Seite wurden auch Umfragen durchgeführt und die Öffentlichkeit über das Projekt informiert. Mit Hinblick auf die Öffentlichkeitsarbeit und den empfohlenen Aufbau eines Sanierungsmanagements wird angeregt, das digitale Angebot kontinuierlich zu pflegen und zu erweitern. Die Internetinformation sollte ansprechend und interessant aufbereitet werden. Zudem sollte sie direkte Mitsprache und Kommunikationselemente beinhalten, um eine aktive Partizipation der Bevölkerung zu fördern und ein zweigleisiges Kommunikationsmedium zu bieten (d.h. auch Kanal für Anregungen aus der Bevölkerung). Sinnvoll erscheint es, alle klimaschutzrelevanten Aktivitäten auf einer Plattform zu konzentrieren. In diesem Zusammenhang kann auch die Schaffung eines gemeinsamen **Logos/ Mottos** erfolgen, unter dem die entsprechenden Maßnahmen vereint werden.

Die Erfahrung im Zusammenhang mit der durchgeführten Umfrage zeigen, dass eine Internetseite kein Selbstläufer ist und die Partizipation durch das Heranziehen weiterer Kommunikationskanäle erheblich gesteigert werden

kann. Hierzu zählen sowohl digitale Kanäle bzw. soziale Medien (Facebook, Instagram usw.) als auch klassische Instrumente wie das Amtsblatt.

Öffentlichkeitsarbeit nimmt verständlicherweise zeitliche, personelle und materielle Ressourcen in Anspruch. Dies stellt eine zusätzliche Belastung für die Verwaltungsstellen dar. Ein großer Teil der Aufgaben verbunden mit der Öffentlichkeitsarbeit kann daher von dem Sanierungsmanager übernommen werden.

10.4. Zielsetzung

Die Ziele der kommunalen Energie- und Klimaschutzpolitik, die auch die Zielsetzungen auf Bundes- und Landesebene berücksichtigen müssen, lassen sich nur durch ein Zusammenspiel von Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs bzw. Steigerung der Energieeffizienz und Maßnahmen zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien und somit einer weitgehenden Dekarbonisierung der Energienutzung erreichen. Dies muss sowohl den Bereich der Wärme- als auch der Stromversorgung betreffen.

Rahmenziele

Die Stadt Apolda bekennt sich zu den übergeordneten Zielen der EU, des Bundes und des Landes und möchte einen eigenen lokalen Beitrag zu deren Erreichen leisten. Dies kann jedoch nur mit Rücksicht, auf die der Stadt und den kommunalen Akteuren zur Verfügung stehenden Mittel und Möglichkeiten der Einflussnahme erfolgen.

Die Stadt wird auf lokaler Ebene die Schaffung von institutionellen Rahmenbedingungen vorantreiben, die die Umsetzung der Klimaschutzziele und Maßnahmen unterstützen. Hierzu zählt beispielsweise die Unterstützung für den Aufbau eines Umsetzungsmanagements, das idealerweise auf einer Fördergrundlage beruht.

Des weiteren verfolgt die Stadt im Untersuchungsgebiet folgende Ziele:

Der Wärmeverbrauch ist für einen großen Teil des Energieverbrauchs und des Treibhausgasausstoßes auf dem Stadtgebiet verantwortlich. Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und Minderung des Treibhausgasausstoßes im Bereich der Wärmeversorgung kommt somit eine besondere Stellung zu. Der kontinuierliche Ausbau netzbasierter Wärmeversorgungssysteme auf Basis nachhaltiger Energien kann hier einen zentralen Beitrag leisten. Die Stadt strebt in diesem Bereich zusammen mit dem kommunalen Energieversorger durch die künftige Aufstellung einer kommunalen Wärmeplanung die Schaffung einer strategischen Planungsgrundlage an. Die in diesem Konzept identifizierten Potenzialgebiete sollen in diesem Zusammenhang weiter untersucht, präzisiert und ergänzt werden.

Der Ersatz fossiler Energiequellen im Bereich der Wärmeversorgung ist grundsätzlich auch über effiziente dezentrale Technologien möglich und sinnvoll und soll daher unterstützt werden. Maßnahmen zur Beratung und Information der Immobilienbesitzer sollen daher im Rahmen der Möglichkeiten unterstützt werden.

Die Verringerung des Wärmeverbrauchs leistet einen elementaren Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele. Die Stadt unterstützt daher Aktivitäten, die zur Steigerung energetischer Standards der Gebäudehüllen beitragen.

Die Stadt möchte eine Vorbildfunktion übernehmen und wird daher bei Sanierungs- und Optimierungsmaßnahmen an den kommunalen Liegenschaften und öffentlicher Infrastruktur, mit Rücksicht auf die eigenen finanziellen Kapazitäten und die Projektwirtschaftlichkeit, das Erreichen möglichst anspruchsvoller Standards anstreben. Dies bezieht sich auch auf Maßnahmen im Bereich der Klimaresilienz. Dem Aufbau von Datenstrukturen, wie dem kommunalen Energiemanagement oder dem digitalen Zwilling die die Stadt und weitere Akteure bei den Planungen unterstützen, kann dabei eine wichtige unterstützende Funktion zukommen.

Grundsätzlich soll die Nutzung regenerativer Energien auch über die Wärmeversorgung hinaus ausgeweitet werden. Mit Hinblick auf die lokalen Gegebenheiten handelt es sich hierbei insbesondere um die Nutzung von Sonnenenergie an Gebäuden oder Freiflächen. Die Ausstattung kommunaler Objekte mit PV-Anlagen wird kontinuierlich vorangetrieben.

Darüber hinaus gilt es, eine klimafreundliche Mobilität weiter voranzubringen und hierzu in der Stadt die erforderlichen infrastrukturellen Rahmenbedingungen zu schaffen. Neben elektrischer Mobilität stehen der Radverkehr und der ÖPNV im Fokus. Die Stadt hat keinen direkten Einfluss auf das tatsächliche Mobilitätsverhalten der Bevölkerung, sie kann jedoch durch den Aufbau entsprechender Infrastrukturen Voraussetzungen für die stärkere Nutzung klimafreundlicher Alternativen schaffen.

Der hohe Anteil gewerblicher Akteure am Energieverbrauch führt zwangsläufig dazu, dass diese in die klimapolitischen Anstrengungen eingebunden werden müssen und zugleich bei ihren eigenen Aktivitäten in diesem Bereich nach Möglichkeit unterstützt werden sollen. Hierzu kann insbesondere eine bessere Vernetzung der Akteure dienlich sein. Darüber hinaus ist deren aktive Einbindung in die Überlegungen zum Aufbau und der weiteren Nutzung netzbasierter Energieinfrastrukturen wichtig.

Klimaschutz stellt eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar. Grundlegend für das Erreichen der Ziele sind daher die Kooperationen und Mitwirkung der breiten Öffentlichkeit, des lokalen Gewerbes, der Versorger, der politischen Vertreter und der Verwaltung. Die Stadt unterstützt Maßnahmen, die zur Mitwirkung Einzelner über die überörtliche Zusammenarbeit bis hin zur Integration sektoral agierender Akteure führen. Einbezogen werden sollen hier auch öffentliche Einrichtungen, Schulen, Vereine, Gewerbetreibende und Versorger.

Ansprechpartner

Volker Broekmans

Leiter Zukunft Quartier / Klima / Energie

Telefon 0211 56002-14

Mobil 0172 5721403

volker.broekmans@dsk-gmbh.de

Dr. Michael Liesener

Projektleiter

Mobil 0152 26210859

michael.liesener@dsk-gmbh.de

Hannes Kasties

Projektbearbeiter

Mobil 0172 6948325

hannes.kasties@dsk-gmbh.de

Anhang

Abkürzungen

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BHKW	Blockheizkraftwerk
CCS	Carbon (Dioxide) Capture and Storage (CO ₂ Abscheidung und Speicherung)
dB	Dezibel
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EG	Europäische Gemeinschaft
EnEV	Energieeinsparverordnung
EU	Europäische Union
FH	Fachhochschule
g	Gramm
GuD-Kraftwerk	Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk
Hi	Heizwert
Hs	Brennwert
IEKK	Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept
ISEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
K	Kelvin
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz	Kraftfahrzeug
km	Kilometer
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWK-G	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
l	Liter
LED	Licht-emittierende Diode
Lkw	Lastkraftwagen
LREP	Landesraumentwicklungsprogramm
m	Meter
MFH	Mehrfamilienhaus
mm	Millimeter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen

PTJ	Projektträger Jülich
PV	Photovoltaik
t	Tonne
THG	Treibhausgas
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
VDI	Vereinigung Deutscher Ingenieure
W	Watt
W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient
WBS	Wohnungsbauserie
WE	Wohneinheit
WLS	Wärmeleitfähigkeitsstufe

Disclaimer

Alle vorgelegten Berechnungen und Erhebungen erfolgten auf Basis der bis Januar 2024 vom Auftraggeber/Akteur bereitgestellten und von uns ermittelten Daten und Informationen. Eine belastbare Aussage beispielsweise zur Wirtschaftlichkeit und Funktionsfähigkeit der angeregten energetischen Infrastrukturen wie KWK-Anlagen oder Nahwärmenetzen können erst nach Betreiberwahl und weiterer Detailplanung getroffen werden. Die Aussage zu gesetzlichen Regelungen und Förderkulissen betrifft den Stand Januar 2024.

DSK GmbH, Klima und Energie

Korrektur zu Seite 35

Ursprünglich wurde von einer Netzlänge von 4 Kilometern gesprochen. Das bereits bestehende Fernwärmenetz in Apolda verfügt jedoch über eine Gesamtlänge von 14 Kilometern.

4. Energieversorgung

4.1 Versorgungsinfrastruktur

Das Untersuchungsgebiet ist mit dem Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetz erschlossen. Betreiberin der Strom und Gasnetze ist die ENA Energienetze Apolda GmbH. Das Fernwärmenetz wird durch die EVA- Energieversorgung Apolda betrieben. Die Unternehmen wurden im Rahmen der Datenerhebung angefragt und haben DSGVO konforme Daten zu den Absatzmengen bereitgestellt.

Fernwärme

Apolda verfügt, wie bereits erwähnt, über ein Fernwärmenetz im Norden der Stadt. Für die Wärme kommt derzeit ausschließlich Erdgas zum Einsatz. Das Netz wird aus dem Heizwerk in der Franckestraße gespeist und verbraucht derzeit 16.885 MWh, was wiederum inklusive Vorkette 9.921 t pro Jahr CO₂ Emissionen erzeugt. Das Netz verfügt dabei über eine Länge von knapp **14 Kilometern**. Es versorgt ein Mehrfamilienhauswohngebiet, in dem insbesondere Objekte der AWG und WGA sowie ein gewerbliches Objekt vertreten sind. Darüber hinaus sind die Schule mit Turnhalle und Kita sowie das lokale Schwimmbad angeschlossen.

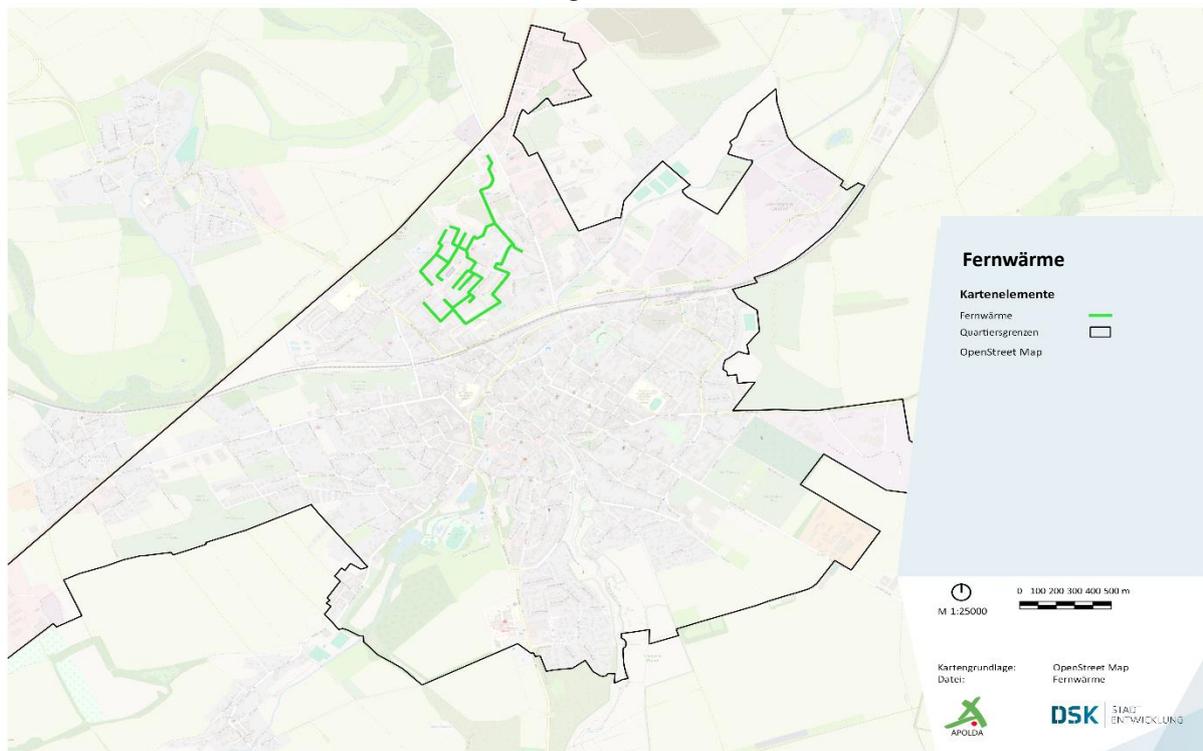


Abbildung 112: Vorhandenes Fernwärmenetz in Apolda (Eigene Darstellung)