

Quartierskonzept Gemeinde Brekendorf

Abschlussbericht zur Erstellung eines integrierten Quartierskonzeptes

Brekendorf

Im Auftrag von: **Gemeinde Brekendorf**

Ansprechpartner_in: Rainer Mertens, Bürgermeister der Gemeinde Brekendorf

Auftragnehmer_in: EcoWert 360°GmbH
Lise-Meitner-Straße 29, 24941 Flensburg

Bearbeitung: B. Eng. LiMan Keller, B. Eng. Gotje Rathmann,
Dipl.-Ing. Lukas Schmeling, M. Eng. Matthias Winschu,
B. Eng. Jonas Borchert

PLAN-G
An de Diek 6d, 24855 Bollingstedt

Bearbeitung: Dipl. Ing. Ralf Schobries

ProRegion GmbH
Lise-Meitner-Straße 29, 24941 Flensburg

Bearbeitung: Dipl. Ing. Nina Lorenzen, Dipl. Ing. Lutz Malach

Stand: 23.10.2024

Förderhinweis: Das Projekt energetisches Quartierskonzept Gemeinde Brekendorf wird gefördert aus Mitteln des Bundes im Rahmen des KfW-Programms 432 „Energetische Stadtsanierung“ sowie ergänzend aus Mitteln des Landes Schleswig- Holstein.

Gefördert durch:



Aufgrund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages



Schleswig-Holstein
Ministerium für Energiewende,
Landwirtschaft, Umwelt, Natur
und Digitalisierung

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
KfW Checkliste Energetische Stadtsanierung	10
1 Zusammenfassung.....	11
2 Einführung	12
2.1 Das Quartier Ortskern Brekendorf	12
2.2 Bestandsaufnahme der Gemeinde Brekendorf.....	14
2.2.1 Ortsbildprägende Architektur	14
2.2.2 Verkehrssituation und Mobilität	15
2.2.3 Überörtliche und örtliche Schutzgebiete	16
2.2.4 Ortsbildprägende Freiräume	17
2.2.5 Wasser.....	17
2.2.6 Klimaanpassungsmaßnahmen.....	18
2.3 Vorhandene Stadtentwicklungs- und wohnwirtschaftliche Konzepte.....	23
2.3.1 Flächennutzungsplan.....	23
2.3.2 Bebauungspläne	25
2.4 Methodik und Vorgehensweise	27
2.5 Öffentlichkeitsarbeit und Beteiligungsprozess.....	28
3 Energetische Ausgangssituation im Quartier	30
3.1 Datenquellen und Datengüte	30
3.2 Bestandsaufnahme: Gebäudebestand	31
3.2.1 Wohngebäude	32
3.2.2 Öffentliche Liegenschaften.....	32
3.2.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD-Sektor)	32
3.3 Bestandsaufnahme: Heizungsbestand	32
3.4 Bestandsaufnahme: Endenergiebedarf.....	33
3.4.1 Wärme	33
3.4.2 Strom	34
3.4.3 Mobilität	34
3.5 Energie- und CO ₂ -Bilanz.....	36
3.5.1 Energie- Und CO ₂ -Bilanz Wärme	37
3.5.2 Energie- und CO ₂ -Bilanz Strom.....	39
3.5.3 Energie- Und CO ₂ -Bilanz Mobilität	40

4	Energie- und CO₂-Minderungspotenziale	41
4.1	Potenziale für erneuerbare elektrische Energien	42
4.1.1	Wind	42
4.1.2	Photovoltaik	45
4.1.3	Biogas	51
4.2	Potenziale für erneuerbare thermische Energie	53
4.2.1	Luft-Wärmepumpe	53
4.2.2	Geothermie	54
4.2.3	Grundwasser-Wärmepumpe	57
4.2.4	Abwärme-Wärmepumpe	57
4.2.5	Biomethan Blockheizkraftwerk	58
4.2.6	Biomasse	58
4.2.7	Solarthermie	58
4.2.8	Photovoltaisch-Thermische Kollektoren	59
4.3	Minderungspotenziale durch Gebäudesanierung	60
4.3.1	Fördermöglichkeiten im BEG	61
4.3.2	Mustersanierungen	63
4.3.3	Energetische Sanierung „Alte Schule“	65
4.4	Dezentrale Wärmeversorgungslösungen	71
4.4.1	Vollkostenvergleich	72
4.4.2	Emissionen dezentraler Wärmeversorgungslösungen	75
4.5	Minderungspotenziale durch zentrale Wärmeversorgung	76
4.5.1	Wärmenetz	76
4.5.2	Liniendichte	77
4.5.3	Erzeugungskonzepte	79
4.5.4	Fördermöglichkeiten	84
4.5.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	87
4.5.6	Sensitivitätsanalyse	94
4.5.7	Klimaverträglichkeit	95
4.5.8	Zeitplan und Umsetzung	98
4.5.9	Mögliche Betreibermodelle	99
4.6	Mobilität	101
4.6.1	Individueller Personenkraftverkehr	101
4.6.2	Auswertung der Umfrage	103
4.6.3	Carsharing	104
4.6.4	Unterstützung des Radverkehrs	105

4.6.5	Errichten öffentlicher Ladestationen	106
4.6.6	Öffentlicher Personennahverkehr	106
4.6.7	Mobilitätsdienst 2.0.....	107
5	Umsetzung.....	108
5.1	Öffentlichkeitsarbeit.....	108
5.1.1	Aufklärung und Unterstützung der Bewohner_innen.....	108
5.1.2	Unterstützung der Energieversorger.....	109
5.1.3	Bausteine der Öffentlichkeitsarbeit	109
5.2	Controlling-Konzept.....	110
5.2.1	Gebäudesanierung & Heizungs austausch	111
5.2.2	Wärmenetz	111
5.2.3	Strom	111
5.2.4	Mobilität	111
5.3	Umsetzungshemmnisse	112
5.3.1	Energetische Sanierung	112
5.3.2	Wärmenetz	113
5.3.3	Strom	114
5.3.4	Mobilität	115
5.3.5	Allgemeine Hemmnisse	115
5.4	Sanierungsmanagement.....	116
5.5	Umsetzungsplan	117
6	Literaturverzeichnis.....	120

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Das Quartier Ortskern Brekendorf im Gemeindegebiet Brekendorf	12
Abbildung 2-2:	Blick auf das Haus Dorfstraße 63	14
Abbildung 2-3:	Lage der Bushaltestellen und des Standortes für Bikesharing sowie Ladepunkte für Elektromobilität	15
Abbildung 2-4:	Darstellung aus der Präsentation von Pro Regione vom 19.03.2024.....	16
Abbildung 2-5:	Lage der Verbundsachsen und der Schwerpunktbereiche des landesweiten Biotopverbundsystems (Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein, 2024).....	16
Abbildung 2-6:	Lage der Fließgewässer in der Ortsanlage Brekendorf (DA Nord, 2024)	17
Abbildung 2-7:	Maßnahmen für die Dorfstraße	19
Abbildung 2-8:	Blick in die Dorfstraße auf der Höhe der Hausnummer 81	20
Abbildung 2-9:	Maßnahmen für den Kreuzungspunkt Straße "Am Hang" / "Rendsburger Landstraße"	20
Abbildung 2-10:	Blick von der Straße "Am Hang" in Richtung "Rendsburger Landstraße" auf eine mögliche Entsiegelungsfläche	21
Abbildung 2-11:	Maßnahmen für den Kreuzungspunkt Dorfstraße – Rendsburger Straße – Hammer	21
Abbildung 2-12:	Fußweg in Richtung der temporären Ampelanlage an der Rendsburger Landstraße 22	
Abbildung 2-13:	Flächennutzungsplan der Gemeinde Brekendorf (DA Nord, 2024)	23
Abbildung 2-14:	Lage der Änderungen des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Brekendorf	24
Abbildung 2-15:	Lage der Bebauungspläne und deren Änderungen (DA Nord, 2024).....	25
Abbildung 2-16:	Prozess technoökonomische Quartiersanalyse zur emissionsfreien Versorgung, 27	
Abbildung 2-17:	Workshop vom 24.06.2024 - Station „Wärmeversorgung“	28
Abbildung 2-18:	Workshop vom 24.06.2024 – Station „Fördermöglichkeiten“ & „Heizungstausch & Gebäudesanierung“	29
Abbildung 3-1:	Wärmelastgang Quartier Brekendorf.....	33
Abbildung 3-2:	Stromlastgang Brekendorf.....	34
Abbildung 3-3:	Energiebilanz	36
Abbildung 3-4:	CO ₂ -Bilanz	36
Abbildung 3-5:	Wärmeatlas Quartier Brekendorf.....	37
Abbildung 3-6:	Primärenergiebedarf	40
Abbildung 3-7:	Emissionen.....	40
Abbildung 4-1:	Übersicht Maßnahmen Energieeinsparung.....	41
Abbildung 4-2:	Übersicht Maßnahmen CO ₂ -Einsparung.....	42
Abbildung 4-3:	Kartenausschnitt Potenzialgebiet im Gemeindegebiet Brekendorfs	43
Abbildung 4-4:	Ausschnitt „Karte Potenzialflächen Windenergie SH“	44
Abbildung 4-5:	Übersicht gemeindliches PV-Standortkonzept Gemeinde Brekendorf	46
Abbildung 4-6:	Potenzialfläche A5.1	46
Abbildung 4-7:	Potenzialflächen A5.2 & A5.3	47
Abbildung 4-8:	Potenzialflächen A5.4 & A5.5	47
Abbildung 4-9:	Vergütung nach dem EEG für Freiflächenanlagen, eigene Darstellung nach.....	48
Abbildung 4-10:	Spezifische Kosten von PV-Freiflächenanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (C.A.R.M.E.N. e.V., 2023)	49
Abbildung 4-11:	Tägliche Stromproduktion durch PV-Dachanlagen im Gemeindegebiet	50
Abbildung 4-12:	Lage der BGA.....	52

Abbildung 4-13:	Darstellung der Leistungszahl einer Großwärmepumpe bei verschiedenen Vorlauftemperaturen über der Quellentemperatur	53
Abbildung 4-14:	Potenzial oberflächennaher Geothermie (DA Nord, 2024)	55
Abbildung 4-15:	Verbreitung potenziell nutzbarer Gesteinsschichten (DA Nord, 2024)	56
Abbildung 4-16:	Trinkwassergewinnungsgebiete in und um Brekendorf	57
Abbildung 4-17:	Förderübersicht Heizungstausch und Einzelmaßnahmen	62
Abbildung 4-18:	Eingangstür am Portal mit deutlichem Spalt (rechts)	66
Abbildung 4-19:	Einfache Wohnungstür zwischen beheizt und unbeheizt	67
Abbildung 4-20:	Dachraum über Wohnungen (Warmdach)	68
Abbildung 4-21:	Veraltete Heizungspumpen in der „Alten Schule“	69
Abbildung 4-22:	Mögliche Belegung der "Alten Schule" (24,4 kWp)	70
Abbildung 4-23:	Vollkostenvergleich individueller Heizungssysteme	73
Abbildung 4-24:	Betrachtetes Wärmenetz im Quartier Brekendorf	76
Abbildung 4-25:	Darstellung der Liniendichte im Quartier Brekendorf bei 100 % Anschlussquote	78
Abbildung 4-26:	Konzeptskizze des ersten Erzeugungsszenarios.....	80
Abbildung 4-27:	Konzeptskizze des zweiten Erzeugungsszenarios	81
Abbildung 4-28:	Konzeptskizze des dritten Erzeugungsszenarios.....	82
Abbildung 4-29:	Konzeptskizze des ersten Erzeugungsszenarios.....	84
Abbildung 4-30:	Wärmegestehungskosten der Versorgungsszenarien bei einer Anschlussquote von 100 %	92
Abbildung 4-31:	Wärmegestehungskosten der Versorgungsszenarien bei einer Anschlussquote von 70 %	93
Abbildung 4-32:	Abhängigkeit der Vollkosten von der Anschlussquote	94
Abbildung 4-33:	Entwicklung der PKW-CO ₂ -Emissionen bis zum Jahr 2050.....	102
Abbildung 4-34:	Verteilung der Fahrzeuganzahl in den Haushalten der Umfrageteilnehmer	103

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1:	Abgleich der Berichtsinhalte mit den Anforderungen der KfW	10
Tabelle 2-1:	Öffentlichkeitsveranstaltungen – Termine.....	29
Tabelle 3-1:	Die Datengüte und ihre Gewichtungsfaktoren	30
Tabelle 3-2:	Datengüte des Endergebnisses für kommunale Energiebilanzen nach ifeu-Empfehlung (ifeu, 2014)	30
Tabelle 3-3:	Datengüte des erfassten Endenergieverbrauchs, eigene Darstellung nach (ifeu, 2014).....	31
Tabelle 3-4:	Gebäudebestand im Quartier Brekendorf nach Baualtersklassen.....	31
Tabelle 3-5:	Gebäudebestand im Kreis Rendsburg-Eckernförde (Gebäudetypologie-SH, 2012)..	31
Tabelle 3-6:	Spezifischer Wärmedarf - Vergleich GIS-Daten Auswertung vs. Deutscher Mittelwert (BMWi, 2021).....	32
Tabelle 3-7:	Heizungsbestand Quartier.....	32
Tabelle 3-8:	Wärmebedarf nach Liegenschaften	33
Tabelle 3-9:	Personenkraftwagen der Gemeinde und des Ortskerns Brekendorf nach Brennstofftyp.....	34
Tabelle 3-10:	Spezifische Energieverbräuche von Personenkraftwagen nach Brennstofftyp	35
Tabelle 3-11:	Jährliche Gesamtfahrleistung und jährlicher Energieverbrauch	35
Tabelle 3-12:	Gesamtendenergie- und CO ₂ -Bilanz	36
Tabelle 3-13:	Verwendete CO ₂ -Emissions- und Primärenergiefaktoren (Vorgabe KfW, Anlage 4 und 9 des GEG)	38

Tabelle 3-14:	Endenergie- und CO ₂ -Bilanz der Wärmeversorgung nach Energieträger	38
Tabelle 3-15:	Energiebilanz der Wärmeversorgung nach Verbrauchssektoren.....	39
Tabelle 3-16:	Energie- und CO ₂ -Bilanz der Stromversorgung	39
Tabelle 3-17:	Regenerative elektrische Erzeugungsleistung im Gemeindegebiet Brekendorfs	39
Tabelle 3-18:	Verwendete Emissions- und Primärenergiefaktoren Quelle: (BAFA, 2021) (Frischknecht, 2012)	40
Tabelle 3-19:	CO ₂ -Emissionen und Primärenergieverbrauch des Mobilitätssektors	40
Tabelle 4-1:	Vergütungssätze im Marktprämienmodell für PV-Dachanlagen in ct/kWh.....	49
Tabelle 4-2:	PV-Auslegungsvarianten für verschiedene Dachausrichtungen	51
Tabelle 4-3:	Sensitivitätsanalyse Sanierungsrate	60
Tabelle 4-4:	Grunddaten – Dorfstraße 49	63
Tabelle 4-5:	Zusammenfassung der Mustersanierung Dorfstraße 49.....	65
Tabelle 4-6:	Grunddaten – „Alte Schule“	65
Tabelle 4-7:	Vergleich verschiedener PV-Auslegungsvarianten für die "Alte Schule"	70
Tabelle 4-8:	Annahmen zum Vollkostenvergleich individueller Heizungssysteme	72
Tabelle 4-9:	Vergleich der CO ₂ -Emissionen der individuellen Lösungen.....	75
Tabelle 4-10:	Liniendichte in Abhängigkeit der Anschlussquote (gesamtes Quartier Brekendorf)	78
Tabelle 4-11:	Übersicht über zentrale Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	87
Tabelle 4-12:	Investitionskosten des Wärmenetzes	87
Tabelle 4-13:	Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.1	88
Tabelle 4-14:	Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.1	88
Tabelle 4-15:	Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.1.....	89
Tabelle 4-16:	Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.2	89
Tabelle 4-17:	Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.2	89
Tabelle 4-18:	Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.2.....	89
Tabelle 4-19:	Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.3	90
Tabelle 4-20:	Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.3	90
Tabelle 4-21:	Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.3.....	90
Tabelle 4-22:	Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.4	91
Tabelle 4-23:	Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.4	91
Tabelle 4-24:	Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.4.....	91
Tabelle 4-25:	Jährliche Bedarfskosten der Konzepte bei 100 % Anschlussquote	92
Tabelle 4-26:	CO ₂ -Emission für die erzeugte Wärme	95
Tabelle 4-27:	Anteil erneuerbarer Energie im Wärmenetz.....	96
Tabelle 4-28:	Berechnung des Primärenergiefaktors.....	97
Tabelle 4-29:	Interesse an Elektrofahrzeugen.....	103
Tabelle 4-30:	Vergleich der CO ₂ -Emissionen verschiedener Verkehrsmittel (UBA, 2021).....	106
Tabelle 5-1:	Umsetzungsplan - Wärme	117
Tabelle 5-2:	Umsetzungsplan - Strom	118
Tabelle 5-3:	Umsetzungsplan - Mobilität & Städteplanung	119

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

°C	Grad Celsius
a	Jahr
Abs.	Absatz
ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEG	Bundeförderung für effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BGA	Biogasanlage
BGW	Bundesverbands der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bzw.	beziehungsweise
C.A.R.M.E.N	Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk
ca.	circa
CH₄	Methan
cm	Centimeter
CO₂	Kohlenstoffdioxid
ct	Cent
DN	Diamètre Nominal (Nenndurchmesser)
E	Elektro
e.V.	Eingetragener Verein
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetzes
EFH	Einfamilienhaus
el.	elektrisch
EM	Einzelmaßnahme
Eng.	Engineering
ff	fortfolgend
g	Gramm
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
GKO	Gebietskörperschaften, Kreditinstitute und Versicherungen
GWh	Gigawattstunden
h	Stunde
ha	Hektar
i.d.R.	in der Regel
ifeu	Institutes für Energie- und Umweltforschung
iSFP	individueller Sanierungsfahrplan
K	Kelvin
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kg	Kilogramm

km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
kWp	Kilowatt peak
kWth	Kilowatt thermisch
L	Liter
LEP	Landesentwicklungsplan
m	Meter
m²	Quadratmeter
m³	Kubikmeter
max.	maximal
min.	minimal
Mio.	Millionen
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
MWp	Megawatt peak
MWth	Megawatt thermisch
N₂O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)
NHN	Normalhöhen Null
Nr.	Nummer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pers.	Personen
Pkm	Personenkilometer
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltaisch-thermisch
SH	Schleswig-Holstein
Str.	Straße
t	Tonne
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Watt
WG	Wohngebäude
WKA	Windkraftanlage
z.B.	zum Beispiel

KFW CHECKLISTE ENERGETISCHE STADTSANIERUNG

Tabelle 1-1: Abgleich der Berichtsinhalte mit den Anforderungen der KfW

Zu berücksichtigende Aspekte	Kapitel
Betrachtung der für das Quartier maßgeblichen Energieverbrauchssektoren (insbes. komm. Einrichtungen, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie, private Haushalte) (Ausgangsanalyse)	3 und 4
Beachtung von Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepten, integrierten Stadtteilentwicklungskonzepten oder wohnwirtschaftlichen Konzepten bzw. von integrierten Konzepten auf Quartiersebene	2.3
Beachtung der baukulturellen Zielstellungen unter besonderer Berücksichtigung von Denkmälern, erhaltenswerter Bausubstanz und Stadtbildqualität	2.1 und 2.2
Aussagen zu Energieeffizienzpotenzialen und deren Realisierung im Bereich der quartiersbezogenen Mobilität	3.4.3, 4.6
Identifikation von alternativen, effizienten und gegebenenfalls erneuerbaren lokalen oder regionalen Energieversorgungsoptionen und deren Energieeinspar- und Klimaschutzpotenziale für das Quartier	4
Bestandsaufnahme von Grünflächen, Retentionsflächen, Beachtung von naturschutzfachlichen Zielstellungen und der vorhandenen natürlichen Kühlungsfunktion der Böden	2 und 4
Gesamtenergiebilanz des Quartiers (Vergleich Ausgangspunkt und Zielaussage)	3.5 und 4
Bezugnahme auf Klimaschutzziele der Bundesregierung und energetische Zielsetzungen auf kommunaler Ebene	1, 2.1 und 4.5.7
konkreter Maßnahmenkatalog unter Berücksichtigung quartiersbezogener Wechselwirkungen	5.5
Analyse möglicher Umsetzungshemmnisse und deren Überwindungsmöglichkeiten	5.3
Aussagen zu Kosten, Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Investitionsmaßnahmen	4
Einbeziehung betroffener Akteure bzw. Öffentlichkeit in die Aktionspläne/Handlungskonzepte	2.5 und 5.1
Maßnahmen zur organisatorischen Umsetzung des Sanierungskonzepts (Zeitplan, Prioritätensetzung, Mobilisierung der Akteure und Verantwortlichkeiten)	5
Maßnahmen der Erfolgskontrolle und zum Monitoring	5.2

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausgangssituation für die Umstellung auf eine regenerative Energieversorgung des Quartiers Brekendorf ist vielversprechend. Bei Öffentlichkeitsveranstaltungen hat eine hohe Beteiligung der Anwohner_innen gezeigt, dass das Interesse der Bürger_innen an einer nachhaltigen Energieversorgung der Gemeinde vorhanden ist und auf Anklang stößt. Insgesamt wurde ein Wärmebedarf von ca. 8,7 GWh pro Jahr und ein Strombedarf von ca. 1,4 GWh pro Jahr erfasst.

Durch die Sanierung der Gebäudehüllen der Wohngebäude im Quartier kann bei einer Sanierungsrate von 2 % pro Jahr der Endenergiebedarf der Wohngebäude für die Wärmeversorgung bis 2045 um bis zu 35 % reduziert werden.

Die in der Studie aufgezeigten Mustersanierungen verdeutlichen nicht nur die ökologischen, sondern auch die ökonomischen Vorteile einer energetischen Sanierung. Investitionen in die Ertüchtigung der Gebäudehülle mit statischen Amortisationszeiten von wenigen Jahren sind ökonomisch und in jedem Fall ökologisch lohnend. Um die angestrebte Sanierungsrate von 2 % pro Jahr zu erreichen, müssen die Bürger_innen beraten und begleitet werden.

Durch die Sanierung des Gebäudebestandes als Energieeffizienzmaßnahme können Emissionen auf der Verbrauchsseite reduziert werden. Auch auf der Erzeugungsseite können durch Sektorenkopplung Energie- und CO₂-Minderungspotenziale erschlossen werden. Durch die Nutzung der vorhandenen Potenziale im Bereich der regenerativen Stromerzeugung kann kostengünstiger Strom für eine CO₂-neutrale Stromversorgung bereitgestellt werden. Die Wärmeversorgung kann durch den Aufbau eines Wärmenetzes und die Einbindung von regenerativ erzeugtem Strom nachhaltig gestaltet werden. So kann der Ortskern mit nachhaltiger Fernwärme versorgt werden, wodurch bereits bei einem geringen Anschlussquote erhebliche CO₂-Einsparungen erzielt werden können. Durch die in der Studie aufgezeigten Handlungsoptionen bestehen auch für Haushalte, die außerhalb der Potenzialgebiete für Wärmenetze liegen, Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion. Entsprechend gedämmte Gebäude im Außenbereich können mit den verschiedenen dargestellten Heizsystemen ausgestattet werden. Größtes Hemmnis sind derzeit die hohen Kosten.

Die Studie zeigt: Brekendorf hat das Potenzial Vorreiter der Energiewende zu sein. Dieses Potenzial kann schon heute, etwa durch Sanierungsmaßnahmen oder die Errichtung eines Wärmenetzes mit der Nutzung lokaler, regenerativer Anlagen, realisiert werden.

2 EINFÜHRUNG

Dieser Bericht stellt den aktuellen Stand der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs im Ortskern der Gemeinde Brekendorf auf dem Weg zu einer 100% regenerativen Versorgung der Haushalte und des Gewerbes dar. Grundlage für die Umstellung auf eine vollständig regenerative und autarke Energieversorgung der Gemeinde Brekendorf ist ein umfassendes Quartierskonzept, das im Folgenden näher beschrieben wird.

2.1 DAS QUARTIER ORTSKERN BREKENDORF

Die Gemeinde Brekendorf liegt im Kreis Rendsburg-Eckernförde in Schleswig-Holstein. Sie gehört zum Amt Hüttener Berge, das aus 16 Gemeinden besteht. Die Gemeinde hat eine Fläche von 20,47 km² und ist Heimat für knapp 1.028 Bürger_innen (Statistikamt Nord, 2024). Das Gemeindegebiet von Brekendorf liegt im nördlichen Teil der naturräumlichen Haupteinheit Schwansen und Dänischer Wohld in den Hüttener Bergen. Die Gemeinde befindet sich etwa elf Kilometer südlich von Schleswig und fünfzehn Kilometer nördlich von Rendsburg. Die Lage und die Grenzen des Quartiers Ortskern Brekendorf sind in Abbildung 2-1 dargestellt.

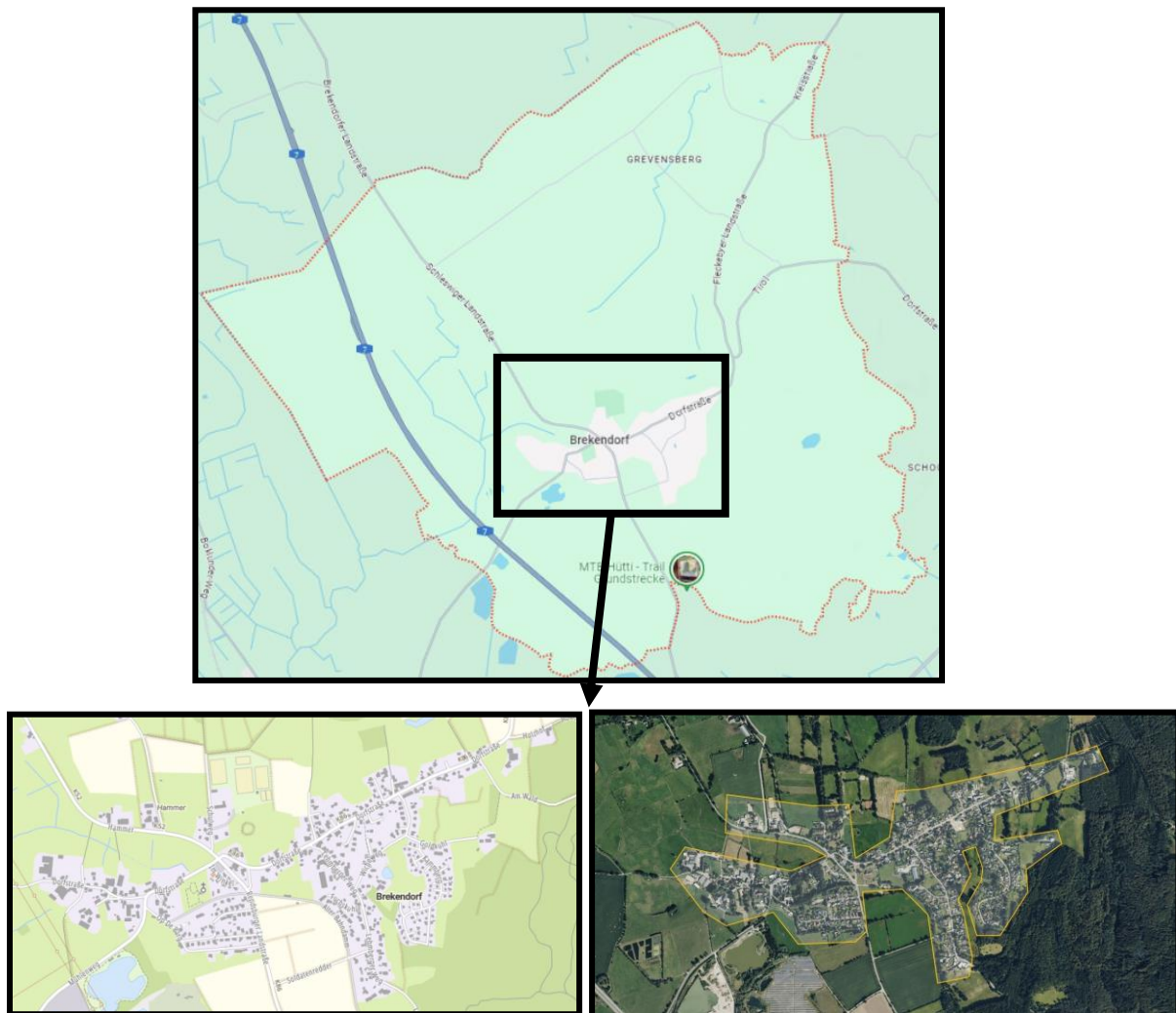


Abbildung 2-1: Das Quartier Ortskern Brekendorf im Gemeindegebiet Brekendorf

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Ortskern von Brekendorf und ist städtebaulich geprägt durch Einfamilienhäuser sowie mehrere landwirtschaftliche Betriebe. Die Gemeinde verfügt über einen Kindergarten und eine Kirche im Quartier sowie eine Gaststätte, die sich südlich am Dorfrand befindet. Derzeit werden 61 % der Primärheizungen mit Erdgas und 25 % mit Heizöl betrieben. Die restlichen 14 % entfallen mit 4 % auf Primärheizungen mit Feststoffverbrennung und 10 % auf strombasierte Heizungen.

Die Gebäudestruktur des Quartiers wird geprägt durch Gebäude mit einer Wohneinheit. Mit 38 der insgesamt 383 Gebäuden macht der historische Dorfkern mit einem Baujahr vor 1950 einen kleinen Anteil ($\approx 10\%$) des gesamten Gebäudebestands aus. Hier besteht ein großes Potenzial bei der energetischen Gebäudesanierung, da Gebäude dieser Baualtersklassen meist nur teilweise, bis gar nicht energetisch saniert bzw. gedämmt sind. Der größte Anteil des Gebäudebestands stammt mit 147 Gebäuden ($\approx 38\%$) aus der Bauperiode von 1980 bis 1990. Gebäude, die von 1990 bis 2015 errichtet wurden, machen mit 74 Gebäuden etwa 19 % des Bestands aus. Nach 2015 wurden noch 31 Gebäude ($\approx 8\%$) errichtet.

ZIELSETZUNG

Ziel des Quartierskonzeptes ist es, den Weg für eine 100 % erneuerbare Energieversorgung in Brekendorf zu ebnen. Durch die Erstellung eines Quartierskonzeptes wird die Gemeinde Brekendorf in die Lage versetzt, auf lokaler Ebene aktiv gegen die Klimakrise und die globale Erwärmung vorzugehen. Ziel ist es, die energetische Versorgung des Quartiers auf Basis erneuerbarer Energien zu prüfen und gleichzeitig den Energiebedarf im Bestand zu optimieren und damit zu senken.

Das Quartierskonzept umfasst die Bausteine Ist-Analyse, Potenzialanalyse, Energie- und CO₂-Bilanz sowie einen Maßnahmenkatalog und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der zu entwickelnden Sanierungsmaßnahmen sowie insbesondere einen im Dialog mit den Einwohner_innen des Quartiers durchgeführten Untersuchungsprozess.

In diesem Sinne werden die Bürger_innen, Unternehmen und gewerbliche Einrichtungen sowie die öffentliche Verwaltung in eine gesamträumliche Betrachtung einbezogen, um eine bedarfsorientierte, effiziente und nachhaltige Möglichkeit zur Umsetzung der Klimaschutzziele der Gemeinde abzubilden.

Ein Schwerpunkt liegt auf der zentralen Wärmeversorgung, welche als Schlüsselkomponente für eine nachhaltigere und effizientere Energiezukunft im Quartier Brekendorf betrachtet wird. Angesichts des Bestrebens, bis 2045 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu realisieren, stellt die Modernisierung und Optimierung der Wärmeversorgung eine zentrale Herausforderung dar. Die vorhandene Infrastruktur bietet vielfältige Ansatzpunkte für Verbesserungen, die sowohl den Energieverbrauch senken als auch den Einsatz erneuerbarer Energiequellen fördern sollen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Gebäudesanierung der Wohngebäude, da die vorhandene Baustruktur ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung birgt. Mit Blick auf das Ziel der Bundesregierung einen klimaneutralen Gebäudebestand bis 2045 zu erreichen, muss in Brekendorf der Startschuss für die Sanierung gegeben werden, um eine realistische Chance auf die gesetzten Ziele zu haben.

Darüber hinaus wird eine wirtschaftliche Bewertung und Gegenüberstellung von Maßnahmen und Fördermöglichkeiten aus den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energieversorgung erarbeitet. Die Ergebnisse dienen zur Priorisierung konkreter energetischer Sanierungsmaßnahmen für die jeweiligen Nutzungsarten und deren Versorgung.

2.2 BESTANDSAUFNAHME DER GEMEINDE BREKENDORF

Im Rahmen des Quartierskonzeptes wurde in Zusammenarbeit mit dem Planungsbüro Pro Regione GmbH eine umfassende Bestandsaufnahme durchgeführt. Dies dient dazu, die gegenwärtige Situation in verschiedenen relevanten Bereichen zu erfassen und zu bewerten. Teile der Bestandsaufnahme waren die Analyse der Siedlungsstruktur (siehe Abschnitt 2.3), Erfassung von ortsbildprägender Architektur, die Verkehrssituation bzw. das Mobilitätsverhalten (siehe Abschnitt 4.6.1), örtliche und überörtliche Schutzgebiete sowie die Analyse von ortsbildprägenden Freiräumen und der Wasserwirtschaft.

2.2.1 ORTSBILDPRÄGENDE ARCHITEKTUR

Das Ortsbild von Brekendorf wird von historischen Gebäuden geprägt, die wie das Gebäude der Dorfstraße 63, teilweise im Jahr 1844 erbaut wurden.



Abbildung 2-2: Blick auf das Haus Dorfstraße 63

Das überwiegend verwendete Baumaterial für die Mauern ist der Ziegelstein in gelb-roten Tönen. Die Dacheindeckung besteht aus schwarzen Dachsteinen, roten Dachziegeln, Reet, Faserzement-Platten oder Wellblechen. Gründächer sind im Plangebiet nicht vorhanden. Vor allem neuere oder sanierte Gebäude weisen dunklen, fast schwarzen Ziegelstein oder vom Ziegelstein abweichende Materialien auf, wie z.B. gestrichene Holzverkleidung, verputzte Wände oder Schindeln auf.

2.2.2 VERKEHRSSITUATION UND MOBILITÄT

Im Rahmen des Quartierskonzepts wurden verschiedene Fahrziele identifiziert, die für die Bewohner von Bedeutung sind. Dazu zählen insbesondere Bildungseinrichtungen, religiöse Stätten, medizinische Versorgung und Einkaufsmöglichkeiten. Für die schulische Bildung stehen mehrere Grund- und weiterführende Schulen zur Verfügung.

Dazu gehören die Askfelt Danske Skole in Ascheffel, die Grundschule Hüttener Berge in Ascheffel, die Grundschule Owschlag sowie weiterführende Schulen in Eckernförde und die Geestlandschule in Kropp. Im Bereich der religiösen Stätten gibt es mehrere Kirchengemeinden im Amt Hüttener Berge, darunter die Kirchengemeinden in Bünsdorf, Hütten, Owschlag und Sehestedt. Die medizinische Versorgung wird durch Ärzte in Alt Duvenstedt, Groß Wittensee, Büdelsdorf und Owschlag sichergestellt. Für den täglichen Bedarf stehen Einkaufsmöglichkeiten in Brekendorf und Owschlag zur Verfügung.

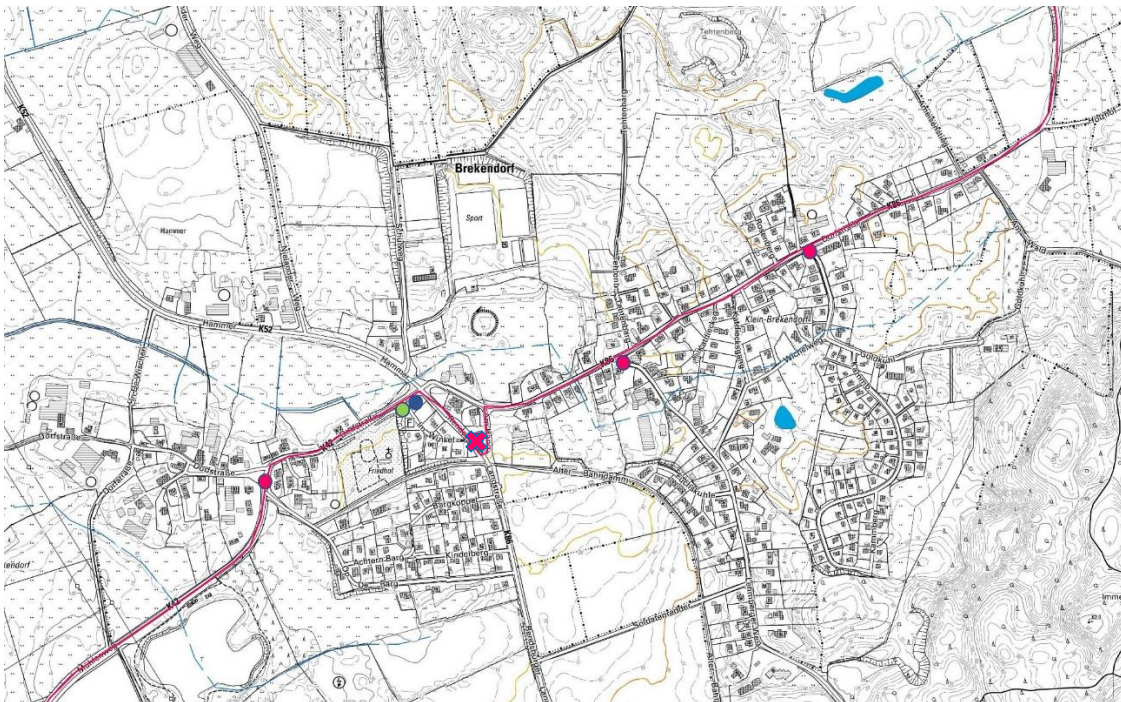


Abbildung 2-3: Lage der Bushaltestellen und des Standortes für Bikesharing sowie Ladepunkte für Elektromobilität

Die pinken Punkte stellen die Haltestelle der Buslinie 725 dar. Die Haltestelle „Am Hang“ (durch das Kreuz gekennzeichnet) bietet eine Verbindung in Richtung Kropp, welche auch zur weiterführenden Schule führt und nach Eckernförde sowie zum Bahnhof. Weitere Haltestellen in Brekendorf sind:

- Op de Barg
- Brekendorf Krögersgang
- Brekendorf Forsthaus

Grün stellt den Standort für das Bikesharing dar, während blau die Ladepunkte kennzeichnet. Zentral gelegen, befindet sich die Ladestation für Elektromobilität auf den Parkplätzen des Tante Enso Marktes sowie eine Station der „SprottenFlotte“ des Bikesharing KielRegion. Außerdem existieren unterschiedliche Rad- und Wanderwege im Naturpark Hüttener Berge sowie lokal um die Ortsanlage Brekendorf herum.

Die Bewegungsschwerpunkte in Brekendorf werden in Abbildung 2-4 dargestellt. Dabei handelt es sich um:

1. Die Bushaltestelle Brekendorf Op de Barg
2. Die Bushaltestelle Brekendorf am Hang
3. Die Kreuzung Dorfstraße – Rendsburger Straße – Hammer



Abbildung 2-4: Darstellung aus der Präsentation von Pro Regione vom 19.03.2024

2.2.3 ÜBERÖRTLICHE UND ÖRTLICHE SCHUTZGEBIETE

Die Schutzgebiete im Gemeindegebiet Brekendorf sind in Abbildung 2-5 dargestellt.

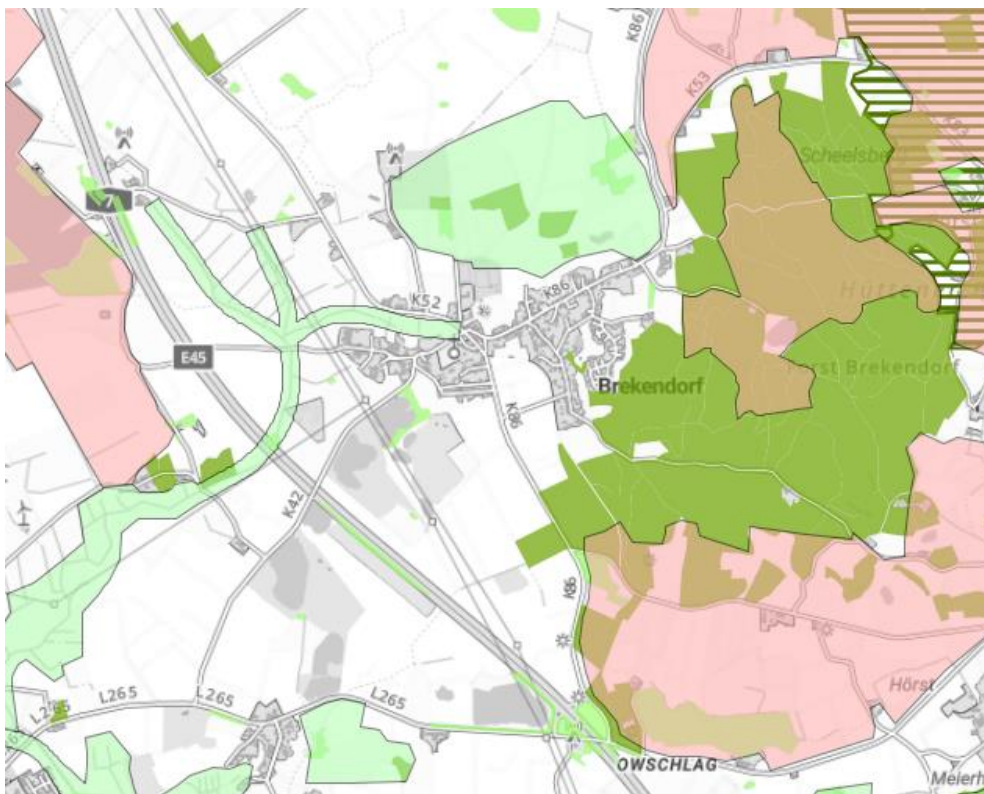


Abbildung 2-5: Lage der Verbundsachsen und der Schwerpunktbereiche des landesweiten Biotopverbundsystems (Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein, 2024)

Eine Verbundsachse [hellgrün markiert] des landesweiten Biotopverbundsystems erstreckt sich nördlich der Ortslage von Brekendorf. Darüber hinaus befinden sich im Bereich des Brekendorfer Forstes verschiedene Schwerpunktbereiche [rot markiert]. Die Wald- und Gehölzflächen [dunkelgrün markiert] dienen als Luftfilter bei der Bildung von Frischluft. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Niederungen dienen der Kaltluftentstehung.

2.2.4 ORTSBILDPRÄGENDE FREIRÄUME

Zwischen der „Dorfstraße“ und dem „Alten Bahndamm“ liegt der Friedhof der Gemeinde Brekendorf. Aufgrund seiner Höhenlage dient der Friedhof nicht als Retentionsraum und ist gekennzeichnet durch einen hohen Wasserbedarf im Sommer. Er kann fußläufig durchquert werden. Stellflächen für Fahrräder und PKW finden sich neben der Freiwilligen Feuerwehr bzw. an der Straße „Alter Bahndamm“.

Der Sportplatz der Gemeinde Brekendorf liegt etwas abseits, nördlich der Ortslage. Er weist einen hohen Wasserbedarf im Sommer auf. Die Fläche ist als Retentionsraum nicht geeignet, da das Betreten ganzjährig erwünscht ist.

Entlang der Dorfstraße stehen zudem ortsbildprägende Linden.

Neben den öffentlichen Grünflächen ist die Gemeinde Brekendorf vor allem durch ihre privaten Grünflächen in den Hausgärten geprägt. Darüber hinaus ist die Ortslage Brekendorf auch durch Grünflächen gekennzeichnet, die als Weiden für Pferde und Kühe dienen.

2.2.5 WASSER

Die Brekendorfer Au verläuft nördlich der Ortslage Brekendorf. Sie wird zu den „sandgeprägte[n] Tieflandbächen“ gezählt. Weitere Gewässer sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.



Abbildung 2-6: Lage der Fließgewässer in der Ortsanlage Brekendorf (DA Nord, 2024)

Das Gewässer G 11 (der DAV-Gewässerlinie) verläuft von der Straße „Am Wald“ längs durch die Ortslage, überwiegend verrohrt, und dann nördlich der Ortslage Brekendorf bis zur Brekendorfer Au als offener Graben. Diese entwässert über die Mühlenau in die Stente, die dann zur Sorge wird. Südlich der Ortslage Brekendorf verläuft zudem das Gewässer G 9.

Der Wasser- und Bodenverband (WBV) Obere Sorge (Verbands-ID: 108) betreut die Fließgewässer in Brekendorf. Brekendorf liegt im Bearbeitungsgebiet / „Gewässer- und Landschaftsverband Mittellauf-Eider“. Die Gemeinde Brekendorf ist in der Karte „Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holstein als „ohne Verband“ dargestellt (Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holstein).

Lage von Retentionsflächen

Entlang des Gewässers G 11 liegen im Talraum Grünflächen, die ggf. geeignet wären, überschüssiges Wasser vorerst zurückzuhalten, um nachfolgende Grabenabschnitte nicht zu überlasten. Dabei wurden Flächen ermittelt, die folgende Merkmale aufweisen:

- Lage am Graben
- Hauptsächlich Grünland
- Keine Gebäude
- Tiefer liegende Bereiche

Die mögliche Retentionsflächen zwischen den Straßen „Dorfstraße“ im Norden, „Goldkuhl“ im Süden und „Wichtelweg“ im Westen liegt auf einer Geländehöhe von rund 29 m Normalhöhen Null (NHN). Ein bestehendes Stillgewässer kann ggf. einbezogen werden.

Nördlich der „Dorfstraße“ und östlich des „Schulweges“ befinden sich weitere Retentionsflächen um das Denkmal (Hügelgrab), die auf einer Geländehöhe von rund 17 m NHN liegen.

Auf einer Niederungsfläche zwischen den Straßen „Hammer“ (im Norden), „Dorfstraße (im Süden) und „In De Wischen“ (im Westen) liegt eine Grünfläche im Anschluss an den Graben, die ebenfalls als Retentionsraum geeignet ist.

2.2.6 KLIMAANPASSUNGSMÄßNAHMEN

Die Klimaanpassungsmaßnahmen zielen darauf ab, die Lebensqualität und Umweltbedingungen im Quartier zu verbessern. Ein zentrales Ziel ist der Schutz vor Überschwemmungen durch ein naturnahes und lokal ausgerichtetes Wassermanagement, das sich auf die Bewältigung von Niederschlagswasser konzentriert. Darüber hinaus sollen Maßnahmen ergriffen werden, um Überhitzung zu verhindern und die Luftqualität zu sichern. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Erhalt und die Verbesserung der Artenvielfalt, um ein gesundes und vielfältiges Ökosystem zu fördern. Zudem wird großer Wert daraufgelegt, Naturerlebnisse und Naturerfahrungen für Kinder und Erwachsene zu ermöglichen und zu fördern. Allgemeine Maßnahmen sind z.B:

- Einrichtung entsiegelter, stark begrünter Straßen und Plätze
- Planung von Dach- und fassadenbegrünter Gebäude
- Anlage von Frischluftkorridoren (offene baumfreie Flächen)
- Anlage von baumüberstandenen und somit schattigen Freiflächen
- Nutzung klimaangepasster (Baum-) Arten
- Nutzung vorhandener, lokaler bis regionaler Materialien
- Entwicklung „naturbasierte Lösungen“ für die Gestaltung des Freiraumes
- Erhalt von Bach- und Flussauen als Grün- und Retentionsraum
- Entwicklung artenreicher Lebensräume

In Brekendorf können die folgenden möglichen Maßnahmen umgesetzt werden:

- Erhalt und Pflege der straßenbegleitenden Bäume
- Einplanung von Gehölzen mit ausreichend großen Baumscheiben bei der Neuanlage von Baugebieten
- Bei künftigen Planungen Berücksichtigung von Gehölzen, die mit Wetterextremen wie z. B. mit zunehmender Trockenheit, Starkregenereignissen, Hitzewellen, Wind etc. zurechtkommen
Beispiele:
 - *Acer campestre* ‚Elsrijk‘ (Feld-Ahorn)
 - *Amelanchier arborea* ‚Robin Hill‘ (Felsenbirne)
 - *Corylus colurna* (Baum-Hasel)
 - *Ostrya carpinifolia* (Hopfenbuche)
- Entsiegelung von Flächen
- Extensivierung von Flächen
- Begrünung der Unterstände der Bushaltestellen
- Nutzung lokalen Materials (Ziegel und Holz)
- Anlage von artenreichen Beständen (selten gemähte Wiesen statt kurz gemähter Rasenflächen, blühende Hecken anstatt immergrüner, fremdländischer Gehölze)
- Öffnung verrohrter Grabenabschnitte einschließlich einer naturnahen Ausformung des Gewässers

Folgende Referenzflächen werden dabei aufgeführt:

1. Dorfstraße

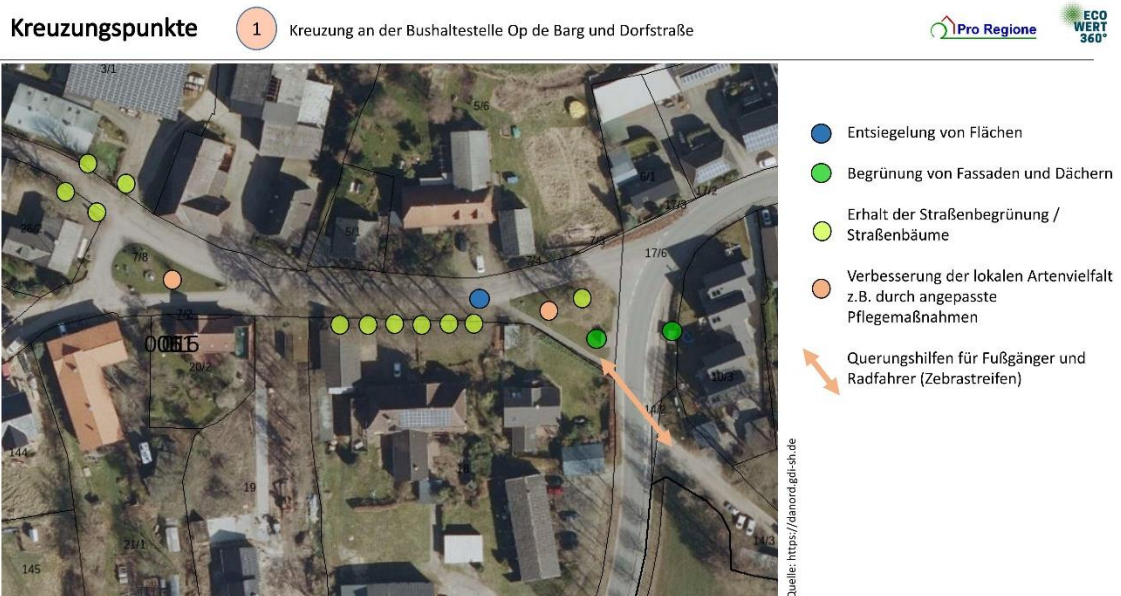


Abbildung 2-7: Maßnahmen für die Dorfstraße



Abbildung 2-8: Blick in die Dorfstraße auf der Höhe der Hausnummer 81

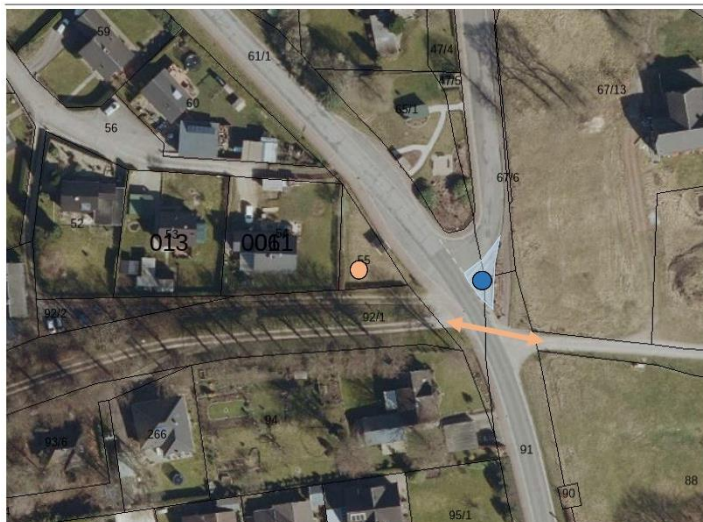
2. Kreuzungspunkt Straße „Am Hang“ / „Rendsburger Landstraße“

Kreuzungspunkte

2 Bushaltestelle Am Hang

Pro Region

ECO
WERT
360°



Quelle: <https://danord.gdi-sh.de>

- Entsiegelung von Flächen
- Begrünung von Fassaden und Dächern
- Erhalt der Straßenbegrünung / Straßenbäume
- Verbesserung der lokalen Artenvielfalt z.B. durch angepasste Pflegemaßnahmen
- ➔ Querungshilfen für Fußgänger und Radfahrer (Zebrastreifen)

Abbildung 2-9: Maßnahmen für den Kreuzungspunkt Straße "Am Hang" / "Rendsburger Landstraße"

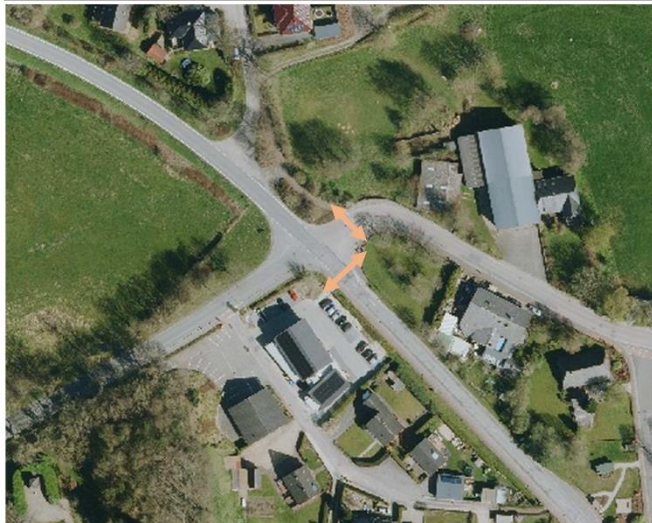


Abbildung 2-10: Blick von der Straße "Am Hang" in Richtung "Rendsburger Landstraße" auf eine mögliche Entsiegelungsfläche

3. Kreuzungspunkt Dorfstraße – Rendsburger Straße – Hammer

Kreuzungspunkte

3 Schulweg, Hammer, Dorfstraße



Quelle: GeoBasis-DE/VermGeo SH/CC BY 4.0

- Entsiegelung von Flächen
- Begrünung von Fassaden und Dächern
- Erhalt der Straßenbegrünung / Straßenbäume
- Verbesserung der lokalen Artenvielfalt z.B. durch angepasste Pflegemaßnahmen
- ➡ Querungshilfen für Fußgänger und Radfahrer (Zebrastreifen / Ampel)

Abbildung 2-11: Maßnahmen für den Kreuzungspunkt Dorfstraße – Rendsburger Straße – Hammer



Abbildung 2-12: Fußweg in Richtung der temporären Ampelanlage an der Rendsburger Landstraße

Es besteht der Wunsch der Gemeinde Brekendorf, an der in der Abbildung 2-12 gezeigten Stelle, eine fest installierte Ampelanlage bzw. eine Querungshilfe für Fußgänger zu errichten.

2.3 VORHANDENE STADTENTWICKLUNGS- UND WOHNWIRTSCHAFTLICHE KONZEPTE

Folgende kommunale Satzungen und Konzepte liegen der Planungsgruppe für das Quartier Brekendorf vor:

- Flächennutzungsplan
- Bebauungspläne

2.3.1 FLÄCHENNUTZUNGSPLAN

Der Flächennutzungsplan von Brekendorf wird in Abbildung 2-13 dargestellt und zeigt eine detaillierte Aufteilung der Flächen im Ortskern die hauptsächlich für Wohnbau, gemischte Nutzungen, gewerbliche Zwecke und spezielle Sondernutzungen vorgesehen sind.

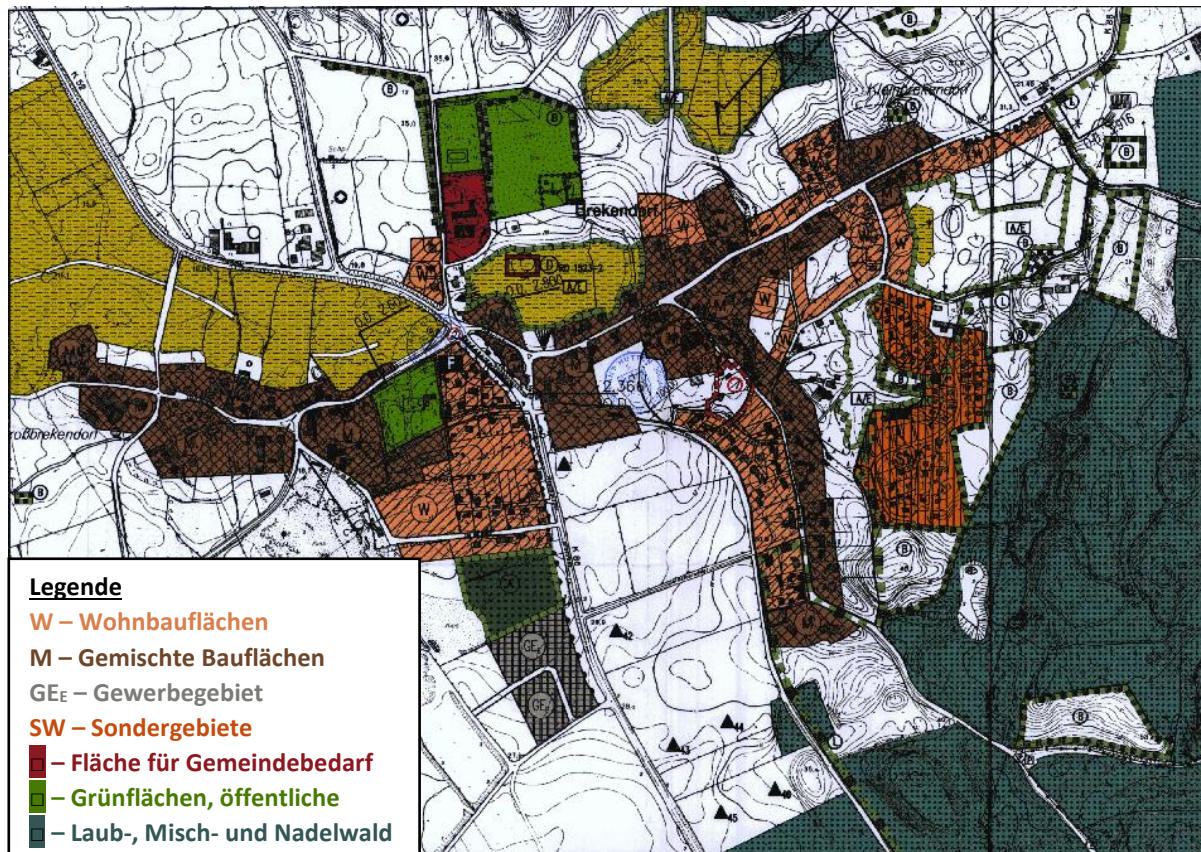


Abbildung 2-13: Flächennutzungsplan der Gemeinde Brekendorf (DA Nord, 2024)

Der Großteil des Ortskerns wird definiert durch Flächen, die als Wohn- oder Mischgebiete ausgewiesen werden. Wohnflächen (W) sind ausschließlich für den Bau von Wohnhäusern bestimmt und repräsentieren das Herzstück der dörflichen Gemeinschaft. Mischgebiete (M) sind für eine Kombination von Wohnen und anderen Nutzungen wie Kleingewerbe oder Dienstleistungen vorgesehen. Im Ortskern sind auch Gewerbeflächen (GE) vorhanden, die für reine gewerbliche Nutzungen bestimmt sind. Diese Flächen sind strategisch platziert, sodass sie gut zugänglich sind, jedoch die Wohnbereiche nicht beeinträchtigen. Sonderflächen (S) sind für besondere Nutzungen reserviert, die nicht in die Kategorien der Wohn-, Misch- oder Gewerbeflächen fallen. In Brekendorf ist im Osten des Ortskerns eine Sonderfläche ausgewiesen, die für Wochenendhäuser ausgewiesen ist.

Der Flächennutzungsplan (FNP) der Gemeinde Brekendorf wurde mehrfach geändert. Innerhalb des Quartiers liegen folgende Änderungen: 1. Änd. FNP im Bereich nordöstlich Dorfstraße sowie zwischen Lehmberger Weg und Fuchskuhle; 2. Änd. FNP im Bereich Kammberg sowie die 7. Änd. FNP mit ihrer Lage östlich der Straße „Im Winkel“. Die Änderungen des FNP mit der Nummer 3, 4 und 5 liegen außerhalb des Quartiers im Bereich des Kiesabbaus südwestlich der Ortslage. Alle Änderungen sind in Abbildung 2-14 dargestellt.

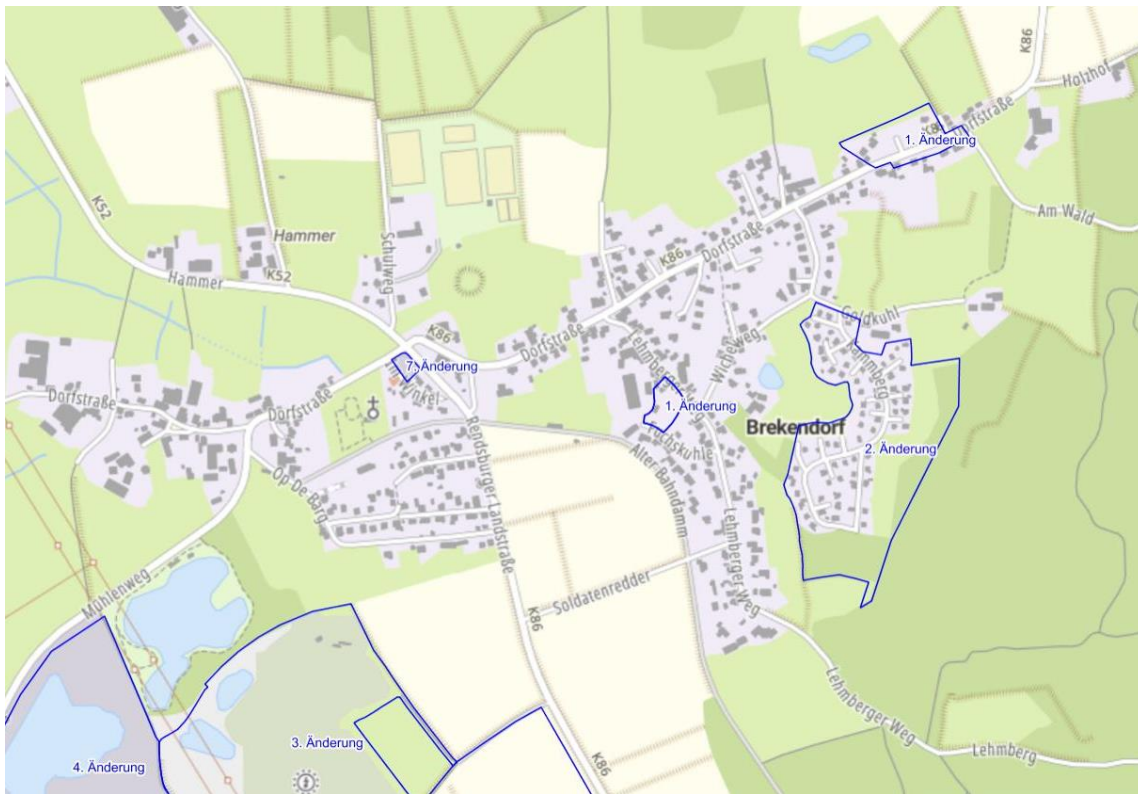


Abbildung 2-14: Lage der Änderungen des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Brekendorf

Neben den Aussagen zur Nutzung der Flächen gibt der FNP als vorbereitende Bauleitplanung auch Hinweise für Maßnahmen zum Klimaschutz, wie z.B.: „Umgrenzung von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft“; „Sonstiges Feuchtgrünland/Überschwemmungswiesen“; „Flächen für Wald“, „Eignungsflächen für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen“ sowie „Ausgewiesene Flächen für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen“.

- Satzung der Gemeinde Brekendorf über den Bebauungsplan Nr. 7. Festgesetzte bauliche Nutzung: Allgemeines Wohngebiet, Verkehrsflächen, Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft (Das Anbringen von Solaranlagen ist möglich. Pflanzung kleinkroniger Laubbäume, Versickerung des anfallenden Niederschlagswassers auf den Grundstücken, 3,00 m Knickabstand)
- Satzung der Gemeinde Brekendorf über den Bebauungsplan Nr. 9 – Eckgrundstück Dorfstraße K 42 / Im Winkel (2020). Festgesetzte bauliche Nutzung: Sonstiges Sondergebiet „Markttreff“, Straßenverkehrsfläche, vorhandener, zu erhaltener Baum sowie zu pflanzender Baum.
- Satzung der Gemeinde Brekendorf über den Bebauungsplan Nr. 10 – für das Gebiet südlich der Straße „Alter Bahndamm“, zwischen den Straßen „Op de Barg“ und „Bargkoppel“ (2020). Festgesetzte bauliche Nutzung: Allgemeines Wohngebiet, Straßenverkehrsfläche, Grünfläche, privat, Schutzgrün, vorhandener, zu erhaltender Baum. (Begrünte Dächer sind auf einem Teil der Grundstücke möglich. Stellplätze und Zufahrten sind aus fugenreichem Material herzustellen (z.B. Schotterrasen, Betongrassteine, Pflaster). Solaranlagen auf Dachflächen sind zulässig.
- Satzung der Gemeinde Brekendorf über den Bebauungsplan Nr. 11 – Gebiet nördlich der Dorfstraße und südwestlich des Ameisenstieges (2021). Festgesetzte bauliche Nutzung: Allgemeines Wohngebiet, private Grünflächen, Anpflanzung Knick, Erhaltung Knick Erhaltung von Bäumen. (Stellplätze und Zufahrten sind aus fugenreichem Material herzustellen (z.B. Schotterrasen, Betongrassteine, Pflaster). Das auf den Grundstücken anfallende Niederschlagswasser ist durch geeignete Vorkehrungen (Versickerungsmulden, -gräben, -schächte) auf den Baugrundstücken zu versickern. Für die Bepflanzung dürfen nur heimische, bodenständige Laubgehölze verwendet werden. Das Anbringen von Solaranlagen ist zulässig.

2.4 METHODIK UND VORGEHENSWEISE

Die Methodik folgt einem Regelkreislauf der veränderlichen Größen, wie politische Rahmenbedingungen, technologische und sozioökonomische Entwicklungen. Diese Parameter beeinflussen jedoch „nur“ den Weg und die zeitliche Abfolge von Maßnahmen jedoch nicht das Ziel der Umstellung auf erneuerbare Energieträger und Lokalisierung.

- Aufnahme von Daten und Informationen (Netzbetreiber, Schornsteinfeger, Gemeinde, etc.)
- Validierung der Daten untereinander
- Analyse der Daten in allen Sektoren und Dokumentation des Ist-Zustandes
- Erläuterung der Ergebnisse mit der Lenkungsgruppe und den Bürger_innen
- Erarbeitung der Sanierungsmaßnahmen am Gebäudebestand
- Neubewertung der Verbräuche nach Sanierung
- Formulierung von Maßnahmen
- Verfassen des Endberichtes und dessen Vorstellung

Neben den rein technischen und wirtschaftlichen Aspekten gehen auch weitere Faktoren, wie zum Beispiel Bevölkerungsentwicklung, Trends, Verhaltensmuster sowie die Wünsche der Bürger_innen in die Analyse und Prognose für eine optimale Lösung ein.

Um all diese Aspekte tatsächlich für eine Lösung berücksichtigen zu können greifen wir auf Algorithmen basierende Softwarewerkzeuge zurück. Durch eine enge Zusammenarbeit mit den Entwicklern werden neue Einflussfaktoren wie zum Beispiel Technologieentwicklung und preisliche Veränderungen in der Zukunft stets in die Berechnung aufgenommen. Damit können wir die komplexe technoökonomische Optimierungsaufgabe für jeden Fall individuell berechnen. Die Ergebnisse sind eine Investitionsempfehlung in Erzeugungs-, Speicherungs- und Verteil-Infrastruktur sowie ein konkreter Fahrplan zur Umsetzung.

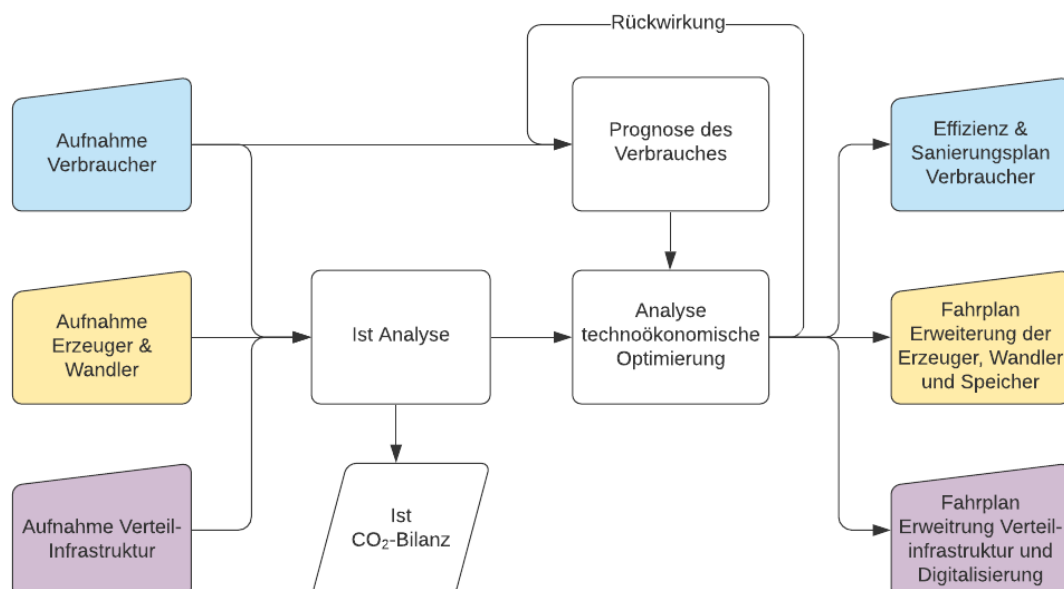


Abbildung 2-16: Prozess technoökonomische Quartiersanalyse zur emissionsfreien Versorgung, eigene Darstellung

Der technische Prozess wird begleitet von einem Kommunikations- und Informationsprozess zur Einbindung und Motivation der Bürger_innen, wie im Folgenden beschrieben.

2.5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND BETEILIGUNGSPROZESS

Als Auftaktveranstaltung mit der Öffentlichkeit wurde am 18.01.2024 ein Informationsabend in der Gaststätte Waldhütte veranstaltet. Hier wurde den Bewohner_innen das Quartierskonzept nähergebracht und allgemein über das Konzept informiert. Auch erste Ergebnisse der Studie wurden präsentiert. Das für die Teilnehmenden wichtigste Thema stellte ein mögliches Wärmenetz und die Frage nach einem konkreten Zeitplan für die Umsetzung, sowie Kosten für einen Anschluss an ein solches Netz dar. Das Planungsteam, ebenso wie die Vertreter_innen der Gemeinde mussten an dieser Stelle etwas bremsen und für eine realistische Erwartungshaltung werben. Insgesamt war das Feedback dieser Veranstaltung positiv, mit einem Hinweis auf einen teilweise zu hohen Detaillierungsgrad für die Auftaktveranstaltung.

Eine weitere öffentliche Veranstaltung fand am 24.06.2024 in Form eines Workshops statt. Hier konnten die Anwohner_innen ihre Fragen, Anregungen und Bedenken zum Konzept und allen die Thematik betreffenden Bereichen einbringen. Es fand ein direkter Austausch zwischen dem Planungsteam, der Lenkungsgruppe und den Anwohner_innen statt. Dazu wurden alle Anwesenden in vier Gruppen aufgeteilt, die sich auf vier Informationsstände verteilten. Es konnte in den Austausch zu den Themen „Heizungsaustausch & energetische Gebäudesanierung“, „Fördermöglichkeiten“, „Wärmeversorgung“ und „Rund um die Studie“ gegangen werden. Durch die Rotation der Gruppen im Uhrzeigersinn, erhielt jede Person Input von jedem Stand und bekam die Möglichkeit, Fragen zu jedem Thema zu stellen. Die folgenden Abbildungen zeigen Aufnahmen des Workshops.



Abbildung 2-17: Workshop vom 24.06.2024 - Station „Wärmeversorgung“



Abbildung 2-18: Workshop vom 24.06.2024 – Station „Fördermöglichkeiten“ & „Heizungstausch & Gebäudesanierung“

Bei der Abschlussveranstaltung zum Quartierskonzept am 25.09.2024 wurden die Ergebnisse durch das Planungsbüro vorgestellt. Die anwesenden Mitglieder der Gemeindevertretung sowie die Öffentlichkeit wurden so über den Stand der Arbeiten und die geplanten Maßnahmen informiert. Dabei wurden die wichtigsten Ergebnisse des Quartierskonzeptes vorgestellt, darunter Einsparpotenziale im Energiebereich, mögliche Sanierungsmaßnahmen sowie die Optionen für eine zentrale Wärmeversorgung. Die Anwesenden hatten die Möglichkeit, Fragen zu stellen und sich über die nächsten Schritte im Umsetzungsprozess zu informieren.

Tabelle 2-1: Öffentlichkeitsveranstaltungen – Termine

	Veranstaltung	Datum
1.	Kick-Off	12.10.2023
2.	Informations-Abend	18.01.2024
3.	Workshop	24.06.2024
4.	Abschlussveranstaltung	25.09.2024

Umfrage

Während der Erstellung des Quartierskonzepts fand eine Umfrage statt. Ziel war die Erfassung des energetischen Ist-Zustandes. Ein wichtiger Kernpunkt war die Meinungsabfrage und das Interesse an einem Fernwärmenetz in Brekendorf. Außerdem sollten Gebäudedaten, sowie Varianten der Heizungssysteme und Wärmeverbrauch abgefragt werden. Die Umfrage erfolgte im gesamten Quartier und wurde über Flyer durchgeführt, die an die Bewohner ausgeteilt wurden. Der Rücklauf ergab eine Beteiligung von ca. 20 %.

Landingpage

Auf einer eigens für Brekendorf eingerichteten Landingpage konnten sich die Bewohnenden des Quartiers über das Konzept informieren. Die Nutzenden hatten dabei die Möglichkeit, sich mithilfe des Downloadbereichs Präsentationen zu den Veranstaltungen des Quartierskonzept sowie den Fragebogen herunterzuladen.

3 ENERGETISCHE AUSGANGSSITUATION IM QUARTIER

Im folgenden Kapitel wird die energetische Ausgangssituation des Quartiers dargestellt. Dazu wurden verschiedene Faktoren wie Gebäudebestand, vorhandene Heizsysteme sowie Endenergieverbrauch und -erzeugung herangezogen und eine Energie- und CO₂-Bilanz erstellt. Darüber hinaus wird die Vorgehensweise bei der Auswertung der Daten dargestellt.

3.1 DATENQUELLEN UND DATENGÜTE

Zur Beurteilung der erhobenen Daten und zur Sicherung der Transparenz für spätere, externe Bearbeitungen wurde die Datengüte der erhobenen Energieverbrauchsdaten errechnet. Diese Vorgehensweise greift die Empfehlungen für die gute fachliche Praxis für kommunale Energiebilanzen des Institutes für Energie- und Umweltforschung (ifeu) auf. Dabei werden vier Güteklassen (A – D) unterschieden. Die Güteklassen sind wiederum mit Gewichtungsfaktoren belegt, welche gemeinsam mit dem Anteil am Gesamtenergieverbrauch eine Beurteilung der Aussagekraft der erhobenen Daten zulassen. In Brekendorf wurde auf Grundlage der Güteklasse A und B gearbeitet. Regionale Kenndaten sind unter anderem in die Validierung von Hochrechnungen eingeflossen. Zur Datenerhebung wurde auch mit einer Fragebogenaktion gearbeitet.

In Tabelle 3-1 ist die Datengüte der jeweiligen Datenquelle für die Endenergieverbrauchsdaten für kommunale Energiebilanzen und die damit einhergehenden Gewichtungsfaktoren dargestellt. Die Gewichtungsfaktoren sind der Multiplikator in der Errechnung der Gesamtdatengüte. Der Gewichtungsfaktor wird mit dem prozentualen Anteil, welcher die erhobenen Daten an der Gesamtbilanz innehat, multipliziert.

Tabelle 3-1: Die Datengüte und ihre Gewichtungsfaktoren

Datenquelle	Datengüte	Gewichtungsfaktor
Regionale Primärdaten	A	1,00
Hochrechnung regionaler Primärdaten	B	0,50
Regionale Kennwerte und Statistiken	C	0,25

Tabelle 3-2 zeigt die Bewertung der errechneten Datengüte. Diese wurde vom ifeu festgelegt, um eine Vergleichbarkeit der Qualität von Bilanzen in Quartierskonzepten zu erhalten. Eine Datengüte von 65 % und mehr stellt eine belastbare Bilanz dar.

Tabelle 3-2: Datengüte des Endergebnisses für kommunale Energiebilanzen nach ifeu-Empfehlung (ifeu, 2014)

Prozent	Datengüte des Endergebnisses
> 80 %	Gut belastbar
> 65 % – 80 %	Belastbar
> 50 % – 65 %	Relativ belastbar
bis 50 %	Bedingt belastbar

Die berechnete Datengüte für den erfassten Endenergieverbrauch im Quartier Brekendorf beträgt 62,6 %. Die Berechnung der Datenqualität kann in Tabelle 3-3 nachvollzogen werden. Aus Tabelle 3-3 und der Auswertung in Tabelle 3-2 geht hervor, dass die erstellte Energiebilanz relativ belastbar ist. Der Grund hierfür liegt in der Energiemenge des Kraftstoffverbrauchs, der einen großen Anteil am Gesamtenergiebedarf des Quartiers ausmacht, wobei dessen Erfassungsgenauigkeit nur eine eingeschränkte Datengüte aufweist. Da der zentrale Fokus jedoch auf den Sektoren Wärme und Strom liegt und diese eine belastbare Datenqualität aufweisen, kann dennoch ein aussagekräftiger Einblick in die Energieeffizienz und den Energieverbrauch im Quartier Brekendorf gegeben werden. Die Energiebilanz weist somit trotz einer Datenqualität von 62,6 % eine ausreichende Verlässlichkeit für Analysen und Planungen hinsichtlich Energieeinsparungen und Optimierungsmaßnahmen auf.

Tabelle 3-3: Datengüte des erfassten Endenergieverbrauchs, eigene Darstellung nach (ifeu, 2014)

Daten	Quelle	Datengüte	Wertung Datengüte	Anteil am Endenergieverbrauch	Datengüte anteilig (Wertung x Anteil)
Stromverbrauch	Hochrechnung regionaler Primärdaten	B	0,5	7,9%	3,9%
Stromverbrauch zu Heizzwecken	SH-Netz	A	1	0,8%	0,8%
Erdgasverbrauch	SH-Netz	A	1	24,4%	24,4%
Heizölverbrauch	Schornsteinfeger / Hochrechnung	B	0,5	24,3%	12,2%
Biomasseverbrauch	Schornsteinfeger / Hochrechnung	B	0,5	3,1%	1,6%
Kraftstoff	KBA / Hochrechnung	B	0,5	39,4%	19,7%
Gesamt				100%	62,6%

3.2 BESTANDSAUFNAHME: GEBÄUDEBESTAND

Der Gebäudebestand ist durch eine für den ländlichen Raum Schleswig-Holsteins typische Bebauung geprägt. Eine Betrachtung des Gebäudebestandes nach Baualtersklassen zeigt, dass Brekendorf hinsichtlich des Gebäudealters ein Ortsteil mittleren Alters ist. 20,1 % der Gebäude wurden bis 1970 errichtet. Mit 52,48 % wurde ein Großteil der Gebäude zwischen 1970 und 1990 errichtet, und 27,42 % der Gebäude nach 1990 errichtet wurden. Insgesamt gibt es im Quartier 383 beheizte Gebäude.

Tabelle 3-4: Gebäudebestand im Quartier Brekendorf nach Baualtersklassen

	Bis 1950	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2015	>2015
Anzahl	38	19	20	54	147	74	31
Anteil [%]	9,9	5,0	5,2	14,1	38,4	19,3	8,1

Im Vergleich zum Gebäudebestand in Brekendorf weist der statistische Gebäudebestand des Kreises Rendsburg-Eckernförde einen höheren Anteil an älteren Baualtersklassen nach der Gebäudetypologie Schleswig-Holstein auf (vgl. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Gebäudebestand im Kreis Rendsburg-Eckernförde (Gebäudetypologie-SH, 2012)

	Bis 1950	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2015	>2015
Anteil [%]	28,6	10,1	15,3	14,6	17,0	14,4	k.A.

3.2.1 WOHNGEBÄUDE

Im Quartier Brekendorf befinden sich 370 Wohnhäuser. Dies entspricht ca. 97 % des beheizten Gebäudebestands. Das Verbrauchsniveau der Wohngebäude in Brekendorf liegt mit 147 kWh/(m²a) über dem in der Studie *Energieeffizienz in Zahlen – Entwicklung und Trends in Deutschland 2021* des BMWi angegebenen deutschen Durchschnittswert von 129 kWh/(m²a). Die Differenz beträgt 18 kWh/(m²a) und damit ca. 14 %.

Tabelle 3-6: Spezifischer Wärmedarf - Vergleich GIS-Daten Auswertung vs. Deutscher Mittelwert (BMWi, 2021)

Datenquelle	Verbrauch [kWh/m²a]
Mittlerer spezifischer Wärmebedarf private Haushalte in DE	129
Durchschnittswert Brekendorf	147

3.2.2 ÖFFENTLICHE LIEGENSCHAFTEN

Im Quartier Brekendorf befinden sich mehrere öffentliche Liegenschaften, wie die Kirche, die Feuerwehr, der Kindergarten und der Markttreff. Im Rahmen des Quartierskonzepts wurde in Absprache mit der Lenkungsgruppe die Grundschule hinsichtlich ihres Sanierungszustandes näher betrachtet (vgl. Abschnitt 4.3.3).

3.2.3 GEWERBE, HANDEL, DIENSTLEISTUNGEN (GHD-SEKTOR)

Im Ortskern von Brekendorf befinden sich einige Gewerbebetriebe wie Hotels und Gaststätten sowie land- und forstwirtschaftliche Betriebsgebäude.

3.3 BESTANDSAUFNAHME: HEIZUNGSBESTAND

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts wurden 85 % der Gebäude in Quartier primär auf Basis der fossilen Energieträger Öl und Gas beheizt (vgl. Tabelle 3-7). Aus den Daten des Schornsteinfegers und den Angaben der SH-Netz über die Anzahl strombetriebener Primärheizungen ergeben sich die in Tabelle 3-7 dargestellten Werte für die Anzahl der Feuerungsanlagen der primären Heizungsarten. Es zeigt sich, dass 217 der primären Heizungsanlagen im Quartier Brekendorf mit Gas und 88 mit Öl betrieben werden. Differenzen zwischen der Anzahl der Heizungsanlagen und der Anzahl der Adressen ergeben sich durch die Versorgung mehrerer Adressen über eine gemeinsame Heizungsanlage.

Tabelle 3-7: Heizungsbestand Quartier

Heizungsart	Anlagenanzahl	Prozentualer Anteil Primärheizungen [%]
Öl	88	25
Gas	217	61
Holz	15	4
Strom	37	10
Gesamt	357	100

3.4 BESTANDSAUFNAHME: ENDENERGIEBEDARF

Grundlage für die Simulation und Optimierung des Quartiers als einheitliches Energiekonzept sind die ermittelten Daten aus der Bestandsaufnahme für die Wohngebäude, die öffentlichen Liegenschaften sowie für den Sektor GHD. Im folgenden Kapitel wird die Generierung der Wärme- und Stromlastgänge des Quartiers Brekendorf sowie die Ermittlung des Endenergiebedarfs des Mobilitätssektors erläutert.

3.4.1 WÄRME

Grundlage für das Quartierslastprofil Wärme bildet die ermittelte Wärmemenge, die jährlich in der gesamten Kerngemeinde benötigt wird. Diese setzt sich aus den unterschiedlichen Liegenschaften Wohngebäude, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie öffentliche Gebäude zusammen und beträgt in Summe ca. 8.653 MWh/a.

Tabelle 3-8: Wärmebedarf nach Liegenschaften

Liegenschaft	Anzahl	Nutzwärmebedarf [MWh/a]	Lastprofil
Wohngebäude	370	8.392	EFH/MFH
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	10	212	GHD
Öffentliche Gebäude	3	49	GKO
Summe	383	8.653	

Über die Standardlastprofile des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) wird aus der Wärmemenge ein stündlich aufgelöster Lastgang erzeugt (BDEW, 2016). Bei diesem Verfahren wird die jeweilige Umgebungstemperatur, die Temperaturen der vergangenen Tage sowie der Feiertage berücksichtigt. Darüber hinaus kann jeder Liegenschaft ein charakteristisches Lastprofil zugeordnet werden, welches das entsprechende Nutzerverhalten abbildet:

- EFH/MFH: Einfamilienhaus / Mehrfamilienhaus
- GHD: Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- GKO: Gebietskörperschaften, Kreditinstitute und Versicherungen sowie Organisationen ohne Erwerbszweck, öffentliche Einrichtungen

Die Zuordnung der Lastprofile zu den entsprechenden Liegenschaften erfolgt auf Grundlage einer Empfehlung des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW, 2006) und ist zusammen mit der dazugehörigen Wärmemenge in Tabelle 3-8 aufgeführt. Es ergibt sich der in Abbildung 3-1 dargestellte Wärmelastgang für das Quartier. Das Quartierslastprofil Wärme stellt den Status Quo dar und beinhaltet keine Wärmeverluste einer möglichen Nahwärmeversorgung. Abbildung 3-1 zeigt darüber hinaus, dass das Quartier eine Spitzenlast im Winter von ca. 3.000 kW hat.

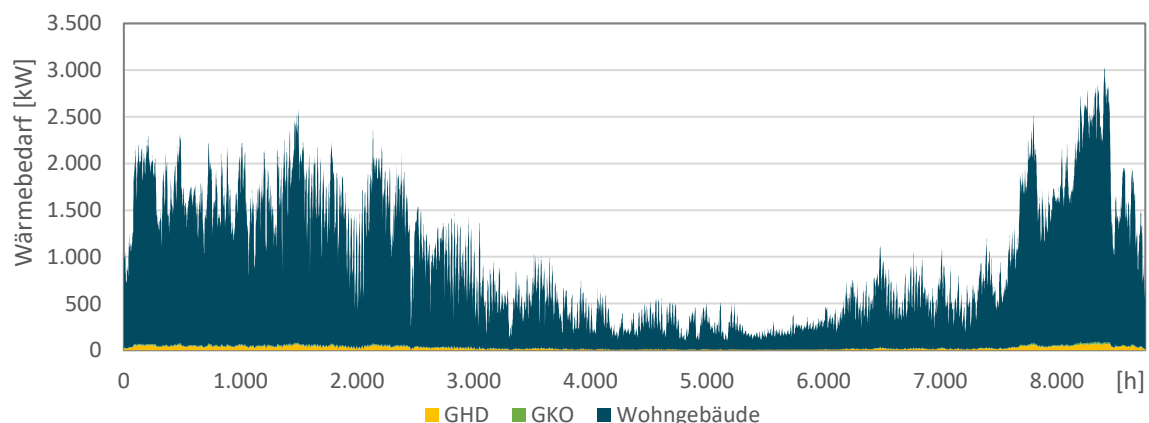


Abbildung 3-1: Wärmelastgang Quartier Brekendorf

3.4.2 STROM

Analog zum Quartierslastprofil Wärme wird das Stromlastprofil aus der ermittelten Strommenge und den Standardlastprofilen Strom der VDEW (VDEW, 1999) erstellt. Der Strombedarf in Brekendorf wurde mit ca. 1.397 MWh/a aus Hochrechnungen ermittelt, da Daten zum Stromverbrauch aus Datenschutzgründen nicht zugänglich sind. Es wurde eine Aufteilung des Strombedarfs der verschiedenen Liegenschaften in die Kategorien „öffentliche Gebäude“ und „Wohngebäude“ vorgenommen und durch den Strombedarf für Heizzwecke (mit Brauchwasserbereitung) ergänzt. Der berechnete Stromlastgang ist in Abbildung 3-2 dargestellt. Die ermittelte maximale Leistung beträgt ca. 306 kW, die minimale Leistung ca. 57 kW.

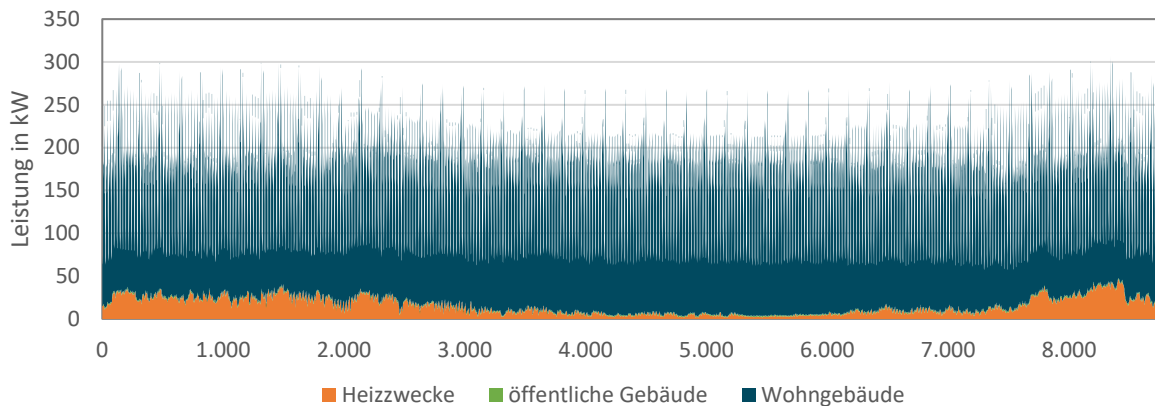


Abbildung 3-2: Stromlastgang Brekendorf

3.4.3 MOBILITÄT

Nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) gibt es zum 01. Januar 2024 759 zugelassene Personenkraftwagen in der Gemeinde Brekendorf. Darüber hinaus werden 105 Krafträder und 53 Lastkraftwagen gelistet. In der Land- und Forstwirtschaft werden zusätzlich 90 Zugmaschinen aufgeführt (Kraftfahrt-Bundesamt, 2024).

Bei den PKW handelt es sich fast ausschließlich um Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Für den Landkreis Rendsburg-Eckernförde wird vom KBA angegeben, dass der Anteil der rein batterieelektrischen Fahrzeuge bei 3,3 % liegt – bei Hybridfahrzeugen (inkl. Plug-in-Hybrid) sind es 4,2 % (Kraftfahrt-Bundesamt, 2024). Um die entsprechende Anzahl für den Ortsteil Brekendorf zu ermitteln, wurde die Fahrzeugverteilung anhand der Anzahl der Wohngebäude in der Gemeinde und innerhalb der Quartiersgrenzen skaliert. Laut Statistischen Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein ist die Anzahl der Wohngebäude in dem Gemeindegebiet 433 (Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2022), während innerhalb der Quartiersgrenzen 370 liegen. Aus diesem Verhältnis ergibt sich folgende Fahrzeugverteilung für die Anzahl von Personenkraftwagen:

Tabelle 3-9: Personenkraftwagen der Gemeinde und des Ortskerns Brekendorf nach Brennstofftyp

Fahrzeugtyp	Anteil [%]	Gemeinde	Ortskern
Benzin	55,9	424	363
Diesel	36,0	273	233
Hybrid	4,2	32	27
Elektrisch	3,3	24	21
Sonstige (u.a. Gas)	0,6	5	4
Summe	100	758	648

Der spezifische Energieverbrauch für Benzinfahrzeuge liegt bei ca. 7,7 Liter pro 100 Kilometer, für Dieselfahrzeuge bei ca. 7,0 Liter pro 100 Kilometer (Statista, 2022). Bei Hybridfahrzeugen liegt der Verbrauch bei ca. 4 Liter und 16 kWh pro 100 Kilometer und bei Elektrofahrzeugen bei ca. 18 kWh pro 100 Kilometer. Es wird angenommen, dass Hybridfahrzeuge ca. 50 % ihrer Fahrleistung elektrisch erbringen. Zudem ist die Diskrepanz zwischen offiziellen Angaben und realen Erfahrungswerten bei Plug-in-Hybridfahrzeugen deutlich größer als bei Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor, weshalb ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von 4 Litern angenommen wurde (Fraunhofer ISI, 2022). Fahrzeuge, die in die Kategorie „Sonstige“ fallen, werden beispielsweise mit Erdgas betrieben. Am weitesten verbreitet ist das so genannte CNG (Compressed Natural Gas). Im Durchschnitt verbrauchen CNG-betriebene Pkw ca. 4,3 kg Gas pro 100 km, was einem Energieverbrauch von ca. 56 kWh entspricht. Eine übersichtliche Darstellung der spezifischen Verbräuche, die der Berechnung zugrunde liegen, zeigt Tabelle 3-10. Für die spätere Berechnung des Energieverbrauchs wurden die Angaben für Benzin und Diesel mit entsprechenden Heizwerten in kWh umgerechnet. Für Benzin wurde ein Heizwert von 9,02 kWh/l und für Diesel von 9,96 kWh/l verwendet (BAFA, 2021).

Tabelle 3-10: Spezifische Energieverbräuche von Personenkraftwagen nach Brennstofftyp

Fahrzeugtyp	Verbrauch [l/100km]	Verbrauch [kWh/100km]	Kombiniert [kWh/100km]
Benzin	7,7	-	69,5
Diesel	7,0	-	69,7
Hybrid	4,0	16	52,1
Elektrisch	-	18	18,0
Sonstige (u.a. Gas)	-	56	56,0

Ausgehend von einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung von 14.310 km/a pro Fahrzeug (vgl. Abschnitt 5.2.4), der Anzahl der Fahrzeuge im Ortskern aus Tabelle 3-9 und den durchschnittlichen Verbräuchen pro 100 km aus Tabelle 3-10 ergeben sich für Brekendorf die in Tabelle 3-11 dargestellte jährliche Gesamtfahrleistung und der daraus resultierende Energiebedarf des Sektors Mobilität. Insgesamt entfällt auf den Betrieb von Personenkraftfahrzeugen ein Energiebedarf von 6.316 MWh/a.

Tabelle 3-11: Jährliche Gesamtfahrleistung und jährlicher Energieverbrauch

Fahrzeugtyp	Laufleistung [km/a]	Verbrauch kombiniert [MWh/a]
Benzin	5.188.085	3.601
Diesel	3.341.164	2.332
Hybrid	296.992	157
Elektrisch	55.686	10
Sonstige (u.a. Gas)	389.802	216
Gesamt	9.271.729	6.316

3.5 ENERGIE- UND CO₂-BILANZ

Die Energie- und CO₂-Bilanz des Quartiers lässt sich in drei zentrale Bereiche unterteilen: Wärme, Strom und Mobilität. Den größten Anteil am Energieverbrauch nimmt der Wärmesektor ein, der mit 8.442 MWh/a rund 52,9 % des gesamten Endenergiebedarfs des Quartiers ausmacht. Dieser Sektor beansprucht zudem einen Primärenergiebedarf von 8.691 MWh/a, was 46,2 % des Gesamtbedarfs entspricht. Die CO₂-Emissionen aus dem Wärmesektor belaufen sich auf 2.231 tCO₂/a und tragen somit 48,9 % zu den gesamten Emissionen bei.

Der Stromsektor (exkl. Strom zu Heizzwecken und Mobilität) weist mit 1.207 MWh/a einen deutlich geringeren Endenergieverbrauch auf und macht 7,6 % des Gesamtenergiebedarfs aus. Beim Primärenergiebedarf liegt er bei 2.173 MWh/a, was einem Anteil von 11,5 % entspricht. Der Stromsektor trägt mit 676 tCO₂/a rund 14,8 % zu den CO₂-Emissionen des Quartiers bei.

Die Mobilität stellt den zweitgrößten Energieverbraucher dar, mit einem Endenergiebedarf von 6.316 MWh/a, was 39,6 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht. Der Primärenergiebedarf dieses Sektors liegt bei 7.973 MWh/a, was einen Anteil von 42,3 % des gesamten Primärenergiebedarfs bedeutet. Die CO₂-Emissionen der Mobilität belaufen sich auf 1.659 tCO₂/a, was einem Anteil von 36,3 % der Gesamtemissionen entspricht.

Insgesamt betrachtet hat das Quartier einen Endenergiebedarf von 15.965 MWh/a. Der Primärenergiebedarf beträgt 18.837 MWh/a, während die CO₂-Emissionen bei 4.565 tCO₂/a liegen. Eine detailliertere Darstellung dieser Ergebnisse findet sich in Tabelle 3-12 und den darunter stehenden Abbildungen.

Tabelle 3-12: Gesamtendenergie- und CO₂-Bilanz

Sektor	Endenergiebilanz		Primärenergie		CO ₂ -Bilanz	
	[MWh/a]	[%]	[MWh/a]	[%]	[t/a]	[%]
Wärme	8.442	52,9	8.691	46,2	2.231	48,9
Strom	1.207	7,6	2.173	11,5	676	14,8
Mobilität	6.316	39,6	7.973	42,3	1.659	36,3
Gesamt	15.965	100,0	18.837	100,0	4.565	100,0

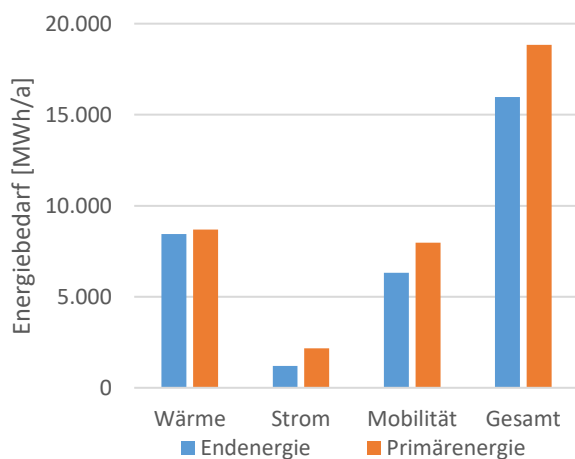


Abbildung 3-3: Energiebilanz

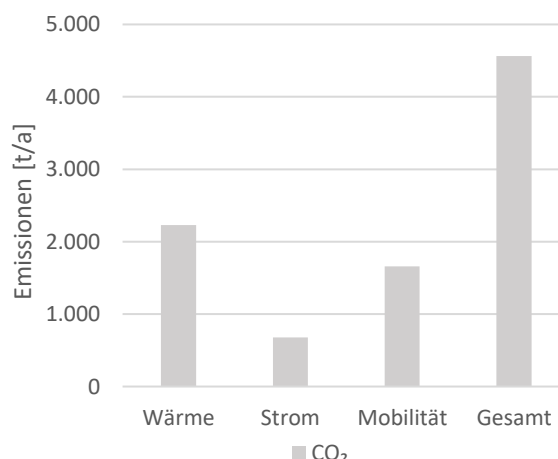


Abbildung 3-4: CO₂-Bilanz

3.5.1 ENERGIE- UND CO₂-BILANZ WÄRME

Die Energie- und CO₂-Bilanz Wärme wurde mit Hilfe folgender Daten erstellt:

- Bezugsdaten der SH-Netz
- Ergebnissen der Umfrage
- Schornsteinfegerdaten
- Regionale Kennwerte
- Geoinformationssystem-Daten (GIS-Daten)

Durch die Verwendung von Geoinformationssystem-Daten (GIS-Daten), die vom Kreis Rendsburg-Eckernförde zur Verfügung gestellt wurden, wurde die Bilanz ergänzt. Diese Daten geben Auskunft über die Grundfläche der Gebäude und deren Höhe. In der Gebäudetypologie Schleswig-Holstein finden sich Angaben zu typischen Wärmeverbräuchen pro Quadratmeter und Jahr für die verschiedenen Baualtersklassen der Gebäude. Auf dieser Basis konnten Berechnungen für einzelne Gebäude durchgeführt werden. Zur weiteren Detaillierung wurde eine Quartiersbefragung per Postwurfsendung durchgeführt. Die Rücklaufquote von ca. 20 % konnte zur weiteren Datenschärfung beitragen.

Abbildung 3-5 zeigt den Wärmeetlas des Quartiers Brekendorf. Hier wird der jährliche Wärmebedarf aller beheizten Gebäude des Quartiers, unterteilt in verschiedene absolute Bedarfsmengen, aufgezeigt. Dabei sind Gebäude, die einen geringen Bedarf von weniger als 15 MWh pro Jahr aufweisen, gelb markiert. Mit steigendem Bedarf entwickelt sich die Farbe über Orange zu Rot, mit einem maximalen Wärmebedarf von 65 - 500 MWh pro Jahr. Da hier absolute Zahlen dargestellt sind, lässt sich anhand dieser Abbildung keine Aussage über die Effizienz der Gebäude tätigen.

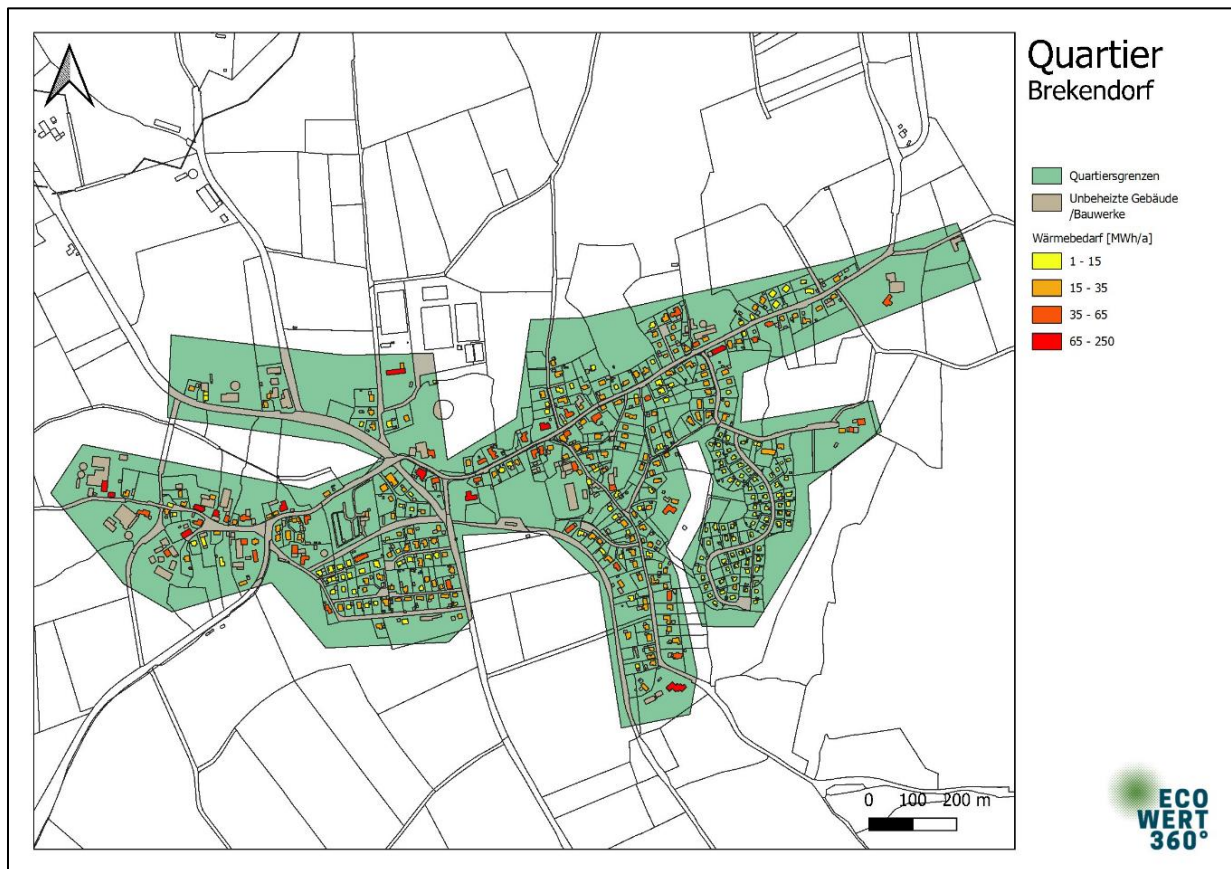


Abbildung 3-5: Wärmeetlas Quartier Brekendorf

VERWENDETE PRIMÄRENERGIE- UND EMISSIONSFAKTOREN

Die Faktoren, die für die Berechnung der Primärenergie und der Emissionen verwendet werden, sind in Tabelle 3-13 dargestellt. Der Primärenergiefaktor beschreibt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zu gegebener Endenergie. Die Primärenergie ist der rechnerisch nutzbare Energieinhalt der Energieträger, wie sie in der Natur vorkommen. Die Endenergie ist die Energie, die nach Transport, Leitungs- und Umwandlungsverlusten vom Verbraucher genutzt wird. Der Primärenergiefaktor beinhaltet alle Faktoren der Primärenergieerzeugung mit den Vorketten der Gewinnung, Aufbereitung, Umwandlung, Transport und Verteilung der betrachteten Energieträger.

Tabelle 3-13: Verwendete CO₂-Emissions- und Primärenergiefaktoren (Vorgabe KfW, Anlage 4 und 9 des GEG)

Energiequelle	Emissionsfaktor [kg CO ₂ /kWh]	Primärenergiefaktor
Heizöl	0,31	1,1
Erdgas	0,24	1,1
Biomasse	0,02	0,2
Strommix Deutschland	0,56	1,8

Die Endenergiebilanz zeigt, dass die Wärmeversorgung in Brekendorf überwiegend durch Heizöl und Gas gedeckt wird. Heizöl trägt mit 3.895 MWh/a rund 46,13 % zur Wärmeversorgung bei, während Erdgas mit 3.915 MWh/a und einem Anteil von 46,37 % den größten Beitrag leistet. Holz spielt mit 501 MWh/a und 5,94 % eine geringere Rolle. Strom hingegen hat mit 132 MWh/a nur einen Anteil von 1,56 % am Endenergiebedarf. Die CO₂-Bilanz der Wärmeerzeugung zeigt, dass Heizöl mit 1.207 tCO₂/a rund 54,13 % der CO₂-Emissionen verursacht, während Erdgas mit 940 tCO₂/a 42,12 % zur CO₂-Bilanz beiträgt. Holz verursacht aufgrund des geringen Emissionsfaktors nur 10 tCO₂/a (0,45 %). Der Strom ist für 74 tCO₂/a verantwortlich, was 3,30 % der Gesamtemissionen entspricht.

Tabelle 3-14: Endenergie- und CO₂-Bilanz der Wärmeversorgung nach Energieträger

Verbrauchstyp	Endenergiebedarf Wärme [MWh/a]	Anteil [%]	CO ₂ -Ausstoß Wärme [t CO ₂ /a]	Anteil [%]	Primärenergie [MWh/a]	Anteil [%]
Öl	3.895	46,13	1.207	54,13	4.284	47,99
Gas	3.915	46,37	940	42,12	4.306	48,23
Holz	501	5,94	10	0,45	100	1,12
Strom	132	1,56	74	3,30	237	2,65
Summe	8.442	100,00	2.231	100,00	8.928	100,00

Die Energiebilanz Wärme gliedert sich in die Verbrauchssektoren Wohngebäude, Öffentliche Gebäude und Gewerbe. Tabelle 3-15 zeigt die Energiebilanz der Wärmeversorgung inklusive der durch Strom erzeugten Wärmemenge in absoluten Zahlen. Der größte Anteil des Wärmebedarfs im Quartier entfällt mit ca. 97 % auf Wohngebäude. Die anderen beiden Sektoren haben mit 2,5 % (Gewerbe) und 0,5 % (öffentliche Gebäude) nur einen geringen Anteil am Wärmebedarf. Die Differenz zwischen dem in Tabelle 3-14 dargestellten Endenergiebedarf und dem in Energiebedarf aus Tabelle 3-15 ergibt sich aus der Nutzung von Umweltwärme durch Wärmepumpen.

Tabelle 3-15: Energiebilanz der Wärmeversorgung nach Verbrauchssektoren

Liegenschaft	Wärmebedarf [MWh/a]	Primärenergie [MWh/a]	CO ₂ -Ausstoß Wärme [t/a]
Wohngebäude	8.392	8.658	2.163
Gewerbe	212	219	55
Öffentliche Gebäude	49	51	13
Summe	8.653	8.928	2.231

3.5.2 ENERGIE- UND CO₂-BILANZ STROM

Die Bezugsdaten für Strom zu Heizzwecken wurden für das Quartier vom Netzbetreiber (SH-Netz AG) zur Verfügung gestellt. Der Stromverbrauch für Mobilität wurde über eine Hochrechnung der verschiedenen Fahrzeugtypen, einen angenommen elektrischen Verbrauch dieser Typen und eine angenommene Fahrleistung ermittelt (vgl. Kapitel 3.4.3). Der allgemeine Stromverbrauch wurde über den durchschnittlichen Verbrauch pro Haushalt aus der Befragung hochgerechnet. Davon wurde der Stromverbrauch für Mobilität abgezogen. Tabelle 3-16 zeigt die Endenergiebilanz der Stromversorgung in absoluten und relativen Werten, wobei der Anteil aufgrund des gleichen Primärenergie- und Emissionsfaktors identisch ist. Zusätzlich ist die CO₂-Bilanz der Stromversorgung dargestellt.

Tabelle 3-16: Energie- und CO₂-Bilanz der Stromversorgung

Verbrauchstyp	Endenergiebedarf [MWh/a]	Primärenergiebedarf [MWh/a]	CO ₂ -Ausstoß [t CO ₂ /a]	Anteil [%]
Allgemeiner Stromverbrauch	1.207	2.173	676	86,4
Stromverbrauch zu Heizzwecken	132	237	74	9,4
Stromverbrauch für Mobilität	58	105	33	4,2
Summe	1.397	2.515	782	100,0

In Tabelle 3-17: Regenerative elektrische Erzeugungsleistung im Gemeindegebiet Brekendorfs

ist die regenerative Stromerzeugung auf dem Gemeindegebiet dargestellt. Diese setzt sich zusammen aus der energetischen Nutzung von Biomasse sowie Strom aus Photovoltaik. Laut Marktstammdatenregister befindet sich auf dem Gemeindegebiet Brekendorf eine Biogasanlage mit 370 kW elektrischer Leistung. Anlagen zur Nutzung von Windenergie gibt es in Brekendorf nicht. Die regenerative Stromerzeugung findet somit hauptsächlich auf Basis solarer Strahlungsenergie statt.

Tabelle 3-17: Regenerative elektrische Erzeugungsleistung im Gemeindegebiet Brekendorfs

Regenerativer Energieträger	Bruttoleistung [kW]	Nettoleistung [kW]
Biomasse	370	370
Solare Strahlungsenergie	13.042	12.108
Gesamtergebnis	13.412	12.478

3.5.3 ENERGIE- UND CO₂-BILANZ MOBILITÄT

Die Energie- und CO₂-Bilanz Mobilität wurde auf Grundlage der in Abschnitt 3.4.3 beschriebenen Zusammenhänge und den in Tabelle 3-18 dargestellten Emissions- und Primärenergiefaktoren ermittelt. Die Primärenergie- und Emissionsfaktoren der hybriden Fahrzeuge sind als kombinierte Faktoren aus Benzin und Strom zu verstehen.

Tabelle 3-18: Verwendete Emissions- und Primärenergiefaktoren
Quelle: (BAFA, 2021) (Frischknecht, 2012)

Kraftstoff	Primärenergiefaktor [kWh/kWh]	Emissionsfaktor [tCO ₂ /MWh]
Benzin	1,29	0,264
Diesel	1,22	0,266
Sonstige (u.a. Gas)	1,10	0,201
Hybrid	1,45	0,192
Elektrisch	1,80	0,560

Tabelle 3-19 zeigt den jährlichen Energiebedarf und die CO₂-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugantriebe. Zusätzlich wird in den folgenden Abbildungen die relative Verteilung dargestellt. Es wird ersichtlich, dass benzinbetriebene Fahrzeuge sowohl beim Energiebedarf als auch bei den CO₂-Emissionen den größten Anteil haben, gefolgt von dieselpetriebenen Fahrzeugen. Elektro-, Gas- und Hybridfahrzeuge haben nur einen geringen Anteil.

Tabelle 3-19: CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch des Mobilitätssektors

Kraftstoff	Verbrauch [MWh/a]	Primärenergie [MWh/a]	Emissionen [t CO ₂ /a]
Benzin	3.601	4.646	951
Diesel	2.332	2.845	620
Sonstige (u.a. Gas)	216	238	52
Hybrid	157	226	30
Elektrisch	10	19	6
Gesamt	6.316	7.973	1.659

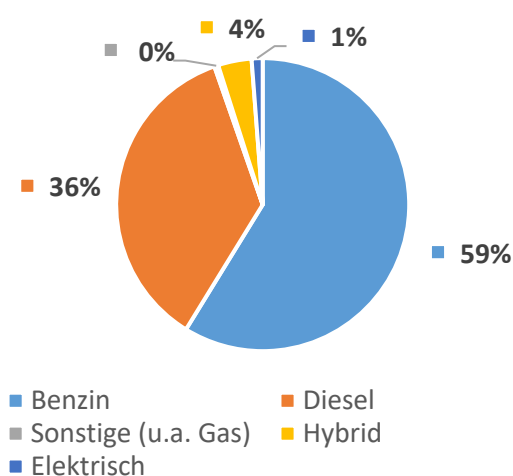


Abbildung 3-6: Primärenergiebedarf

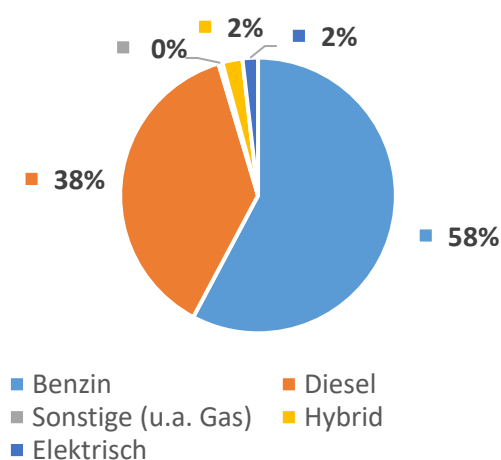


Abbildung 3-7: Emissionen

4 ENERGIE- UND CO₂-MINDERUNGSPOTENZIALE

Der folgende Abschnitt setzt sich mit den Energie- und CO₂-Minderungspotenzialen auseinander. Unter anderem werden hier die Themenfelder Potenzial für erneuerbare elektrische Energien, Potenzial erneuerbarer thermischer Energien und Minderungspotenzial durch die Gebäudesanierung behandelt. Ein besonderer Fokus liegt zudem auf der zentralen Wärmeversorgung des Quartiers Brekendorf.

Eine Zusammenfassung der Entwicklung des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen in Abhängigkeit von der Umsetzung der in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Dargestellt sind nur die quantifizierbaren Maßnahmen. Eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen findet sich in den jeweiligen Kapiteln. Die Entwicklung des Energiebedarfs und der Emissionen der Maßnahme „Zentrale Wärmeversorgung“ bezieht sich auf das zweite Szenario gemäß Abschnitt 4.5.3. Im Bereich Mobilität wurde für die Darstellung ebenfalls das zweite Szenario gemäß Abschnitt 4.6 gewählt. Bei den Maßnahmen „Mobilität“ und „Gebäudesanierung“ handelt es sich jedoch nicht um konkrete Maßnahmen, sondern um eine mögliche Entwicklung der Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen im Quartier sowie um eine mögliche Einsparung im Bereich der Wohngebäude auf Basis einer potenziellen Sanierungsrate.

Abbildung 4-1 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs für die Maßnahmen "Sanierung Wohngebäude", "Zentrale Wärmeversorgung" und "Mobilität" für die Jahre 2024 bis 2045. Der Energiebedarf der Wohngebäude sinkt bei einer Sanierungsrate von 2 % kontinuierlich von 8.392 MWh/a auf 5.490 MWh/a im Jahr 2045. Für die Maßnahme „Zentrale Wärmeversorgung“ wird angenommen, dass der Wärmebedarf aufgrund der selben Sanierungsrate sinkt. Zusätzlich liegt der Energiebedarf einer zentralen Wärmeversorgung aufgrund der Wärmeverluste der Rohrleitungen im Wärmenetz zunächst über dem heutigen Wärmebedarf (9.714 MWh in 2030). Dieser sinkt bei Durchführung der Maßnahme bis 2045 auf 7.771 MWh/a ab. Die relevanten Einsparungen dieser Maßnahme liegen jedoch nicht beim Energiebedarf, sondern bei den Emissionen. Im Bereich Mobilität würde der Energiebedarf durch die Umstellung auf Elektromobilität von 6.316 MWh/a im Jahr 2024 auf 2.181 MWh/a im Jahr 2045 sinken. Insgesamt zeigt sich, dass die Energieeinspareffekte der Maßnahme Mobilität mit 4.135 MWh/a am größten sind.

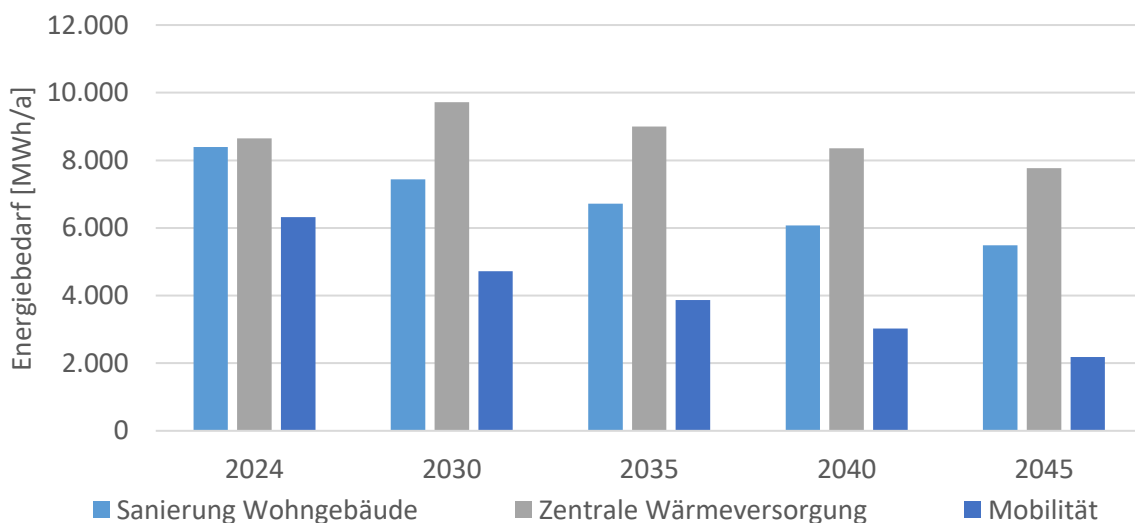


Abbildung 4-1: Übersicht Maßnahmen Energieeinsparung

Abbildung 4-2 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen für die Maßnahmen „Sanierung Wohngebäude“, „Zentrale Wärmeversorgung“ und „Mobilität“ von 2024 bis 2045. Es ist zu erkennen, dass der größte Einfluss auf die CO₂-Minderung durch den Bau eines Wärmenetzes entsteht. Durch diese Maßnahme können die Emissionen von 2.231 t CO₂/a, welche derzeit auf den Wärmesektor entfallen, auf 175 t CO₂/a im Jahr 2045 reduziert werden. Dies entspricht einer jährlichen Reduktion der Emissionen von 2.056 t CO₂/a. Die Maßnahme mit dem zweitgrößten Einspareffekt ist die Umstellung auf Elektromobilität. Durch diese Maßnahme könnten im Jahr 2045 gegenüber dem Status quo jährlich 1.101 t CO₂ eingespart werden, wodurch die Emissionen von 1.659 t CO₂/a im Jahr 2024 auf 558 t CO₂/a im Jahr 2045 sinken würden. Durch die Sanierung der Wohngebäude würden die Emissionen von 2.163 t CO₂/a auf 1.415 t CO₂/a sinken, was einer Reduktion von 748 t CO₂/a entspricht.

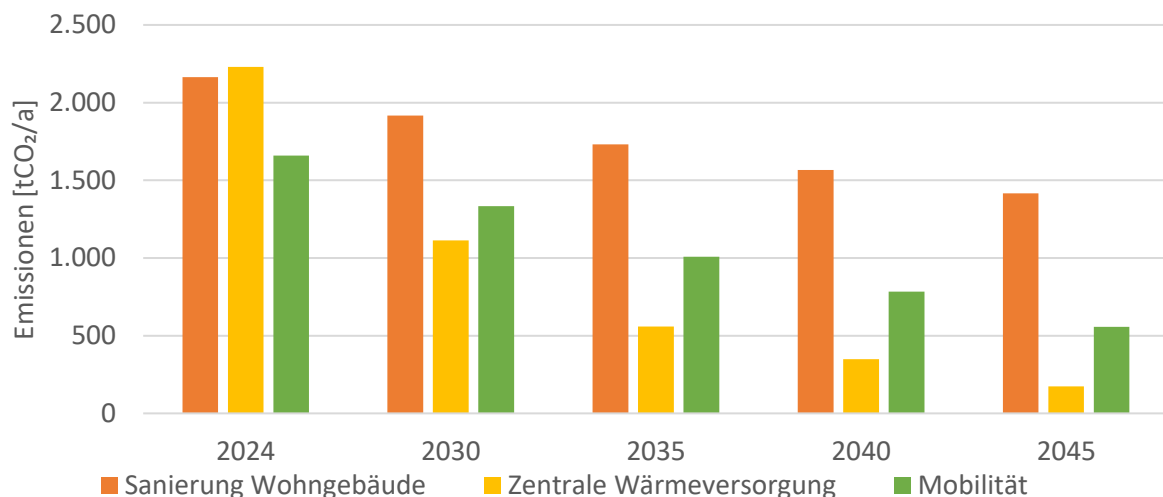


Abbildung 4-2: Übersicht Maßnahmen CO₂-Einsparung

4.1 POTENZIALE FÜR ERNEUERBARE ELEKTRISCHE ENERGIEN

Dieser Abschnitt wird das vorhandene Potenzial und die entsprechenden Technologien für eine erneuerbare Strombereitstellung in Brekendorf untersuchen. Diese umfassen die gängigen Energieträger für erneuerbare Stromerzeugung Wind, Photovoltaik und Biogas.

4.1.1 WIND

In der Umgebung von Brekendorf weht der Wind hauptsächlich aus West und Südwest. Die umliegenden Flächen im Norden, Westen und Süden des Quartiers werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt und die Waldflächen des Landesforstes liegen südöstlich im Gemeindegebiet. Diese Bedingungen schaffen gute Voraussetzungen für die Windenergienutzung.

In Rahmen des Regionalplans werden Windvorranggebiete und Windpotenzialflächen festgelegt. Raumbedeutsame Windkraftanlagen (WKA) dürfen nur in Vorranggebieten für Windenergie errichtet und erneuert werden (MILIG SH, 2020). Auf Windpotenzialflächen hingegen ist eine Errichtung bzw. Erneuerung in Zukunft denkbar, jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht zugelassen.

Der Kreis Rendsburg-Eckernförde wird in der Teilaufstellung des Regionalplans für den Planungsraum II aufgeführt. Diese ist im Gesetz- und Verordnungsblatt vom 31. Dezember 2020 in Kraft getreten (MILIG SH, 2020). Am 11. Juni 2024 hat die Landesregierung zusätzlich dem Entwurf für neue Vorhaben zur Windenergie im Landesentwicklungsplan (LEP) zugestimmt. In einem ersten Entwurf wurden hierfür Potenzialflächen für Windenergiegebiete bestimmt.

Abbildung 4-3 zeigt einen Kartenausschnitt aus der Teilaufstellung des Regionalplans für den Planungsraum II. Das Kommentar zur Abwägungsentscheidung bezüglich der Änderung des Potenzialgebietes zu einem Vorranggebiet lautet wie folgt: „Bisher sind keine Windkraftanlagen auf dem Gemeindegebiet installiert. Die Potenzialfläche bleibt gegenüber dem dritten Planentwurf unverändert und wird nicht als Vorranggebiet übernommen. An der bisherigen Abwägungsentscheidung wird festgehalten: Für den südlichen Bereich der Fläche wird der als weiches Tabukriterium festgelegte Abstandsbereich um Siedlungen von 800m für die Ortslage der Gemeinde Brekendorf um einen 200m erweiterten Schutzbereich ergänzt, da aufgrund der in diesem Bereich fehlenden Windenergienutzung dem Freihalteinteresse ein höheres Gewicht eingeräumt wird. Die verbleibende Potenzialfläche liegt vollständig in einem Bereich von Hauptachsen des überregionalen Vogelzugs, der aufgrund von hohem Zugaufkommen und geringen Flughöhen ein sehr hohes Konfliktrisiko aufweist und daher zum Schutz der wandernden Vögel freigehalten werden soll. Aufgrund dessen wird dem Vogelzug gegenüber der Windkraftnutzung ein Vorrang eingeräumt.

Zudem liegt die Potenzialfläche überwiegend in einem Bereich eines Naturparks, der zugleich auch einen Kernbereich eines charakteristischen Landschaftsraumes darstellt. Diese Räume sind in besonderem Maße schützenswert, da sich hier zwei einander verstärkende Gebietskategorien überlagern, die mit einer landesweiten Freiraumkonzeption verbunden sind. Aus diesen Gründen wird dem Landschafts- und Artenschutz in diesem Bereich ein Vorrang gegenüber der Windenergienutzung eingeräumt. Zudem wird an dieser Stelle aufgrund der räumlichen Nähe zum UNESCO-Welterbe Haithabu und Danewerk eine Beeinträchtigung der Welterbestätte durch eine potenzielle Windenergienutzung gesehen, insbesondere vor dem Hintergrund der bereits vorhandenen Anlagen nördlich von Owschlag, so dass auch aus diesem Grund eine Übernahme der Fläche als Vorranggebiet ausgeschlossen wird.“ (MILIG SH, 2020)

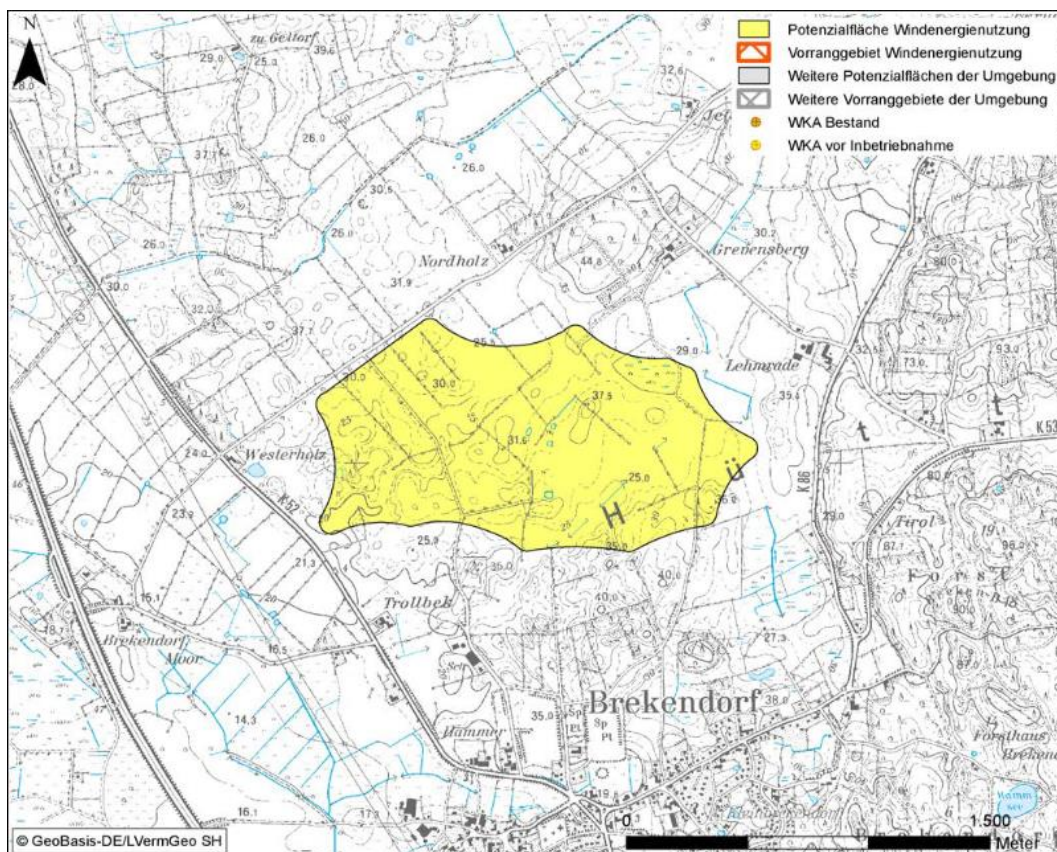


Abbildung 4-3: Kartenausschnitt Potenzialgebiet im Gemeindegebiet Brekendorfs

Abbildung 4-4 zeigt einen Ausschnitt der „Karte Potenzialfläche Windenergie SH“, mit den in blauer Farbe ausgewiesenen Potenzialflächen. Es ist zu sehen, dass sich im Entwurf für neue Vorhaben zur Windenergie im Landesentwicklungsplan (LEP) eine Fläche südlich der A7 befindet, welche jedoch schon durch eine PV-Anlage genutzt wird (vgl. Kapitel 4.1.2), und ein kleiner Teil der Potenzialfläche südwestlich von Brekendorf auf dem Gemeindegebiet Brekendorfs befinden. (MIKWS SH, 2024)



Abbildung 4-4: Ausschnitt „Karte Potenzialflächen Windenergie SH“
Quelle: (MIKWS SH, 2024)

Das Potenzial für die Nutzung der Windenergie über eine Direktleitung ist damit für den Kernbereich Brekendorf nahezu null. Eine Windenergienutzung wäre daher nur bilanziell denkbar. Da hier jedoch Netzentgelte anfallen, muss eine solche Nutzung insbesondere hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit konkret geprüft werden.

4.1.2 PHOTOVOLTAIK

Die Landesregierung gibt mit dem Landesentwicklungsplan (LEP) einen Rahmen für die Entwicklung bestehender und neuer Standorte für solare Freiflächen vor. Dabei dient der LEP lediglich als Hilfestellung für Gemeinden, Kreise, Investoren und Projektentwickler. Eine Vorgabe von Eignungs- oder Vorrangflächen ist im LEP nicht vorgesehen, sondern kann über die Gemeinde geregelt werden. Dafür ist die Ausweisung von Flächen im Flächennutzungsplan sowie die Aufstellung eines Bebauungsplanes erforderlich. Die Flächen werden dabei als Sondergebiet Photovoltaik bzw. Sondergebiet Solarthermie festgesetzt (MILIG SH, 2021).

Die Entwicklung von raumbedeutsamen solaren Freiflächenanlagen soll möglichst raum- und landschaftsverträglich erfolgen. Die nachfolgenden Flächen werden gemäß LEP als besonders geeignet bewertet (MILIG SH, 2021):

- Bereits versiegelte Flächen
- Konversionsflächen aus z.B. gewerblich-industrieller, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung
- Flächen entlang von Schienenwegen sowie Autobahnen
- Vorbelastete Flächen

Für die Gemeinde Brekendorf wurde (zusammen mit anderen Gemeinden) 2022 eine Photovoltaik-Potenzialflächenanalyse durchgeführt. Laut dieser Analyse sind fünf Potenzialflächen im Gemeindegebiet vorhanden, welche sich alle entlang der Bundesautobahn A7 erstrecken. Dies ist dadurch begründet, dass ein Grundsatzbeschluss der Gemeindevertretung von 2021 vorsieht, dass keine PV-Freiflächenanlagen außerhalb der EEG-Förderkulisse auf dem Gemeindegebiet entstehen sollen. Weiter sollen die auf Ebene des Flächennutzungsplanes im Sinne einer Konzentrationsflächenplanung ausgewiesenen Vorranggebiete für den Kiesabbau für die Entwicklung von PV-Freiflächenanlagen ausgeschlossen werden.

Im Folgenden werden die Potenzialflächen in Abbildung 4-6 (Potenzialfläche A5.1), Abbildung 4-7 (Potenzialflächen A5.2 & A5.3) und Abbildung 4-8 (Potenzialflächen A5.4 & A5.5) dargestellt. Abbildung 4-5 dient zur Veranschaulichung und Verortung der Potenzialflächen im Gemeindegebiet. Auf dem nordöstlichen Teil der Potenzialfläche A5.1 wurde bereits eine PV-Anlage mit etwa 5,2 MWp installiert (Inbetriebnahme: August 2021).

Zusätzlich ist ein PV-Park südöstliches des Mühlenwegs mit einer Leistung von 6,4 MWp vorhanden (Inbetriebnahme: 2014 bzw. 2016).

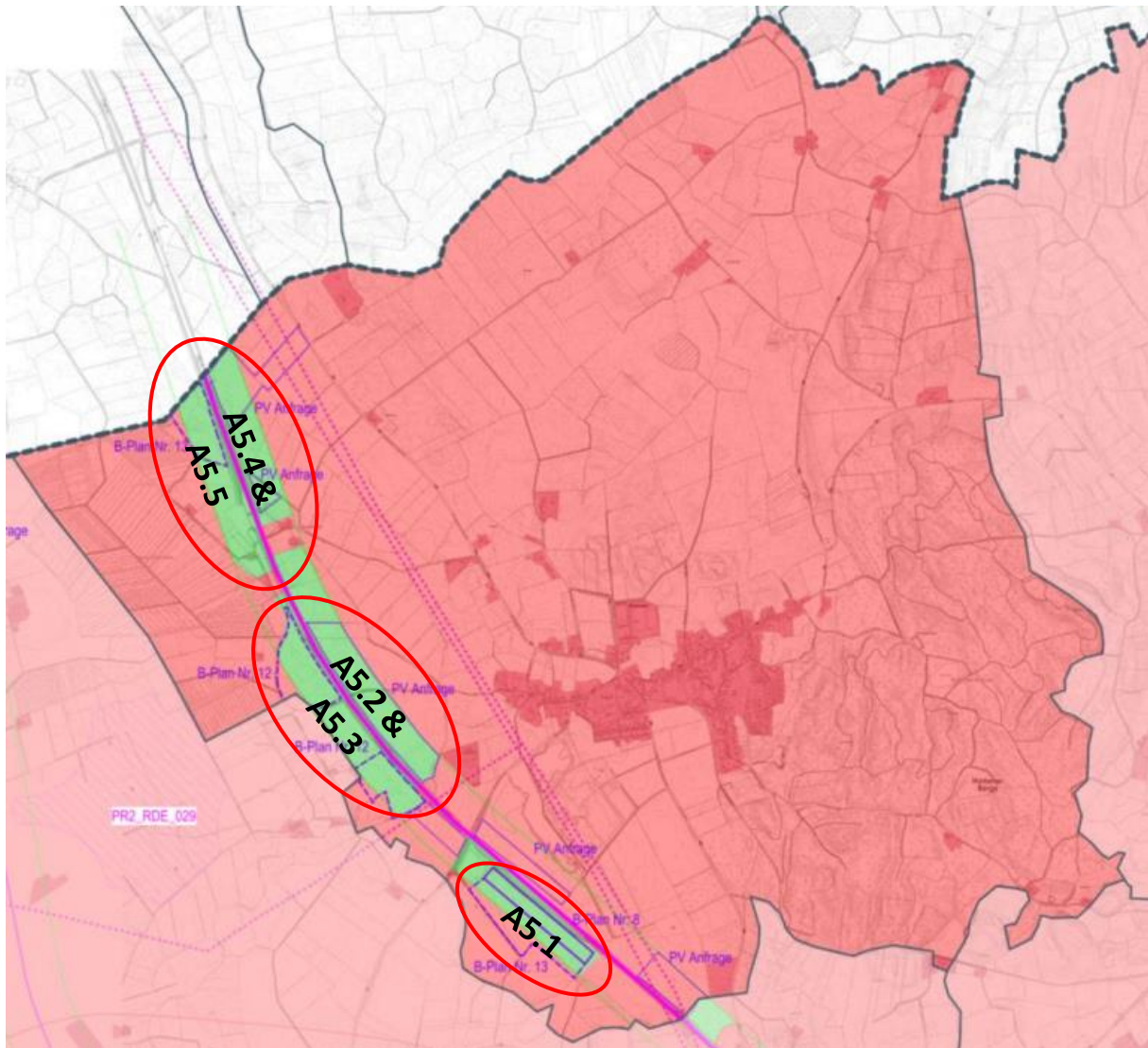


Abbildung 4-5: Übersicht gemeindliches PV-Standortkonzept Gemeinde Brekendorf

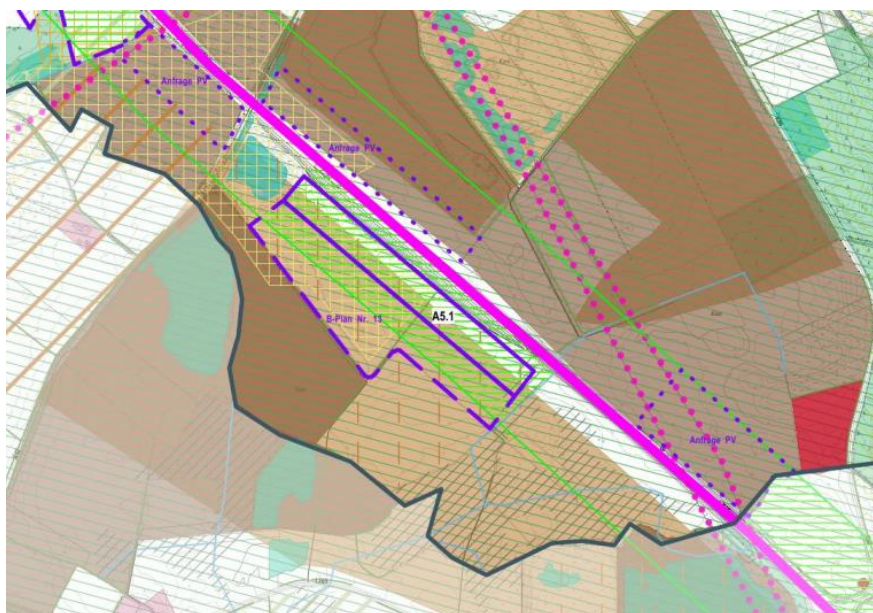


Abbildung 4-6: Potenzialfläche A5.1

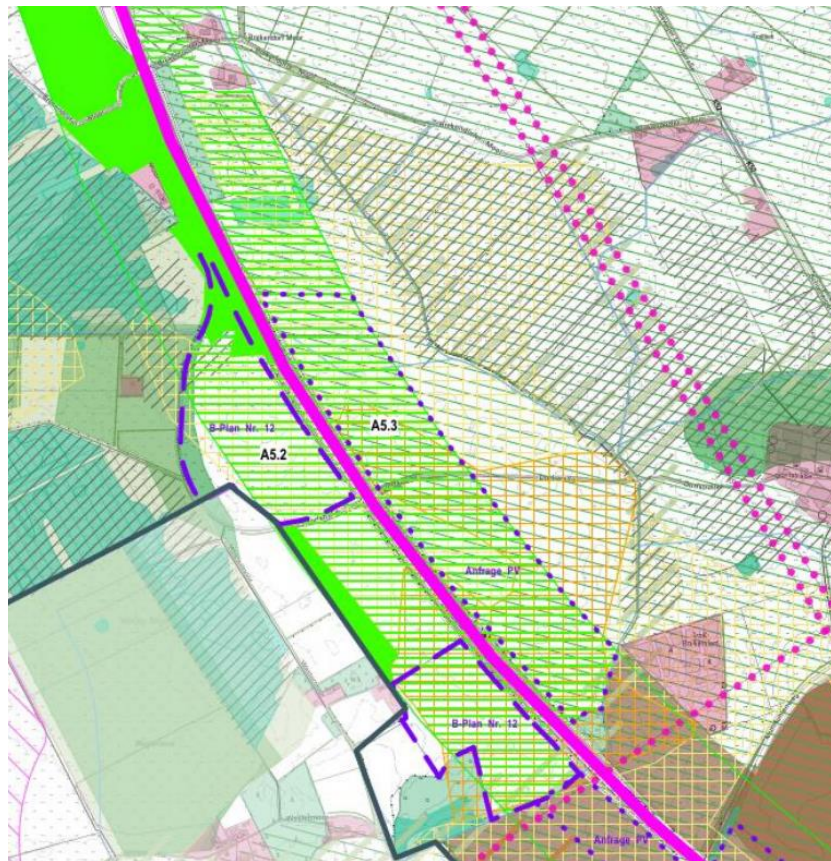


Abbildung 4-7: Potenzialflächen A5.2 & A5.3



Abbildung 4-8: Potenzialflächen A5.4 & A5.5

Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über Vergütung von PV-Anlagen für die verschiedenen Leistungsklassen.

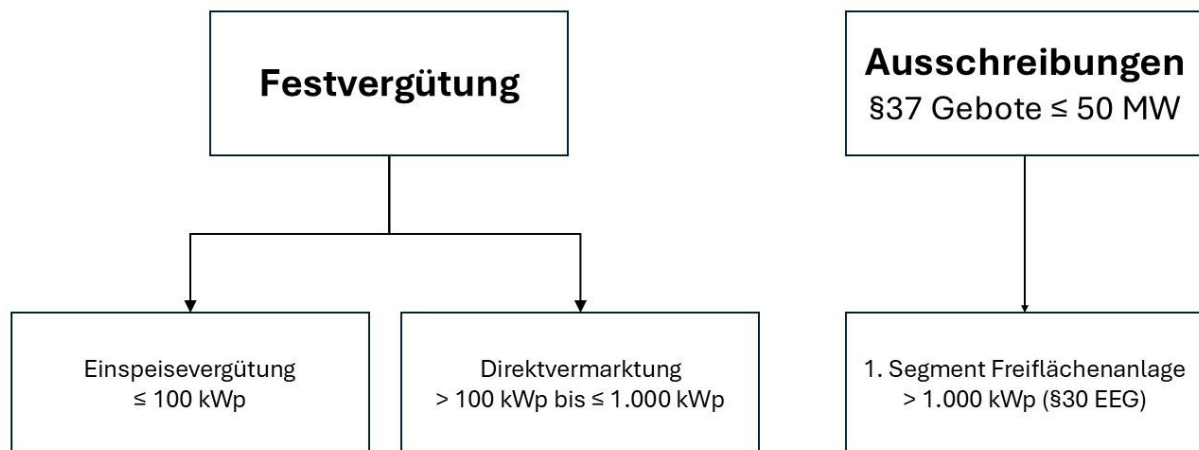


Abbildung 4-9: Vergütung nach dem EEG für Freiflächenanlagen, eigene Darstellung nach (EEG vom 8. Mai 2024)

Nach Abbildung 4-9 ist die Vergütung durch das EEG abhängig von der Anlagengröße. Kleinere Anlagen bis 1.000 kWp Nennleistung müssen nicht am Ausschreibungsverfahren teilnehmen, sondern erhalten eine feste Einspeisevergütung (Anlagen bis 100 kWp) bzw. einen anzulegenden Wert über die Direktvermarktung (ab 100 kWp) (Ministerium für Umwelt, 2019).

Einspeisevergütung: Die Vergütung für Anlagen mit Inbetriebnahme ab 01.01.2023 bis 31.01.2024 betrug vorbehaltlich im Folgenden beschriebener Ausnahmen 7,00 ct/kWh ohne monatliche Kostendegression. Ab dem 1. Februar 2024 beträgt die halbjährliche Kostendegression 1,0 % (EEG vom 8. Mai 2024).

Direktvermarktung (auch Marktprämienmodell): Der Anlagenbetreiber erhält eine feste Vergütung (anzulegender Wert), welcher sich aus dem Marktwert und der Marktprämie zusammensetzt. Die Vergütung ist durch die zusätzlich gezahlte Managementprämie um 0,4 ct/kWh höher als die Einspeisevergütung (Bundesnetzagentur, 2023).

Ausschreibung: Die maximale Anlagengröße für Ausschreibungen beträgt mit dem Inkrafttreten des „Solarpakets 1“ 50 MWp. Der bisher niedrigste mittlere Zuschlag wurde im Februar 2018 mit 4,33 ct/kWh erteilt. Der niedrigste Einzelzuschlag bis Dezember 2021 wurde im Februar 2020 mit 3,55 ct/kWh ausgegeben (Wirth, 2023).

Darüber hinaus gelten mit der Novellierung vom 30. Juli 2022 erhöhte Vergütungssätze [ct/kWh] für Photovoltaik Dachanlagen, welche im Folgenden kurz aufgeführt werden (EEG vom 8. Mai 2024):

Tabelle 4-1: Vergütungssätze im Marktprämienmodell für PV-Dachanlagen in ct/kWh

Inbetriebnahme	01.08.2024 – 01.02.2025		01.02.2025 – 01.08.2025	
Anlagengröße	Teileinspeisung	Volleinspeisung	Teileinspeisung	Volleinspeisung
Bis 10 kWp	8,43	13,23	8,34	13,14
Bis 40 kWp	7,35	11,08	7,28	10,96
Bis 100 kWp	7,56	12,56	7,49	12,44
Bis 400 kWp	7,56	10,70	7,49	10,59
Bis 1000 kWp	7,56	9,43	7,49	9,33

In diesem Zusammenhang sind unter Teileinspeisungs-Anlagen solche zu verstehen, die zunächst den Eigenstrombedarf decken und ausschließlich überschüssigen Strom ins Stromnetz einspeisen. Demgegenüber sind Volleinspeisungsanlagen, die keinen Eigenverbrauch decken, sondern den gesamten erzeugten Strom direkt ins Stromnetz einspeisen. Es ist möglich eine Teil- und eine Volleinspeiseanlage gleichzeitig auf dem Dach zu betreiben.

Für Freiflächenanlagen gilt es, eine möglichst große und zusammenhängende Fläche zu nutzen. Grund dafür sind die ansonsten aufwändige Infrastruktur und der Materialmehraufwand (Kleinertz, 2019). Abbildung 4-10 stellt die spezifischen Kosten einer Photovoltaikanlage in Abhängigkeit von der Anlagengröße dar. Anhand dieser ist zu erkennen, dass die spezifischen Kosten mit zunehmender Anlagengröße sinken.

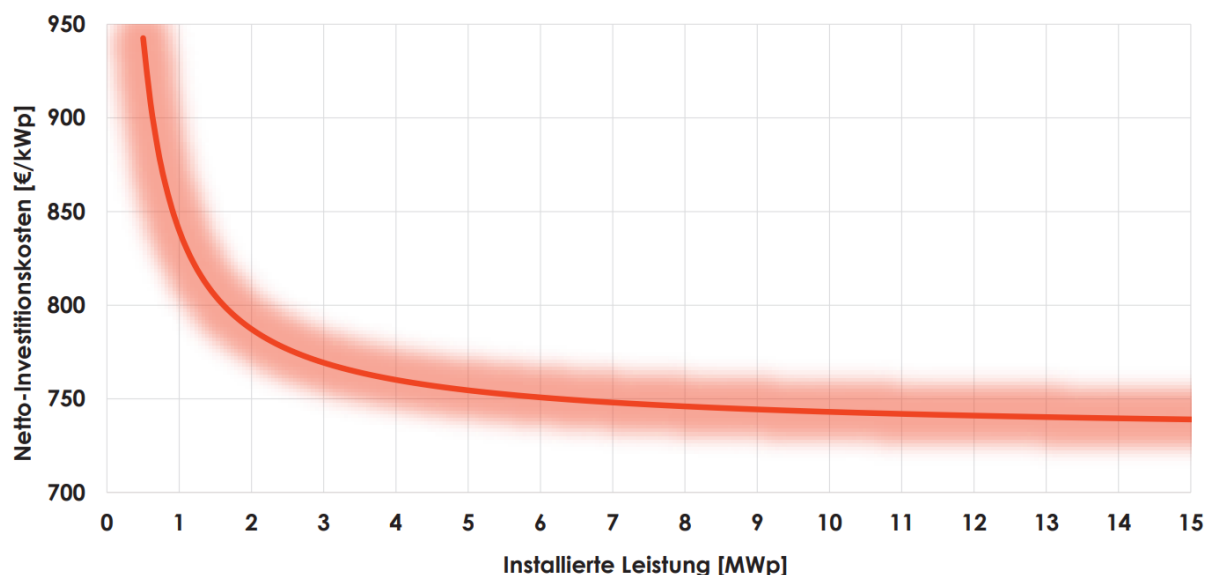


Abbildung 4-10: Spezifische Kosten von PV-Freiflächenanlagen in Abhängigkeit von der Anlagengröße (C.A.R.M.E.N. e.V., 2023)

Außerhalb einer festen EEG-Vergütung ist abhängig vom Standort in Deutschland ab einer Anlagengröße von 5 MWp eine wirtschaftliche Realisierung von PV-Freiflächenanlagen möglich. Dies entspricht ungefähr einer Fläche von 6 ha (Böhm, 2022). Der Planungshorizont von Freiflächenanlagen beträgt zwei bis drei Jahre (von der Idee bis zur Inbetriebnahme).

Im Vergleich zu Windkraftanlagen haben Photovoltaik-Anlagen einen hohen Flächenverbrauch je kW_p installierter Leistung. Demnach ist bei Ackerflächen eine Abwägung zwischen landwirtschaftlicher und energetischer Nutzung erforderlich. Eine parallele Nutzung der Fläche ist jedoch nicht vollkommen ausgeschlossen. So kann die Fläche weiterhin als Weideland für Schafe oder zur Förderung der Biodiversität (z. B. durch Anlegen einer Blumenwiese und Installation von Nist- oder Bienenkästen) genutzt werden (Uhland, 2020). Darüber hinaus kann eine zeitgleiche Nutzung einer Fläche für Photovoltaik als auch für Landwirtschaft und Gartenbau eine Verbesserung des landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Nutzens erzielen, indem bspw. die Pflanzen durch Solarmodule gegen Witterungseinflüsse geschützt werden (BMWK, 2023).

Das Ertragspotenzial von PV-Anlagen wird über die standortspezifische Einstrahlung abgeschätzt. Für die Gemeinde Brekendorf ist über die vergangenen Jahre (2001-2020) eine horizontale Globalstrahlung von jährlich 1.032 kWh/m² ermittelt worden (Meteonorm, 2024). Der Wert in Deutschland liegt, je nach Standort, zwischen 1.000 und 1.300 kWh/(m²·a) (wegatech, 2024).

Abbildung 4-11 zeigt eine Simulation der täglichen Stromproduktion der sich im Gemeindegebiet befindenden PV-Dachanlagen (1.484 kW_p). Diese wurde auf Grundlage von Wetterdaten aus dem Jahr 2019 und der im Gemeindegebiet vorhandenen installierten Leistung (BNetzA, 2023) erstellt.

Von den insgesamt 13,1 MW_p PV-Leistung im Gemeindegebiet sind 11,6 MW_p den beiden großen PV-Parks zuzuordnen. Damit besteht im Gemeindegebiet großes Potenzial für die zukünftige gemeindliche Nutzung von PV-Strom. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Anlagen in den letzten 4 bis 10 Jahren in Betrieb gegangen sind und damit noch im Rahmen der EEG-Vergütung vergütet werden können. Dies ist bei den Verhandlungen bezüglich einer gemeindlichen Nutzung der Anlagen zu bedenken.

Tägliche Stromproduktion

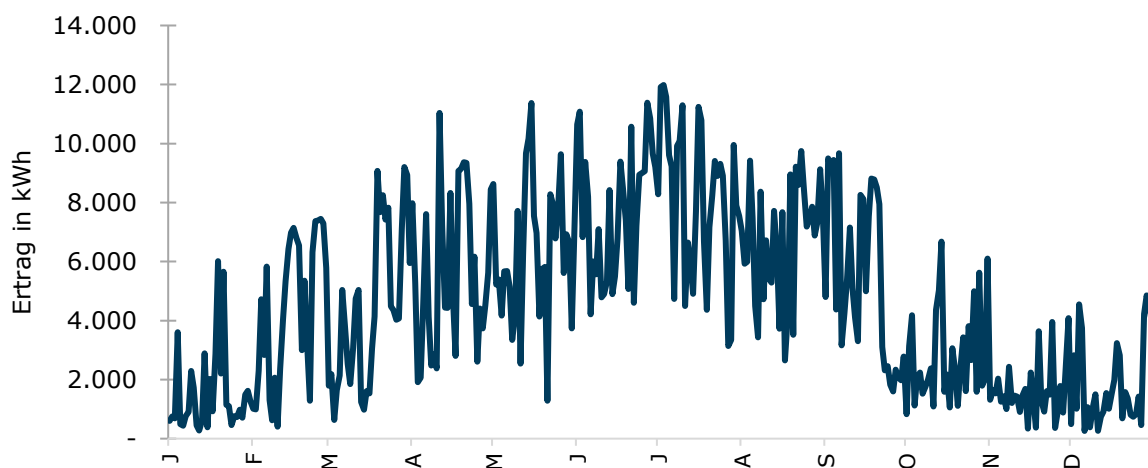


Abbildung 4-11: Tägliche Stromproduktion durch PV-Dachanlagen im Gemeindegebiet

Um die Lösung einer Installation einer PV-Anlage auf dem eigenen Dach aufzuzeigen, wird im Folgenden ein Einfamilienhaus beispielhaft näher beleuchtet und anhand von verschiedenen Auslegungsvarianten die Vorteile einer PV-Dachanlage mit Überschusseinspeisung aufgezeigt. In den betrachteten Beispielen wird ein jährlicher Stromverbrauch von **3.500 kWh** und ein Strompreis von **35 ct/kWh** mit **3 %** jährlicher Steigung angenommen. Als Verbrauchsprofil wurde das typische Verhalten eines 2-Personenhaushaltes verwendet. Es ist zu beachten, dass der wirtschaftliche Vorteil einer Eigennutzungsanlage durch die vermiedenen Stromkosten entsteht. Dieser wird entsprechend höher, wenn der Stromverbrauch über den Tag hoch ist.

Tabelle 4-2 zeigt jeweils die Ergebnisse der verschiedenen Auslegungsvarianten für ein Haus mit einer Ost-West ausgerichteten Dachfläche. Es wurden jeweils drei Auslegungen betrachtet, in denen die Anlagengröße variiert wurde, sodass eine Vollbelegung des Daches und je zwei auf den Verbrauch angepassten Belegungen betrachtet wurden. Der spezifische Anlagenpreis wurde dabei angepasst, sodass dieser den Anteil der Fixkosten in der Investition widerspiegelt, der bei jeder Anlage etwa gleich ist (z.B. Gerüststellung für Installation, elektrischer Anschluss). Zusätzlich wurde für eine Variante ein Elektrospeicher mit einer Kapazität von **5,12 kWh** betrachtet.

Die Anlage bei Vollbelegung (**18,3 kWp**) wurde in zwei Teile aufgeteilt. Ein Teil wird als Überschussanlage betrieben, der andere als Einspeiseanlage. Damit wird eine bessere Nutzung der gesamten Dachfläche erreicht. Für diese Installationsart werden mindestens zwei Wechselrichter benötigt.

Tabelle 4-2: PV-Auslegungsvarianten für verschiedene Dachausrichtungen

Name und Art der PV-Anlage	Anlage [kWp]	Spez. Kosten [€/kWp]	Investition	Eigenverbrauch	Autarkie	Amortisation [a]	Gesamt-ersparnis über 20 a
Lehmberger Str. 30 Ost-West-Belegung	3,5	1.600	5.570 €	28 %	26 %	13,1	3.750 €
	5,2	1.500	7.830 €	21 %	31 %	14,3	4.030 €
	18,3	1.300	23.750 €	28 % ¹	26 % ¹	13,3	13.420 €
5,2 kWp + Speicher	5,1 kWh	500 €/kWh	10.390 €	45 %	58 %	12,9	7.580 €

¹Bezogen auf die Überschussanlage (3,5 kWp)

4.1.3 BIOGAS

Biogas ist ein erneuerbarer Energieträger, der durch die anaerobe Vergärung von organischen Materialien wie Tier- und Pflanzenabfällen sowie Energiepflanzen wie Mais oder Gras gewonnen wird. Biogas kann als Brennstoff für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden und somit einen Beitrag zur CO₂-Einsparung leisten, da es eine umweltfreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen darstellt.

Ein wichtiger rechtlicher Rahmen für die Nutzung von Biogas ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das in Deutschland seit 2000 in Kraft ist. Das EEG regelt die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Stromnetz und garantiert den Betreibern von Biogasanlagen (BGA) eine Vergütung für den eingespeisten Strom. Die Höhe der Vergütung wird dabei durch das EEG festgelegt und ist abhängig von der Größe und Art der Anlage sowie der eingespeisten Strommenge.

Darüber hinaus gibt es auch weitere gesetzliche Regelungen und Förderprogramme auf Bundes- und Landesebene, die den Ausbau von BGA fördern und die Rahmenbedingungen für deren Betrieb und Nutzung verbessern sollen.

Zusätzlich zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen gibt es auch technische Anforderungen an BGA, die in verschiedenen Normen und Verordnungen festgelegt sind. So müssen beispielsweise bestimmte Abgaswerte eingehalten werden und es gelten Vorschriften zur Sicherheit und zum Umweltschutz.

Insgesamt bietet die Nutzung von Biogas als erneuerbare Energiequelle ein großes Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Die entsprechenden rechtlichen Rahmenbedingungen und technischen Anforderungen sollen dabei sicherstellen, dass die Nutzung von Biogas ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll ist.

Im Quartier befindet sich heute eine BGA mit einer elektrischen Leistung von 370 kW und wurde 2008 in Betrieb genommen. Die Anlage liegt in etwa 2 Kilometern Entfernung außerhalb des Quartieres und bietet damit das Potenzial nach dem Vergütungszeitraum zur elektrischen Energieversorgung des Quartiers beizutragen, sollte die Anlage nicht in den Flexbetrieb wechseln und damit den Vergütungszeitraum verlängern.

Der Betreiber der BGA steht einer Lösung, von der das Quartier profitieren kann, offen gegenüber.

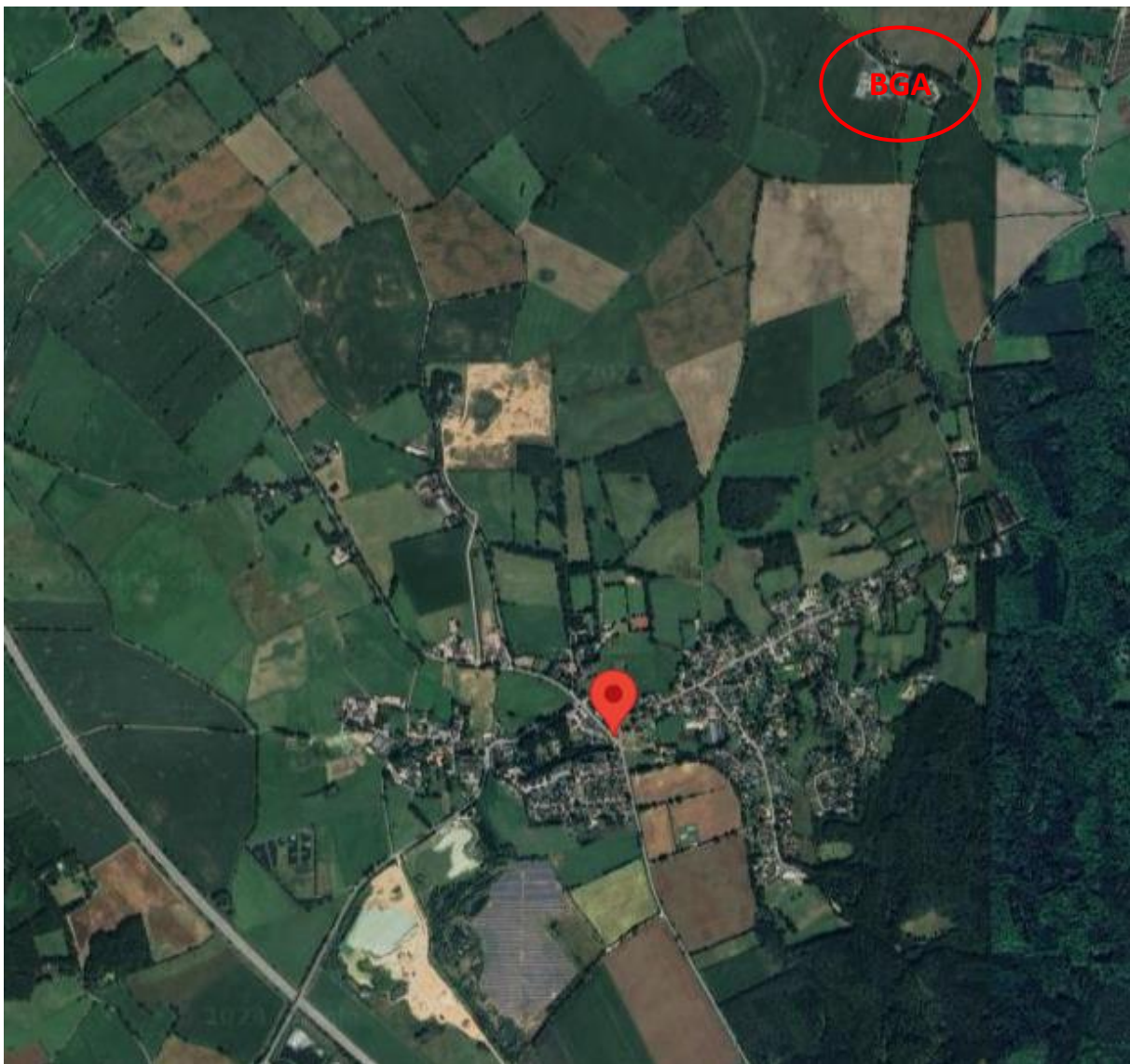


Abbildung 4-12: Lage der BGA

4.2 POTENZIALE FÜR ERNEUERBARE THERMISCHE ENERGIE

Dieser Abschnitt wird das vorhandene Potenzial und die entsprechenden Technologien für eine erneuerbare Wärmebereitstellung in Brekendorf untersuchen. Diese umfassen neben verschiedenen Ansätzen der Wärmeengewinnung mittels Wärmepumpen (Luft, Abwasser, Erdwärme) auch Solarthermie oder Kraft-Wärme-Kopplung mit erneuerbaren Energieträgern als Brennstoff.

4.2.1 LUFT-WÄRMEPUMPE

Luft als Wärmequelle steht fast immer und überall zur Verfügung. Es handelt sich bei der Luft-Wärmepumpe um eine platzsparende Variante, die es ermöglicht, erneuerbare Energie zu nutzen. Die Effizienz der Wärmepumpe, die Leistungszahl, ist neben der Vorlauftemperatur von der Quellentemperatur abhängig. Somit erfolgt die Wärmebereitstellung der Luft-Wärmepumpe im Sommer am effizientesten. Im Winter, bei geringeren Temperaturen, sinkt entsprechend die Leistungszahl der Luft-Wärmepumpe. Dem gegenüber stehen die geringeren Investitionskosten und einfache Umsetzung der Luft-Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Varianten der Wärmepumpen. Gerade in Dänemark ist die Luft-Wärmepumpe eine zentrale und etablierte Technologie in kommunalen Wärmenetzen.

Während Wärmepumpen in Haushalten 40 % der theoretisch maximal möglichen Leistungszahl erreichen, also einen Gütegrad von 40 %, erreichen moderne Großwärmepumpen Gütegrade zwischen 65 % und 70 %. Abbildung 4-13 zeigt den Verlauf der Leistungszahl einer Großwärmepumpe für verschiedene Vorlauftemperaturen. Diese gibt das Verhältnis zwischen abgegebener thermischer Leistung zu aufgebrauchter elektrischer Leistung an. Bei einer Vorlauftemperatur von 70°C, wie sie bei Wärmenetzen der 4. Generation üblich ist, wird auch bei geringen Temperaturen eine Leistungszahl von ca. 3 erreicht.

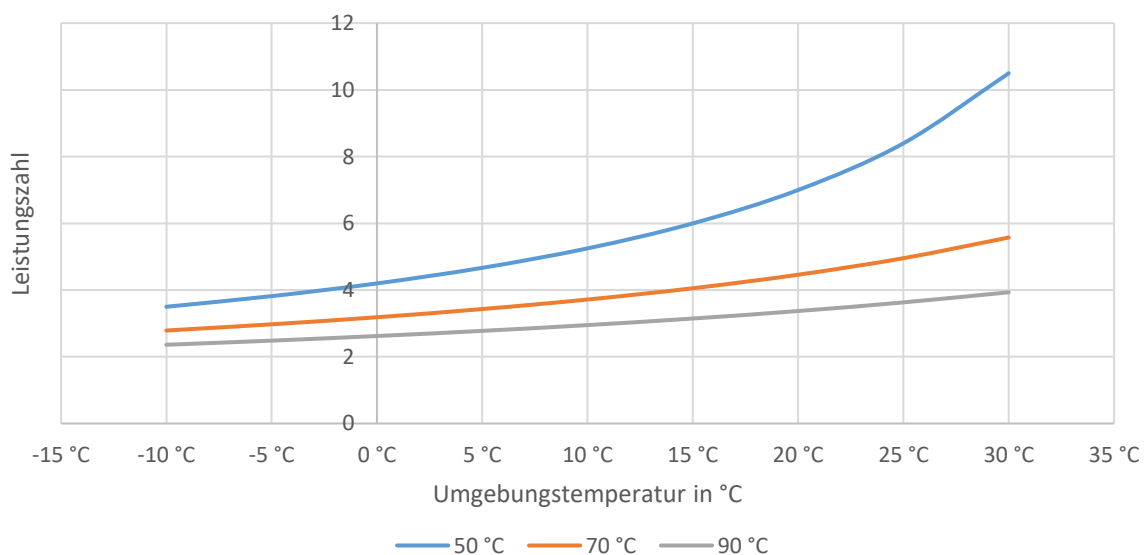


Abbildung 4-13: Darstellung der Leistungszahl einer Großwärmepumpe bei verschiedenen Vorlauftemperaturen über der Quellentemperatur

Abhängig vom Standort der Heizzentrale kann es erforderlich sein, einen Schallschutz zur Einhaltung der maximal zulässigen Schallemission vorzusehen.

4.2.2 GEOTHERMIE

Die Nutzung von Geothermie wird in zwei verschiedene Arten eingeteilt. Bei einer Tiefe von 1,5 m bis etwa 400 m Tiefe spricht man von oberflächennaher Geothermie, während darunter von tiefer Geothermie gesprochen wird.

4.2.2.1 Oberflächennahe Geothermie

Bei oberflächennaher Geothermie spielen drei Komponenten eine wichtige Rolle. Diese sind die Wärmequellanlage, die Wärmepumpe und die Wärmenutzungsanlage.

Durch die Wärmequellanlage wird die im Boden vorhandene Wärme erschlossen. Es existieren verschiedene Systeme zur Gewinnung der Wärme. Diese werden durch einen Frostschutz/Wassergemisch, kurz Sole, durchflossen.

- **Flächenkollektoren:**
Unterhalb der Frostgrenze (etwa 1,5 m tief) werden Kunststoffrohre verlegt, welche etwa die 1,5 – 2-fache Fläche der zu beheizenden Fläche einnehmen müssen. Pro kW Heizleistung werden etwa 15 m² bis 30 m² Kollektorfläche benötigt. Diese Fläche darf nicht überbaut sein, da sich die Wärme im Boden über den Sommer regenerieren muss.
- **Erdwärmesonden:**
Werden in Bohrungen bis etwa 100 m eingebracht. Sie bestehen aus paarweise gebündelten U-förmigen Kunststoffrohrschleifen. Regeneration findet über Nachströme von Energie im Untergrund statt. Die Leistung der Sonden hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab, welcher in Schleswig-Holstein sehr komplex aufgebaut ist. Der Richtwert für die Leistung der Sonden liegt bei einer Sondenlänge von 100 m bei 3 – 6 kW.
- **Spiralsonden, Erdwärmekörbe und Grabenkollektoren:**
Dies sind Sonderformen, die bei einem geringen Platzangebot gebaut werden können.

Die in den verschiedenen Kollektoren gesammelte Wärme wird über eine Wärmepumpe auf für den Verbraucher nutzbare Temperaturen gebracht. Aufgrund der höheren Quelltemperatur im Winter ist die Arbeitszahl einer Erdwärmepumpe im Winter höher als die einer Luftwärmepumpe.

Für die Wärmenutzungsanlage gilt als Richtwert, dass diese die Wärme auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau nutzen sollte. Heizung und Dämmung sollten bestenfalls auf eine Vorlauftemperatur von 35°C ausgelegt werden. Wird mit der Wärmepumpe auch Warmwasser erzeugt oder liegt die Vorlauftemperatur deutlich über 35°C, so steigt die Belastung der Erdwärmesonde und die Leistungszahl der Wärmepumpe wird aufgrund der höheren Temperaturen geringer.

Abbildung 4-14 zeigt das Potenzial oberflächennaher Geothermie für das Quartiersgebiet anhand der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens in einer Tiefe von 0-50m. Es ist zu sehen, dass der Großteil des Gebiets (zentral und östlich) in einem Bereich einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 1,8 und 2,0 W/mK und ein weiterer großer Teil (westlich) in einem Bereich einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 2,0 und 2,2 W/mK liegt. Damit besteht in diesen Bereichen mittleres bis hohes Potenzial für die Nutzung dieser Technologie.

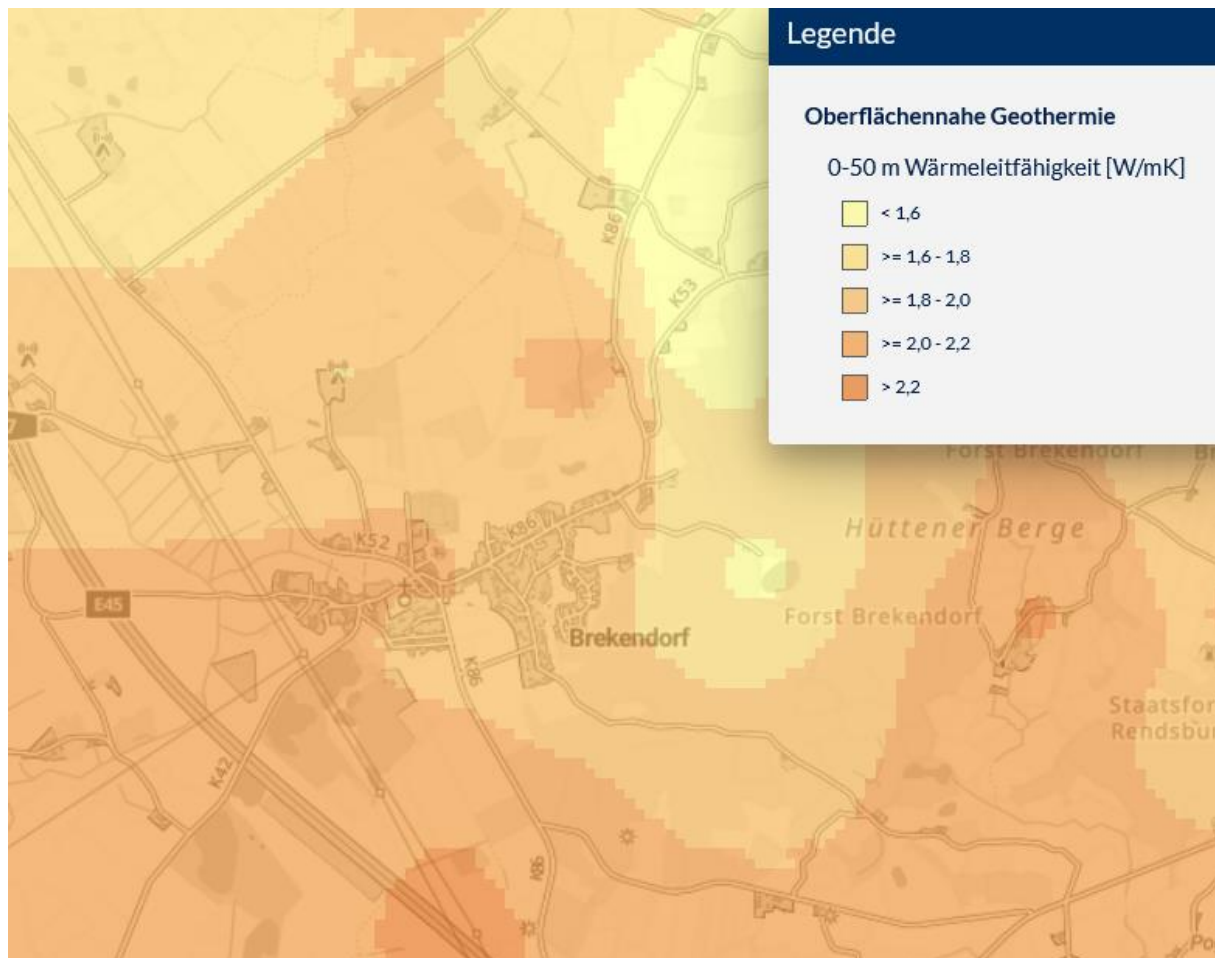


Abbildung 4-14: Potenzial oberflächennaher Geothermie (DA Nord, 2024)

Für eine genauere Betrachtung eines entsprechenden Erdwärmesondenfeldes muss zunächst ein Geothermal Response Test durchgeführt werden, der Auskunft über das tatsächlich vorhandene Potenzial zur Wärmeentnahme gibt. Da mehrere Sonden erforderlich sind, muss anschließend die Temperaturantwort des Sondenfeldes simuliert werden. Grundlage hierfür ist zum einen der Geothermal Response Test und zum anderen das jeweilige Nutzerprofil (Heizlast). Um die mögliche Entzugsleistung zu erhöhen und ein Auskühlen des Untergrundes zu verhindern, sollte der Untergrund regeneriert werden. Dies ist z.B. durch Abwärme oder Kühlung im Sommer möglich. In diesem Zusammenhang kann die oberflächennahe Geothermie nicht nur zur Heizungsunterstützung im Winter eingesetzt werden, sondern auch zur Kühlung im Sommer. Diese Kombination der Nutzung macht die Geothermie zu einer interessanten Ergänzung zu anderen Technologien, die sich auf Heiz- und Kühlzwecke konzentrieren.

4.2.2.2 Tiefe Geothermie

Von tiefer Geothermie spricht man ab Bohrtiefen von mehr als 400 m. Üblich ist auch die Verwendung des Begriffes „mitteltiefe Geothermie“, welche den Bereich von 400 – 1000 m umfasst. Durch tiefe Bohrungen lassen sich wärmeführende Schichten erschließen, welche auf einem hohen Temperaturniveau liegen.

Tiefe Geothermie wird in Deutschland bisher fast ausschließlich hydrothermal im Dubletteverfahren realisiert. Dabei werden zwei Bohrungen im Abstand von wenigen hundert Metern bis zu etwa drei Kilometern abgeteuft. Hydrothermal bedeutet, dass im Untergrund vorhandenes Thermalwasser zur Förderung genutzt wird.

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist die petrothermale Geothermie, bei der durch Stimulationsmaßnahmen die Durchlässigkeitseigenschaften des Untergrundes künstlich verbessert werden und so die Zirkulation und Erwärmung eines eingebrachten Fluids ermöglicht wird. Über eine Förderbohrung wird das geothermisch nutzbare Reservoir erschlossen und über eine Reinjektionsbohrung wird das abgekühlte Wasser wieder in den Untergrund eingeleitet. An der Oberfläche wird dem Thermalwasser über Wärmetauscher die Wärme entzogen und z.B. an ein Wärmenetz abgegeben. Die petrothermale Geothermie befindet sich derzeit noch im Forschungs- & Entwicklungsstadium und wird daher in Deutschland bisher kaum genutzt.

Abbildung 4-15 zeigt die Verbreitung von potenziell hydrothermal nutzbaren Sandsteinschichten. In der Umgebung von Brekendorf ist leider nur eine geringe Datenqualität vorhanden. Modellierungen der im Untergrund vorhandenen Gesteinsschichten lassen jedoch vermuten, dass Brekendorf in einem Gebiet mit Räh Sandstein liegt, der potenziell für eine hydrothermale Nutzung geeignet sein könnte. Für eine genauere Potenzialermittlung müssen Probebohrungen vorgenommen werden.



Abbildung 4-15: Verbreitung potenziell nutzbarer Gesteinsschichten (DA Nord, 2024)

4.2.3 GRUNDWASSER-WÄRMEPUMPE

Der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen verbindet prinzipiell Vorteile der Luft- und Erdwärme-Wärmepumpe. Die Investitionskosten einer Grundwasser-Wärmepumpe sind, zumindest für die Verwendung von Großwärmepumpen, geringer als bei Erdwärme-Wärmepumpen. Da das Grundwasser im Winter höhere Temperaturen aufweist als die Umgebungsluft, arbeiten Grundwasser-Wärmepumpen im Winter mit höheren Leistungszahlen als Luft-Wärmepumpen.

Bei der Verwendung von Grundwasser als Wärmequelle werden mindestens zwei Brunnen benötigt. Das Grundwasser wird zunächst über einen Entnahmekbrunnen gefördert und über die Wärmepumpe um einige Grad Celsius abgekühlt. Anschließend wird das gekühlte Wasser in einem Schluckbrunnen wieder eingeleitet. Sowohl die zulässige Entnahmemenge an Grundwasser als auch die Position der Brunnen müssen zusätzlich geprüft werden. Bei den Brunnen ist darauf zu achten, dass sie ausreichend weit voneinander entfernt sind, um einen thermischen Kurzschluss beim Einleiten des abgekühlten Wassers zu verhindern. Ebenso ist die Fließrichtung des Grundwassers zu beachten.

Abbildung 4-16 zeigt die Ausbreitung eines Trinkwassergewinnungsgebietes in und um Brekendorf. Es ist zu sehen, dass sich ein Trinkwassergewinnungsgebiet über den nördlichen Teil des Quartiers erstreckt und sich weiter nordöstlich ausbreitet. In diesem Gebiet dürfen Eingriffe in das Grundwasser beispielsweise keine mengentechnische oder chemikalische Veränderung hervorrufen, sodass der Einbau einer Grundwasser-Wärmepumpe in diesem Gebiet gesondert geprüft werden muss.

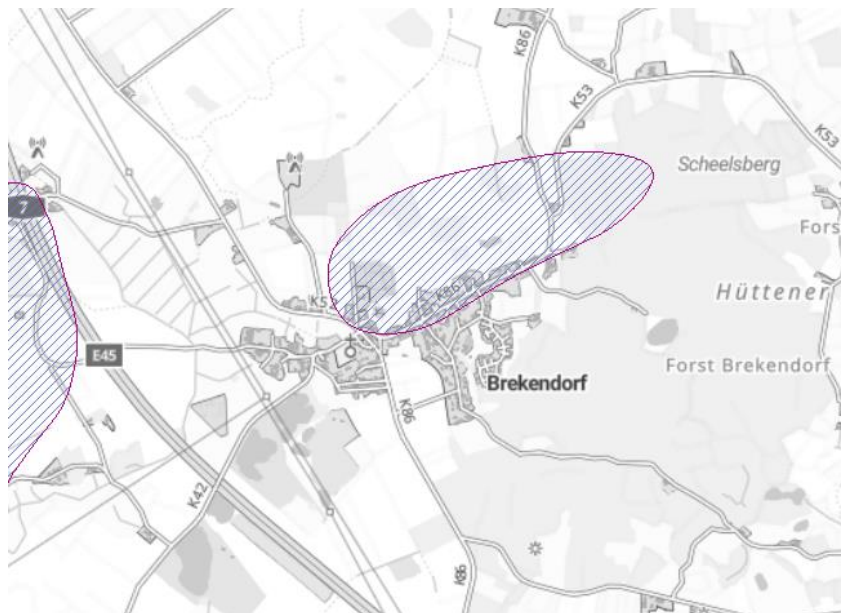


Abbildung 4-16: Trinkwassergewinnungsgebiete in und um Brekendorf
Quelle: (DA Nord, 2024)

4.2.4 ABWÄRME-WÄRMEPUMPE

Abwärme von Betrieben oder der Industrie stellt die attraktivste Wärmequelle für Wärmepumpen dar. Geringe Investitionskosten für die Erschließung dieses Potenzials sowie die tendenziell hohen Temperaturen der Abwärme sorgen für eine hohe Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage. Dieser Ansatz kann jedoch hier nicht weiterverfolgt werden, da in der Gemeinde Brekendorf keine Abwärmequellen identifiziert werden konnten, die Abwärme in ausreichender Menge zur Verfügung stellen können.

4.2.5 BIOMETHAN BLOCKHEIZKRAFTWERK

Gasbetriebene Blockheizkraftwerke (BHKW) stellen eine Möglichkeit zur gleichzeitigen Bereitstellung von elektrischem Strom und Wärme dar. Grundsätzlich ist der Wirkungsgrad solcher Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen höher als bei einer getrennten Bereitstellung von Strom und Wärme. Für eine regenerative und nachhaltige Erzeugung sollten diese Anlagen, sofern die Marktlage es zulässt, mit Biomethan als Brennstoff betrieben werden. Dieser kann über eine Direktleitung, bei der Netzentgelte als Gaspreiskomponente entfallen, von nahegelegenen BGA oder bilanziell über das Gasnetz bezogen werden.

Der Betrieb des BHKW wird anhand wirtschaftlicher Randbedingungen und zur Deckung des Wärmebedarfs optimiert. Können durch hohe Strompreise an der Börse Gewinne erzielt werden, speist das BHKW Strom ins öffentliche Netz ein. Die anfallende Wärme wird direkt im Wärmenetz genutzt oder in einem Wärmespeicher zwischengespeichert. Bei niedrigen Strompreisen kann das BHKW genutzt werden, um beispielsweise eine Wärmepumpe mit Eigenstrom zu versorgen.

Das BHKW der bereits in Kapitel 4.1.3 beschriebenen, im Quartier liegenden BGA hat eine thermische Leistung von 401 kW. Die BGA liegt in etwa 2 Kilometern Entfernung außerhalb des Quartieres und bietet das Potenzial bei der zukünftigen Wärmeversorgung des Quartiers eine Rolle zu spielen. Der Betreiber der BGA hat bereits Interesse an einer Zusammenarbeit geäußert.

4.2.6 BIOMASSE

Biomasse ist allgemein gefasst organische Masse, die von Lebewesen oder Pflanzen stammt. Typischerweise wird bei der Wärmeversorgung hauptsächlich Holz (Hackgut oder Pellets) unter dem Begriff Biomasse verstanden, aber andere Stoffe wie Stroh, Grünpflanzen etc. sind ebenfalls mögliche Brennstoffe für Biomasseanlagen. Holz zählt neben Wind, Wasser und Sonne zu den erneuerbaren Energieträgern und ist aus diesem Grund von CO₂-Abgaben befreit. Trotz lokaler CO₂-Emissionen, die während der Verbrennung entstehen, wird bloß jene Menge an CO₂ freigesetzt, die der Baum während seiner Wachstumsphase gebunden hat. Ebendiese Menge CO₂ würde auch beim natürlichen Zersetzungsprozess wieder an die Umwelt abgegeben werden.

Sofern Biomasse aus nachhaltigem Anbau oder als Abfallprodukt in Gewerben sowie der Industrie anfällt, können Biomasseanlagen eine gute Ergänzung für eine kommunale Wärmeversorgung darstellen.

4.2.7 SOLARTHERMIE

Solarthermie ist eine Technologie, die die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme ermöglicht. In Solarthermie-Kollektoren wird ein Wasser-Glykol-Gemisch durch das einfallende Sonnenlicht erwärmt und kann so effizient in der Wärmeversorgung eingesetzt werden. Besonders in sonnenreichen Monaten kann Solarthermie einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Wärmeversorgung leisten.

Zwar können hohe Vorlauftemperaturen und niedrige Umgebungstemperaturen in kalten Monaten den Wirkungsgrad etwas reduzieren, doch mit der richtigen Systemplanung, insbesondere durch den Einsatz von saisonalen Wärmespeichern, kann auch in sonnenarmen Zeiten eine konstante Wärmeversorgung gewährleistet werden, wenn auch diese meist nicht für eine volle Versorgung ausreichend ist. Im Gegensatz zur Photovoltaik, die auch diffuse Einstrahlung nutzen kann, ist Solarthermie mehr auf direkte Sonneneinstrahlung angewiesen, was jedoch bei guter Standortwahl hohe Effizienz und Klimafreundlichkeit verspricht.

Ein besonders großer Vorteil der Solarthermie liegt im hohen Wärmeertrag im Sommer, was die Möglichkeit bietet die gesamte Wärmelast der Sommermonate abzudecken. Dies würde die primäre Erzeugungstechnologie deutlich entlasten und die Möglichkeit für problemlose Wartung dieser bieten. Dies kann nicht nur die Effizienz des Gesamtsystems erhöhen, sondern auch Betriebskosten und Emissionen senken.

Die Flächen, die im Kapitel 4.1.2 dargestellt sind, wären prinzipiell auch für Solarthermie geeignet. Allerdings stellen die Entfernung und die notwendige Querung einer Autobahn eine große Hürde für die Nutzung dieser Flächen durch Solarthermie dar.

Bei der derzeitigen Marktsituation und den Investitionsanforderungen wird die Installation einer Photovoltaikanlage oft bevorzugt. Photovoltaik-Strom kann vielseitig verwendet werden, beispielsweise zum Betrieb von Wärmepumpen, was die Flexibilität und Effizienz des Energiesystems erhöht. Überschussstrom kann zudem im Sommer besser gewinnbringend verkauft werden als überschüssige Wärme, was die wirtschaftliche Attraktivität weiter steigert. Dennoch bleibt Solarthermie eine wertvolle Option für die direkte Wärmeherzeugung.

4.2.8 PHOTOVOLTAISCH-THERMISCHE KOLLEKTOREN

Ein Photovoltaisch-Thermischer Kollektor (PVT) kombiniert Photovoltaik (PV) und Solarthermie (T) in einem Kollektor. Dieser Hybridkollektor wandelt so die Sonnenstrahlung nicht nur in Wärme oder Strom um, sondern er kombiniert die Nutzung und steigert somit die mögliche Ausbeute (Fraunhofer ISE, 2020). Durch den solarthermischen Teil des Kollektors, welcher auf der Rückseite des Moduls angebracht ist, wird überschüssige Wärme nutzbringend abgeführt und die PV-Zellen können auch bei hohen Temperaturen im Sommer effizient arbeiten, denn: Je kälter die Rückseite ist, desto höher wird der Wirkungsgrad des PV-Moduls.

Für kleinere Anwendungen wie Ein- bzw. Mehrfamilienhäuser, oder Liegenschaften wie Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser etc. gibt es bereits Beispiele für die Anwendung von PVT-Kollektoren. Gerade da, wo auch im Sommer genügend Wärme abgenommen werden kann, hat diese Technologie ihre Konkurrenzfähigkeit gezeigt. In Kombination mit einer Wärmepumpe entstehen in diesen Fällen sehr effiziente Systeme. (TGA-Praxis, 2022)

Es gibt erste Untersuchungen zur Anwendung von PVT-Kollektoren in kalten Nahwärmenetzen. Beispielsweise wurde für ein Neubauquartier in der Stadt Bedburg ein Konzept mit einem PVT-Feld mit einer elektrischen Leistung von 4 MW und einer thermischen Leistung von 3 MW vorgestellt (Solarthermalworld, 2021). Zur Einbindung von PVT-Anlagen in ein Wärmenetz mit höherer Vorlauftemperatur, welches auf Grund der Gebäudealtersklassen in Brekendorf zu nutzen wäre, liegen keine aussagekräftigen Untersuchungen vor. Aus diesem Grund wird bei der Konzipierung eines Wärmenetzes auf die Untersuchung von PVT verzichtet.

4.3 MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH GEBÄUDESANIERUNG

Die Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudesektor ist einer der zentralen Aspekte zur Minderung der Treibhausgasemissionen. Ca. 36 % des gesamten Endenergieverbrauchs entfällt auf den Gebäudebereich, was diesen zu einem der größten Emittenten klimaschädlicher Gase in Deutschland macht (Umweltbundesamt, 2024). Im Folgenden wird das Potenzial zur Reduzierung dieser Emissionen in Brekendorf dargestellt.

Der Gesamtendenergiebedarf von Brekendorf beträgt 9,71 GWh/a (exklusive Mobilität), wovon 87 % und damit 8,44 GWh/a für die Bereitstellung von Wärme im Quartier benötigt wird. Der Gesamtbedarf an Wärme für private Wohngebäude liegt dabei bei etwa 8,39 GWh/a.

Der Gebäudebestand von Brekendorf ist bezogen auf Sanierungsgrad und spezifischen Wärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche über dem deutschen Mittel. In Deutschland werden pro m² Wohnfläche ca. 129 kWh/a benötigt. Der durchschnittliche spezifische Wärmeverbrauch im Quartier Brekendorf liegt bei 147 kWh/(m² a) entsprechend der nach dem GEG definierten Energieeffizienzklasse E (GEG 2020, Anlage 10 zu § 86).

Mit dem Blick auf das Ziel der Bundesregierung den Gebäudebestand Deutschlands bis 2050 nahezu klimaneutral abzubilden, ist der deutsche Durchschnitt Stand heute zu hoch. In Tabelle 4-3 ist die Entwicklung von Brekendorf mit Sanierungsraten von 1 %, 2 % und 5 % dargestellt. Die Sanierungsrate gibt Auskunft darüber, wie viel Prozent des Gebäudebestandes jährlich saniert wird. Aktuell wird in Deutschland mit einer Sanierungsrate von 1 % gerechnet (Gebäude Energieberater, 2024).

Bei einer gleichbleibenden Sanierungsrate von 1 % wird Brekendorf eine Reduzierung von 19 % auf ca. 6,8 GWh/a erreichen. Auch bei einer Sanierungsrate von 5 % wird der Gebäudesektor in Brekendorf 2045 nicht klimaneutral sein. Hierfür ist es zwingend notwendig, dass die Wärmeerzeugung regenerativ realisiert wird.

Tabelle 4-3: Sensitivitätsanalyse Sanierungsrate

	2024	2030	2035	2040	2045
Sanierungsrate 1 %					
Wärmebedarf [MWh]	8.392	7.900	7.513	7.145	6.795
Prozentuale Einsparung [%]	0	6	10	15	19
CO ₂ Emissionen Wärme [t/a]	1.935	1.822	1.733	1.648	1.567
Sanierungsrate 2 %					
Wärmebedarf [MWh]	8.392	7.434	6.719	6.074	5.490
Prozentuale Einsparung [%]	0	11	20	28	35
CO ₂ Emissionen Wärme [t/a]	1.935	1.714	1.550	1.401	1.266
Sanierungsrate 5 %					
Wärmebedarf [MWh]	8.392	6.169	4.773	3.693	2.858
Prozentuale Einsparung [%]	0	26	43	56	66
CO ₂ Emissionen Wärme [t/a]	1.935	1.423	1.101	852	659

Die in Tabelle 4-3 dargestellten Zahlen beziehen sich auf die Sanierung der Gebäudehülle. Ein Wechsel der Wärmeerzeugung ist hier nicht berücksichtigt. Die CO₂-Emissionen sind mit dem Energiemix des Status Quo abgebildet und reduzieren sich durch einen Rückgang des Energiebedarfes. Der Umstieg von fossilen Energieträgern auf regenerative Wärmeerzeugung kann bereits im Szenario mit 2 % Sanierungsrate die aktiv ausgestoßenen CO₂-Emissionen gegen Null gehen lassen.

4.3.1 FÖRDERMÖGLICHKEITEN IM BEG

Am 8. September 2023 wurde vom deutschen Bundestag die Novelle des GEG sowie Eckpunkte für eine neue Förderung des Heizungstausches beschlossen. Das oftmals als „Heizungsgesetz“ bezeichnete Gesetz brachte damit zu Beginn des Jahres einige Neuerungen. Für den Heizungstausch gibt es folgende Investitionskostenzuschüsse:

- **Eine Grundförderung von 30% für alle Wohn- und Nichtwohngebäude**, die wie bisher allen Antragstellergruppen offensteht
- einen **einkommensabhängigen Bonus von 30%** für selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer mit bis zu 40.000 € zu versteuerndem Haushaltseinkommen pro Jahr
- sowie einen **Klima-Geschwindigkeitsbonus von 20% bis 2028 für den frühzeitigen Austausch alter fossiler Heizungen** für selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer
- Die Boni sind kumulierbar bis zu einem **max. Fördersatz von 70%**
- Vermieterinnen und Vermieter werden ebenfalls die Grundförderung erhalten; die Investition in den Heizungstausch darf dabei nicht über die Miete umgelegt werden. Hierdurch wird der Anstieg der Mieten durch energetische Sanierung gedämpft.

Die maximal förderfähigen Investitionskosten betragen 30.000 € für ein Einfamilienhaus bzw. die erste Wohneinheit in einem Mehrparteienhaus. Der maximal erhältliche Investitionskostenzuschuss für den Heizungstausch beträgt somit - bei einem Fördersatz von 70 % - 21.000 €. In einem Mehrparteienhaus erhöhen sich die förderfähigen Kosten je weitere Wohneinheit. Bei Nichtwohngebäuden gelten Grenzen für die förderfähigen Kosten nach Quadratmeterzahl.

Für den Heizungsaustausch und Effizienzmaßnahmen ist außerdem ein neues zinsvergünstigtes Kreditangebot für Antragstellende bis zu einem zu versteuernden Haushaltseinkommen von 90.000 €/a erhältlich.

Zusätzlich zur Förderung des Heizungsaustauschs können Zuschüsse für weitere Effizienzmaßnahmen beantragt werden, wie z.B. für Dämmung der Gebäudehülle, Anlagentechnik und Heizungsoptimierung. Die Fördersätze betragen hier weiterhin 15%, plus ggf. 5% Bonus bei Vorliegen eines individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP). Die maximal förderfähigen Investitionskosten für Effizienzmaßnahmen liegen bei 60.000 € pro Wohneinheit, wenn ein individueller Sanierungsfahrplan vorliegt und bei 30.000 ohne Sanierungsfahrplan.

Neu dabei ist, dass die Höchstgrenzen der förderfähigen Kosten für den Heizungstausch und weitere Effizienzmaßnahmen kumulierbar sind. In der Summe gilt eine Höchstgrenze der förderfähigen Kosten von 90.000 €, wenn Heizungstausch und Effizienzmaßnahme durchgeführt werden. Vorher betrugen die maximal förderfähigen Investitionskosten 60.000 €. Diese Summe gilt für alle durchgeführten Maßnahmen am Gebäude (Heizungstausch und weitere Effizienzmaßnahmen) innerhalb eines Kalenderjahres.

Die bisherige Zuschussförderung energetischer Sanierungsschritte in den BEG-Einzelmaßnahmen sowie das Angebot zinsvergünstigter Kredite mit Tilgungszuschuss für Komplett-sanierungen auf Effizienzhausgebäudeniveau bleiben erhalten. Alternativ kann auch weiterhin die Möglichkeit der steuerlichen Förderung nach Einkommenssteuerrecht in Anspruch genommen werden. Die Förderrichtlinien BEG-Wohngebäude und BEG-Nichtwohngebäude bleiben unverändert.

Eine übersichtliche Darstellung der Förderung für den Heizungstausch in der neuen BEG ist in Abbildung 4-17 dargestellt.

Heizungstausch (KfW)			Sanierung (BAFA)
Grundförderung	Klimageschwindigkeitsbonus	Einkommensbonus	Weitere Effizienzmaßnahmen
30%	20%	30%	20%
Alte Heizung gegen neue, klimafreundliche tauschen	Austausch von funktionstüchtigen Öl-, Kohle-, Gas-Etagen- oder Nachtspeicherheizungen sowie mehr als zwanzig Jahre alten Biomasse- und Gasheizungen	Für selbstnutzende Eigentümer_innen	Z.B. für die Dämmung der Gebäudehülle, Anlagentechnik und Heizungsoptimierung
- Für alle Wohn- und Nichtwohngebäude und alle Antragstellergruppen - Effizienz-Bonus von 5% für Wärmepumpen* und 2.500 € Zuschlag für Biomasseheizungen**	Für den frühzeitigen Austausch alter fossiler Heizungen (Nach 2028 alle 2 Jahre 3% weniger)	Erhältlich mit bis zu 40.000 € zu versteuerndem Haushaltsjahreseinkommen	15% Grundförderung + ggf. 5% bei vorhandenem Sanierungsplan (iSFP-Bonus)
Gesamtförderung			
- Maximaler kumulierter Fördersatz von 70% - Maximal förderfähigen Ausgaben bei 30.000 € für Einfamilienhäuser bzw. die erste Wohneinheit in einem Mehrparteienhaus - Bei max. 70% Förderung entsprechend 21.000 € - In einem Mehrparteienhaus erhöhen sich die maximal förderfähigen Ausgaben um jeweils 15.000 € für die zweite bis sechste sowie um jeweils 8.000 € ab der siebten Wohneinheit			- Maximaler kumulierter Fördersatz von 20% - Die maximal förderfähigen Ausgaben für weitere Effizienzmaßnahmen liegen mit Sanierungsfahrplan bei 60.000 € pro Wohneinheit und bei 30.000 € ohne Sanierungsfahrplan

* Für Wärmepumpen, die als Wärmequelle Wasser, Erdreich oder Abwasser nutzen oder ein natürliches Kältemittel einsetzen

** wenn sie einen Staub-Emissionsgrenzwert von 2,5 mg/m³ einhalten

Abbildung 4-17: Förderübersicht Heizungstausch und Einzelmaßnahmen

Die für die Heizungsförderung zur Verfügung stehenden Zuschüsse sind im Folgenden aufgelistet:

- der Kauf und Installation von:
 - solarthermischen Anlagen
 - Biomasseheizungen
 - elektrisch angetriebenen Wärmepumpen
 - Brennstoffzellenheizungen
 - wasserstofffähigen Heizungen
 - innovativer Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien
 - der Anschluss an ein Gebäude- oder Wärmenetz
- die Fachplanung und Baubegleitung durch eine Expertin oder einen Experten für Energieeffizienz
- die Kosten für vorbereitende und wiederherstellende Maßnahmen (Umfeldmaßnahmen)
- Ausgaben für eine provisorische Heiztechnik bei einem Heizungsdefekt (bis zum Austausch der Heizung)

Die **Energieberatung für Wohngebäude**, worunter auch die Erstellung des iSFP fällt, wird seit dem 07.08.2024 mit **50 %** des förderfähigen Beratungshonorars, maximal jedoch mit **650 €** bei Ein- oder Zweifamilienhäusern bzw. mit maximal **850 €** bei Wohngebäuden ab drei Wohneinheiten gefördert.

4.3.2 MUSTERSANIERUNGEN

Zur Identifizierung und dem Aufzeigen von typischen Sanierungsmaßnahmen wurden nach der Erfassung des Ist-Zustands in Brekendorf Referenzgebäude zur Mustersanierung ausgewählt. Dies geschah über eine Verlosung bei der Teilnahme an der durchgeführten Umfrage. Als Anreiz zur Teilnahme und Partizipation als Referenzgebäude haben die teilnehmenden ausgewählten Gebäude einen Energiebedarfsausweis erhalten.

Für die Häuser wurden beispielhafte Mustersanierungen durchgeführt. Diese Sanierungen sollen das Potenzial zur Energieeinsparung verbildlichen. Anhand der einzelnen Maßnahmen können die Bewohner_innen Brekendorfs ein Gefühl für ökonomische und ökologische Vorteile bei möglichen Sanierungen an der eigenen Immobilie entwickeln. Die Mustersanierungen umfassen jeweils drei Maßnahmen. Die Maßnahmen sind immer als Einzelmaßnahmen gerechnet.

Während der Finalisierung des Endberichts hat das zweite Referenzgebäude den Wunsch geäußert von der Veröffentlichung der gebäudebezogenen Daten und Berechnungen abzusehen, weshalb folgend nur ein Gebäude für Brekendorf dargestellt wird.

4.3.2.1 Mustersanierung Referenzgebäude 2 – Dorfstr. 49

In Tabelle 4-4 sind die Grundlegenden Daten zu dem Referenzgebäude aufgelistet. Diese können als Orientierung für Personen in Brekendorf dienen, um das Referenzgebäude mit der eignen Immobilie vergleichen zu können. Die Nutzfläche des Gebäudes berechnet sich aus dem simulierten Gebäudevolumen. Bei dem angegebenen Wärmeverbrauch ist darauf hinzuweisen, dass es sich hierbei um den Verbrauch beim individuellen Heizverhalten handelt. Der genormte spezifische Wärmebedarf der Immobilie berechnet sich aus den thermischen Verlusten der Gebäudehülle sowie den angenommenen technischen Gegebenheiten der Heizungsanlage.

Tabelle 4-4: Grunddaten – Dorfstraße 49

	Grunddaten des Gebäudes	
Baujahr		1938
Baugrundfläche		187 m ²
Nutzfläche		243 m ²
Wärmeverbrauch		52.000 kWh/a
Spez. Wärmeverbrauch		214 kWh/ (m ² a)
Wärmeversorgung		Gasheizung (1 Jahr alt)

Maßnahme 1 – Austausch Tür (Hinterhaus)

Im Zuge der Mustersanierung wurde der Austausch einer alten Tür in Betracht gezogen. Diese Maßnahme ist besonders sinnvoll, da veraltete Türen oft schlecht isoliert sind und dadurch erhebliche Wärmeverluste entstehen. Eine moderne, gut gedämmte Tür verringert die Wärmeverluste deutlich, indem sie Kältebrücken schließt und den Wärmefluss nach außen reduziert. Dadurch können die Wärmeverluste der Tür um etwa 74 % gesenkt werden, was zu einer Einsparung von 1 % des gesamten Wärmebedarf und damit zu einer höheren Energieeffizienz und einem geringeren Heizbedarf führt.

Maßnahme 2 – Dämmung der Kellerdecke

Im Rahmen der Gebäudesanierung wurde die Dämmung der Kellerdecke als Maßnahme in Betracht gezogen. Diese Maßnahme erweist sich als besonders sinnvoll, da ungedämmte Kellerdecken oft zu erheblichen Wärmeverlusten in den darüber liegenden Räumen führen. Insbesondere über die Kellerdecke kann viel Heizenergie entweichen, was den Energieverbrauch erhöht und die Fußbodentemperatur in den Wohnräumen ungemütlich kühl werden lässt.

Die vorgesehene Dämmung umfasst eine 14 cm starke Dämmschicht, die mithilfe von Kellerdeckendämmplatten angebracht wird. Da die Dämmung in Eigenleistung erfolgen kann, können die Investitionskosten vergleichsweise niedrig gehalten werden. Gleichzeitig lässt sich mit dieser Maßnahme eine nachhaltige Verbesserung des Wohnkomforts erzielen, da die Fußbodentemperaturen spürbar angenehmer werden. Zudem kann durch die Dämmung eine Reduzierung der gesamten Wärmeverluste um etwa 14 % erreicht werden, was sich positiv auf den Energieverbrauch und die Heizkosten auswirkt.

Maßnahme 3 – Dämmung der Wände (Giebel Obergeschoss)

Als dritte Maßnahme wurde bei der Sanierung des Gebäudes die Dämmung der Giebelwand im Obergeschoss mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) betrachtet. Diese Maßnahme ist besonders effektiv, da ungedämmte Giebelwände oft eine zentrale Ursache für Wärmeverluste sind. Durch das WDVS wird die Giebelwand optimal isoliert, wodurch weniger Wärme entweichen kann. Gerade im Obergeschoss, wo Wärmeverluste besonders ins Gewicht fallen, kann diese Dämmung in diesem Beispiel eine Reduktion der Wärmeverluste um etwa 9 % bewirken. Dies sorgt für eine spürbare Senkung der Heizkosten und eine bessere Energieeffizienz.

Maßnahme 4 – Dämmung des Daches

Im Rahmen der Gebäudesanierung wurde die Dämmung des Daches als kostenintensive Maßnahme betrachtet. Diese Maßnahme ist besonders effektiv, da ungedämmte oder schlecht gedämmte Dächer zu erheblichen Wärmeverlusten führen können. Da warme Luft bekanntlich nach oben steigt, entweicht ohne eine wirksame Dämmung viel Heizenergie über das Dach, was zu einem erhöhten Energieverbrauch und höheren Heizkosten führt.

Für die Dachsanierung wurde eine 22 cm starke Schicht aus Glaswolle eingeplant. Diese Dämmmaterialien zeichnen sich durch ihre hohe Wärmedämmfähigkeit aus und können in Eigenleistung oder durch Fachfirmen angebracht werden. Durch die umfangreiche Dämmung lässt sich der Wärmeverlust über das Dach deutlich reduzieren. Die Maßnahme führt zu einer Einsparung von etwa 45 % der Heizenergie, was sich nachhaltig auf die Energiekosten und die Umweltbilanz des Gebäudes auswirkt.

Zusammenfassung Dorfstraße 49

Nachfolgend sind die Maßnahmen in einer Übersicht wirtschaftlich und ökologisch zusammengefasst. Bei M1 ist die Investition zu niedrig, um eine Förderung zu beanspruchen, und M2 ist die Arbeit in Eigenleistung vorgesehen. Die Förderungen bei M3 und M4 wurden als maximal mit 20 % angenommen.

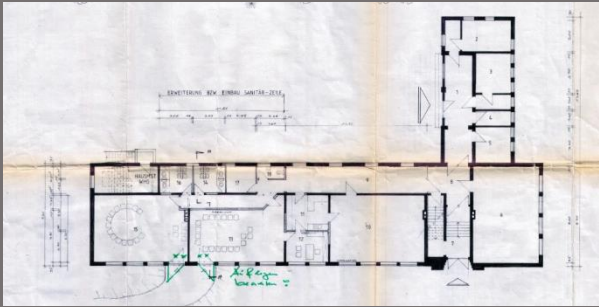
Tabelle 4-5: Zusammenfassung der Mustersanierung Dorfstraße 49

	Investition	Förderung BEG	Investition mit Förderung	Energie- einsparung Wärme	jährl. Einsparung	Statische Amortisation	jährl. CO ₂ Einsparung
 M1	1.200 €	-	1.200 €	2%	100 €/a	13 a	150 kg/a
M2	1.500 €	-	1.500 €	19 %	800 €/a	2 a	1.510 kg/a
M3	min: 3.600 €	min: 720 €	min: 2.880 €	11 %	500 €/a	min: 6 a	910 kg/a
	max: 7.100 €	max: 1.420 €	max: 5.680 €			max: 11 a	
M4	min: 5.400 €	min: 1.080 €	min: 4.320 €	45 %	2.500 €/a	min: 2 a	4.660 kg/a
	max: 27.000 €	max: 5.400 €	max: 21.600 €			max: 8 a	

4.3.3 ENERGETISCHE SANIERUNG „ALTE SCHULE“

Die „Alte Schule“ in Brekendorf ist ein historisches Gebäude, das im Jahr 1950 errichtet wurde und seitdem vielfältige Funktionen erfüllt. Das Erdgeschoss des Gebäudes dient als Kindergarten, der einen wichtigen Beitrag zur Betreuung und frühkindlichen Bildung in der Gemeinde leistet. Im Keller des Hauses sind die Räumlichkeiten des örtlichen Sportvereins untergebracht. Diese Kellerräume wurden im Jahr 1999 teilweise einer energetischen Sanierung unterzogen. Bei der Begehung des Gebäudes sind hier Feuchtigkeitsschäden aufgefallen. Nach 1983 wurde das Gebäude weiter ausgebaut, wobei im Dachgeschoss zwei Wohnungen entstanden. Hinsichtlich des Energieverbrauchs weist das Gebäude einen spezifischen Wärmeverbrauch von 160 kWh pro Quadratmeter und Jahr auf, was es im Vergleich zu anderen Bauten aus der Zeit seiner Errichtung relativ gut dastehen lässt. Dennoch liegt der Verbrauch über dem deutschen Durchschnitt. Die „Alte Schule“ ist insgesamt der Energieeffizienzklasse E zugeordnet.

Tabelle 4-6: Grunddaten – „Alte Schule“

	Grunddaten des Gebäudes	
Baujahr		1950
Baugrundfläche		550 m ²
Nutzfläche		Ca. 1.000 m ²
Wärmeverbrauch		160.000 kWh/a
Spez. Wärmeverbrauch		160 kWh/(m ² a)
Wärmeversorgung		Gasheizung (25 Jahre alt)

Türen

Die Eingangstür am Portal des Gebäudes ist stark veraltet und zeigt deutliche Abnutzungsspuren. Es handelt sich um eine einfache Holztür mit einfachem Glas, die keinerlei moderne Isolierung aufweist. Auf Abbildung 4-18 ist ein Spalt zwischen den Türflügeln erkennbar, der deutlich macht, dass die Tür nicht dicht schließt. Durch diesen Spalt dringt Zugluft ein, was zu einem erhöhten Energieverbrauch führt, da die Heizleistung im Inneren nicht effizient genutzt werden kann. Besonders in den kalten Monaten führt dies zu einem signifikanten Wärmeverlust. Eine Erneuerung der Tür und Verbesserung der Abdichtung sind dringend erforderlich, um den heutigen Anforderungen an Wärmedämmung und Energieeffizienz gerecht zu werden. Weiterhin kann das Behaglichkeitsempfinden im Inneren durch das Verhindern des Zustroms von kalter Luft deutlich gesteigert werden.



Abbildung 4-18: Eingangstür am Portal mit deutlichem Spalt (rechts)

Die Tür, die auf Abbildung 4-19 zu sehen ist, ist eine schlichte Wohnungstür, die sich im Keller des Gebäudes am Ende des Ganges der Umkleiden befindet. Sie bildet die Grenze zwischen dem beheizten Bereich und dem unbeheizten Teil des Kellers. Aufgrund ihrer einfachen Bauweise erfüllt diese Tür nicht die heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz. Insbesondere in den Wintermonaten führt dies zu einem merklichen Wärmeverlust, der nicht nur die Energieeffizienz beeinträchtigt, sondern auch das Behaglichkeitsempfinden in den angrenzenden, beheizten Räumen verringern kann. Zwar handelt es sich bei diesen Kellerräumen um nicht dauerhaft genutzte Bereiche, was die Dringlichkeit eines Austauschs im Vergleich zur Erneuerung der Eingangstür am Portal reduziert, dennoch wäre eine Verbesserung der Wärmedämmung auch hier empfehlenswert.

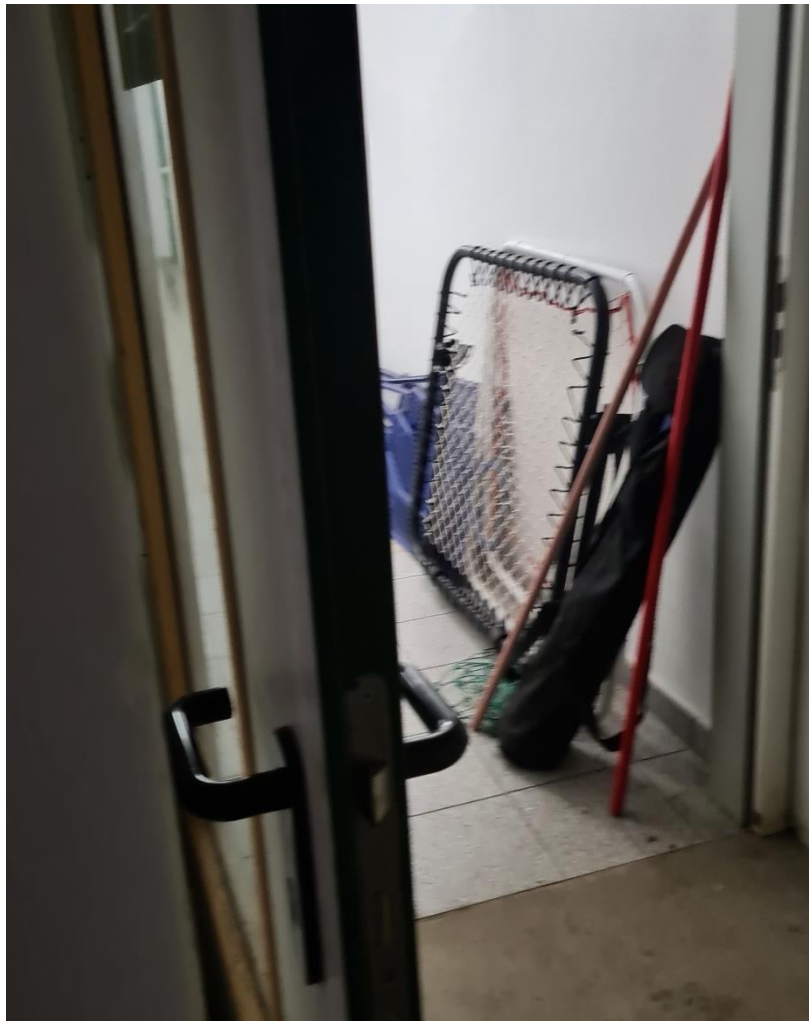


Abbildung 4-19: Einfache Wohnungstür zwischen beheizt und unbeheizt

Dachdämmung

Der Dachraum über den Wohnungen wurde nachträglich als Warmdach ausgeführt, wobei eine Aufsparrendämmung angebracht wurde. Laut den vorliegenden Unterlagen beträgt die Dicke dieser Dämmung 12 cm. Im Vergleich dazu erfordert der aktuelle Standard für eine energetische Förderung eine Dämmstärke von etwa 24 cm. Eine Aufdopplung der Dämmung auf diesen Wert würde eine geschätzte Energieeinsparung von rund 2.000 kWh pro Jahr über die gesamte Fläche des unbewohnten Dachraums bewirken. Die Amortisation dieser Maßnahme wäre erst nach mehreren Jahrzehnten zu erwarten, was ihre Wirtschaftlichkeit in Frage stellt.

Neben den finanziellen Aspekten müssen auch die technischen Möglichkeiten einer weiteren nachträglichen Dämmung des Daches berücksichtigt werden. Da die Umsetzung komplex und potenziell kostspielig ist, sollte die Maßnahme sorgfältig gegen andere energetische Verbesserungen abgewogen werden, die möglicherweise schneller und effizienter zur Reduzierung des Energieverbrauchs beitragen könnten.



Abbildung 4-20: Dachraum über Wohnungen (Warmdach)

Heizungspumpen

Im Rahmen der Begehung der „Alten Schule“ ist aufgefallen, dass ein Großteil der derzeit installierten Heizungspumpen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Es handelt sich hierbei um vier ältere Pumpenmodelle, deren Effizienz deutlich hinter den Möglichkeiten moderner Technologien zurückbleibt. Nachfolgende Modelle sind verbaut:

- 2 x Grundfos UPE 25-45 180
- 1 x Grundfos UPS 25-60 B 180
- 1 x Grundfos UPS 25-60 180

Um den Energieverbrauch der Heizungsanlage zu optimieren und langfristig Kosten zu sparen, bietet sich ein Austausch dieser Pumpen gegen moderne, hocheffiziente Modelle an. Der Austausch der vier Pumpen wird mit etwa 3.000 € veranschlagt. Diese Kosten können über die BEG EM für die Optimierung der Heizungsanlage zu 15 % gefördert werden. Durch die deutlich gesteigerte Energieeffizienz der neuen Pumpen können spürbare Stromeinsparungen erzielt werden, was sich auch finanziell bemerkbar macht. In der Regel amortisiert sich der Austausch von veralteten Heizungspumpen in einem Zeitraum von 2 bis 5 Jahren, abhängig von den tatsächlichen Einsparungen im Stromverbrauch.

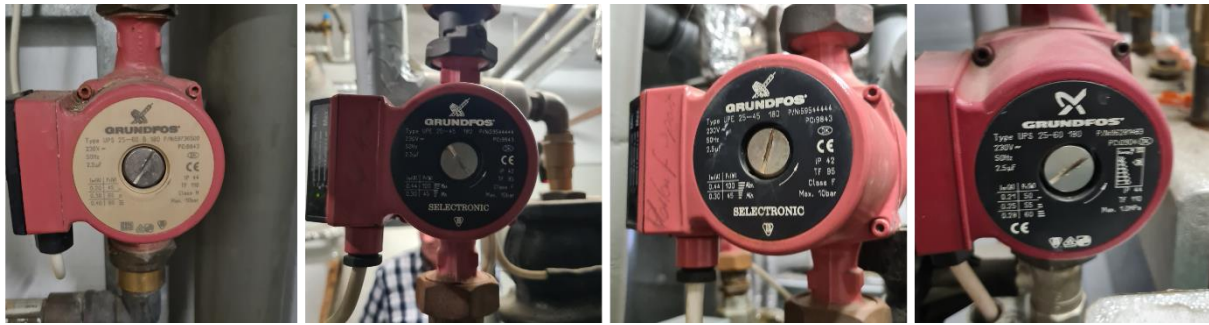


Abbildung 4-21: Veraltete Heizungspumpen in der „Alten Schule“

Außenwände

Aus den Bauunterlagen von 1950 geht hervor, dass das Gebäude mit einem Luftspalt in den Wänden errichtet wurde. Ein Luftspalt in ausreichender Größe ermöglicht das Dämmen per Einblasdämmung. Dies bedeutet, dass ein rieselfähiger Dämmstoff von außen eingebracht wird. Im Wortlaut ist Folgendes geschrieben: „Außenmauerwerk: 40 bzw. 47 bzw. 30 cm starke aus Kalksandsteinen mit Luftschicht. Außen eine ½ Stein starke Verblendung aus roten, kleinformatigen Vormauersteinen.“

Das Einbringen einer Dämmung in die Wand kann im günstigsten Fall den Wärmeverlust über die Wand mehr als halbieren und dadurch nachhaltig Energie und Kosten sparen. Die Kosten für eine solche Dämmung liegen bei 15-50 €/m² Wandfläche. Ob ein Luftspalt vorhanden ist und in welcher Größe muss daher geprüft werden. Im Falle eines Luftspaltes von 5 cm oder mehr, wird empfohlen einen Experten mit der Machbarkeitsprüfung zu beauftragen und diese Maßnahme mit hoher Priorität zu behandeln.

Photovoltaik auf der Alten Schule

Zusätzlich zu den Sanierungsmaßnahmen wurde die Installation einer PV-Anlagen für die „Alte Schule“ geprüft. Es wurden vier Auslegungen betrachtet, in denen die Anlagengröße variiert wurde, sodass einerseits zwei auf den Verbrauch angepasste Belegungen betrachtet wurden. Weiter wurden zwei Belegungen, die einen großen Teil des Daches nutzen, betrachtet und in zwei Varianten aufgeteilt:

Variante 1, 2 & 3: Die gesamte Anlage wird als Überschussanlage betrieben.

Variante 4: Die Anlage wird in zwei Teile aufgeteilt. Ein Teil wird als Überschussanlage betrieben, der andere als Einspeiseanlage.

Der spezifische Anlagenpreis wurde dabei angepasst, sodass dieser den Anteil der Fixkosten in der Investition widerspiegelt, der bei jeder Anlage etwa gleich ist (z.B. Gerüststellung für Installation, elektrischer Anschluss). Außerdem wurde für eine Variante (Variante 5) ein Elektrospeicher mit einer Kapazität von **5,12 kWh** mit spezifischen Kosten von **500 €/kWh** betrachtet. Die Ergebnisse der Simulation sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-7: Vergleich verschiedener PV-Auslegungsvarianten für die "Alte Schule"

Name und Art der PV-Anlage	Var.	Anlage [kWp]	Spez. Kosten [€/kWp]	Investition	Eigenverbrauch	Autarkie	Amortisation [a]	Gesamt-ersparnis über 20 a
Alte Schule Südbelegung	1	6,1	1.500	9.140 €	50 %	47 %	7,4	21.480 €
	2	8,7	1.400	12.180 €	39 %	51 %	8,3	23.090 €
	3	24,4	1.200	29.230 €	16 %	60 %	11,6	27.090 €
	4	24,4	1.300	31.670 €	39 % ¹	51 % ¹	10,7	33.970 €
+ 5,1 kWh Speicher	5	8,7	1.690	14.740 €	50 %	64 %	8,6	26.320 €

¹Bezogen auf die Überschussanlage (8,7 kWp)

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass unabhängig von Größe und Art der Anlage eine wirtschaftliche Umsetzung einer PV-Anlage auf dem Dach der „Alten Schule“ möglich ist. Dabei zeigen die ersten drei Varianten verschiedene Anlagengrößen mit Überschusseinspeisung. Die vierte Variante zeigt die oben beschriebene Variante einer Aufteilung der Anlage in Überschuss- und Volleinspeiseanlage. Für die Größe der Überschussanlage wurde 8,7 kWp gewählt, sodass die restlichen 15,7 kWp als Volleinspeiseanlage betrieben werden. Da hierfür ein zweiter Wechselrichter nötig ist, wurden die spezifischen Kosten entsprechend erhöht.

Vor der Installation sollte die Statik des Gebäudes auf die Eignung der Belegung geprüft werden und in die Entscheidungsfindung eingebunden werden. Abbildung 4-22 zeigt eine mögliche Belegung des Gebäudes. Diese Belegung entspricht der in den Varianten 3 & 4 gewählten Größe von 24,4 kWp.

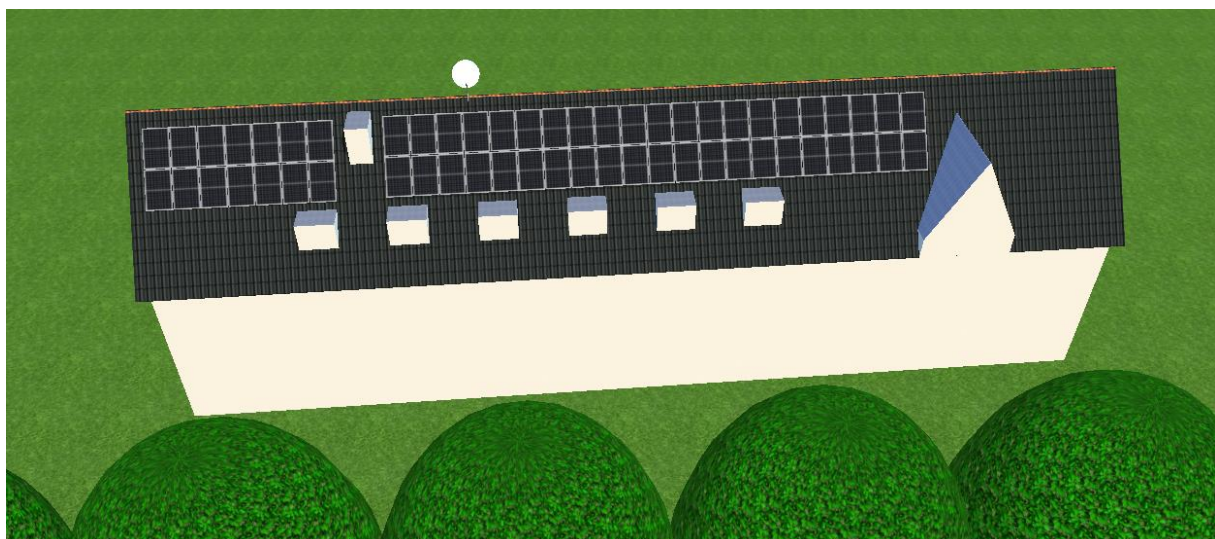


Abbildung 4-22: Mögliche Belegung der "Alten Schule" (24,4 kWp)

Das Ost-West ausgerichtete Dach nördlich des betrachteten Gebäudes wurde nicht in die Betrachtung mit einbezogen, da dieses eine deutlich niedrigere Höhe hat, damit durch den Gebäudeteil aus Abbildung 4-22 verschattet werden würde und zu niedrigen Erträgen führen würde.

4.4 DEZENTRALE WÄRMEVERSORGUNGSLSÖSUNGEN

Der folgende Abschnitt befasst sich mit verschiedenen Szenarien zur dezentralen Wärmeversorgung. Er soll eine Entscheidungshilfe für Gebäude darstellen, die nicht auf eine zentrale Wärmeversorgung zurückgreifen können bzw. wollen. Eine dezentrale Wärmeversorgung beschreibt den unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zwischen Erzeugung und dem Gebäude. Das sekundärseitige Heizungssystem bleibt bei allen beleuchteten Varianten dasselbe. Heizkörper, Rohrleitungen und Umwälzpumpen sind als Bestand anzusehen, lediglich die Erzeugung der Wärme variiert.

Der Umgang mit fossilen Heizungen wird sich in Zukunft stark verändern. Die Revision des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sieht vor, dass ab 2045 das Heizen mit fossilen Brennstoffen nicht mehr erlaubt ist und spätestens ab 2028 keine neuen Heizungen mehr installiert werden dürfen, die nicht zu mindestens 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden.

ÖLHEIZUNG

In einem Öltank gelagertes Heizöl wird mittels Brenner in einem Brennraum verbrannt. Die dort entstehende Wärme wird mittels eines Wärmeübertragers an das Heizungssystem abgegeben.

GASHEIZUNG

Erdgas, welches aus einem deutschlandweiten Verbundnetz oder einem Speicher entnommen wird, wird über eine Verbrennungseinrichtung verbrannt. Die entstehende Wärme wird an das Heizungssystem abgegeben. Die Verbrennung verläuft deutlich sauberer als bei einer Ölheizung, dennoch werden auch hier CO₂-Emissionen freigesetzt.

HOLZPELLETKESEL

Die Holzpellets werden in einem, sich in der Nähe der Heizungsanlage befindlichen, Vorratstank gelagert. Von dort aus werden sie meist automatisch zur Verbrennung geleitet. Die Verbrennung findet sehr sauber statt, es fällt verhältnismäßig wenig Asche an. Dennoch benötigt dieses System viel Fläche, neben der Heizungsanlage und den Vorrat für die Pellets ist für das Betreiben ein Pufferspeicher unabdingbar. Auch der Flächenaufwand für den Anbau von Bäumen ist nicht außer Acht zu lassen. Ebenfalls wird durch das Verbrennen von Holz in kurzer Zeit CO₂ frei, welches der Baum über mehrere Jahrzehnte gebunden hat. Diese starke zeitliche Ungleichverteilung hat zur Folge, dass trotz des theoretisch neutralen CO₂-Kreislaufs die Bilanz kurz- und mittelfristig negativ ist.

HACKSCHNITZELKESEL

Eine identische Anwendung zum Holzpelletkessel. Es werden statt Pellets Holzhackschnitzel verbrannt. Ein Vorrat und ein Pufferspeicher werden ebenfalls benötigt.

WÄRMEPUMPE

Hierbei wird der Umwelt (Erde, Luft oder Wasser) Wärme entzogen, welche ein Kältemittel verdampft. Durch die anschließende elektrisch angetriebene Komprimierung des Kältemittels steigt die Temperatur auf ein im Heizungssystem benötigtes Niveau. Nach Abgabe der Wärme an das Heizungssystem wird das Kältemittel entspannt und der Prozess beginnt von vorne. Der Energiebedarf des Prozesses wird mit Strom gedeckt. Um hohe Stromkosten zu vermeiden ist eine Kombination mit Photovoltaik anzustreben.

SOLARTHERMIE

Solarthermieranlagen werden typischerweise auf Gebäudedächern installiert. Die Sonnenstrahlung trifft auf eine Absorberfläche, die die Wärme an in Schlangen gelegte Rohrleitungen innerhalb des Kollektors abgibt. Die Wärme wird mittels Wärmeträgermedium zum Heizungssystem geführt. Die Wärme kann zur Brauchwasserbereitung, aber auch zur Heizungsunterstützung genutzt werden. Im ersten Fall ist dafür ein Warmwasserspeicher mit Anschlüssen für das Solarsystem notwendig. Zur Heizungsunterstützung muss hingegen noch ein zusätzlicher Pufferspeicher in das System eingebaut werden. Generell dient Solarthermie nur zur Unterstützung und kann nicht allein den kompletten Wärmebedarf über das Jahr decken. Saisonale Schwankungen sind hier eines der ausschlaggebenden Kriterien.

PHOTOVOLTAIK IN KOMBINATION MIT HEIZSTAB

Als Pendant zur Solarthermie ist auch das Einbinden einer Photovoltaikanlage mit Heizstab in das Heizsystem möglich. Gegenüber der Solarthermie wird kein Trägermedium benötigt, Komponenten wie Solarpumpe, Sicherheitseinrichtungen etc. fallen weg. Dennoch benötigt ein solches System ein möglichst intelligentes Einspeisemanagement, um einerseits keinen Netzstrom für den Heizstab zu nutzen, andererseits bei Sonneneinstrahlung immer den Heizstab in der Reihenfolge zu präferieren. Auch dieses System dient wie die Solarthermie lediglich zur Unterstützung.

4.4.1 VOLLKOSTENVERGLEICH

Die Kosten von Einzelheizungen setzen eine Grenze für die Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes, das nicht nur effizienter, sondern auch wirtschaftlich vorteilhafter sein soll. Um zu prüfen, wann ein Wärmenetz in Brekendorf sinnvoll ist, wurde ein Vollkostenvergleich der gängigsten Heizsysteme für ein typisches Einfamilienhaus durchgeführt.

Die in Tabelle 4-8 gezeigten Werte beruhen sowohl auf eigenen Ermittlungen als auch auf Werten des BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2021), des C.A.R.M.E.N e. V. (C.A.R.M.E.N e.V., 2024) und des Deutschen Pelletinstituts (DEPI, 2023). Die Kosten für Wärmepumpen orientieren sich an aktuellen Preisen. Es wurden die aktuellen Fördersätze nach BEG (vgl. Abschnitt 4.3.1) berücksichtigt.

Tabelle 4-8: Annahmen zum Vollkostenvergleich individueller Heizungssysteme

Bezeichnung	Wert
Wärmebedarf	22.500 kWh
Laufzeit	20 a
Zinssatz	3,6 %
Inflation	2,5 %
Gaskessel	8.000 €
Luft Wärmepumpe	23.500 €
Photovoltaik (7,3 kWp)	10.220 €
Batterie (7,3 kWh)	4.380 €
Holz Pelletkessel	30.000 €
Wärmespeicher	1.500 €
Wirkungsgrad Gas-/Holzpelletkessel	0,95
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	2,6
Strompreis Netzbezug	35 ct/kWh
Biogas	15 ct/kWh
WP-Strom	28 ct/kWh
Holzpellets	5,7 ct/kWh

In diesem Vergleich wird davon ausgegangen, dass eine bestehende Heizung in einem Gebäude mit einem Wärmebedarf von 22.500 kWh/a durch ein alternatives Heizsystem nach GEG ersetzt wird. Abbildung 4-23 zeigt die betrachteten Varianten (Gaskessel mit Nutzung von Biogas, Pelletheizung, Wärmepumpe und Wärmepumpe mit PV und Batterie) und die entsprechenden Vollkosten.

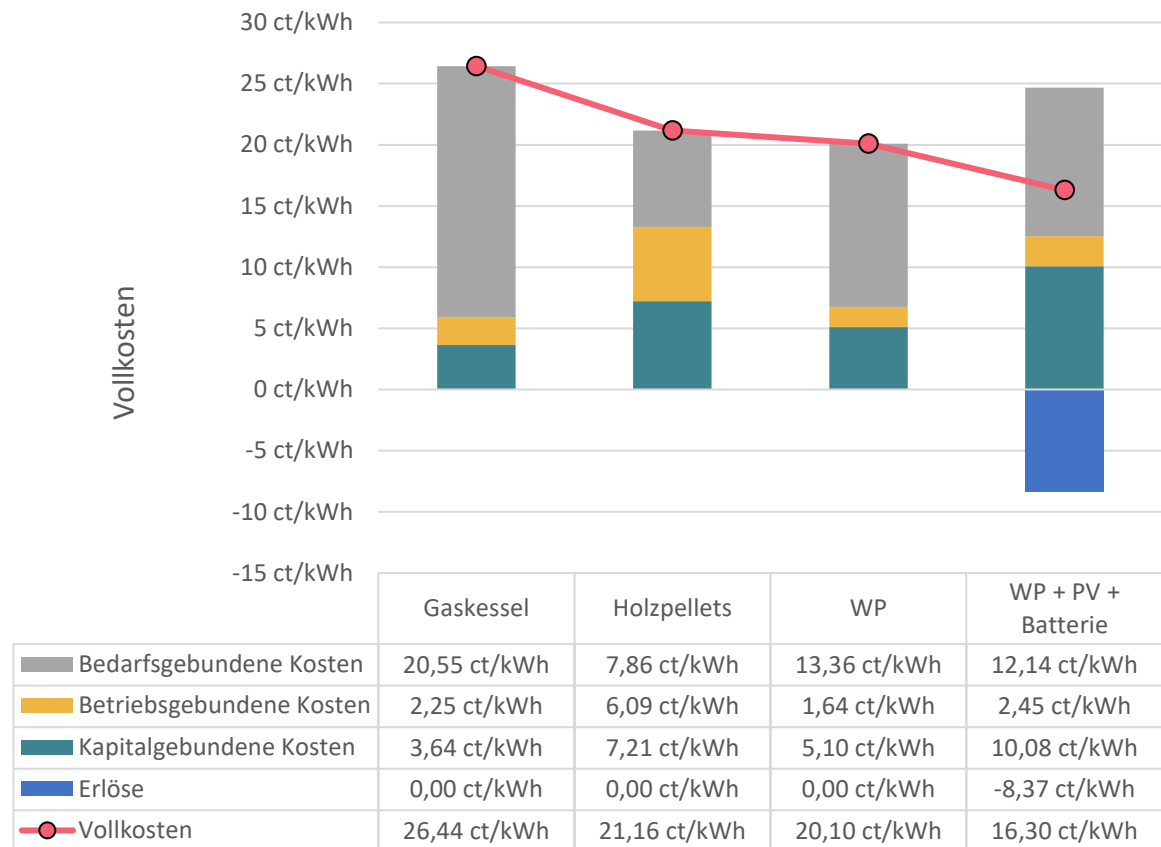


Abbildung 4-23: Vollkostenvergleich individueller Heizungssysteme

Mit **26,44 ct/kWh** stellt der **Gaskessel mit Biogas** die unwirtschaftlichste Lösung dar. Der Betrieb einer Gasheizung mit Biogas kann eine sinnvolle Lösung sein, allerdings muss der dauerhafte Bezug von mindestens 65 % Ökogas über ein Nachweissystem vertraglich gesichert werden. Da in Zukunft mit einer hohen Nachfrage bei Ökogas zu rechnen ist, muss auch mit deutlichen Preissteigerungen gerechnet werden (BMKW, 2022).

Mit einer **Pelletheizung** können ähnliche Vollkosten (**21,16 ct/kWh**), wie mit einem erdgasbetriebenen Gaskessel erreicht werden. Dies liegt vor allem an den hohen Aufwendungen für Wartung, Inspektion und Instandhaltung, da die Brennstoffkosten selbst deutlich geringer sind. Zudem ist zu beachten, dass Pellets aus Sägespänen hergestellt werden. Diese fallen in Sägewerken als Reststoff an und können daher gut energetisch verwertet werden. Stehen keine Sägespäne als Reststoff zur Verfügung oder übersteigt die Nachfrage nach Pellets die anfallende Reststoffmenge, müssen Pellets aus Stammholz als Primärprodukt hergestellt werden. Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens ist bei den derzeitigen Preisen für Pellets als fraglich anzusehen, wobei bei einer sichergestellten Versorgung mit Pellets aus Sekundärprodukten die geringsten Brennstoffkosten bei den verglichenen Varianten erreicht werden.

Die **Wärmepumpe** stellt mit Vollkosten von **20,10 ct/kWh** die zweitgünstigste Alternative dar.

Die wirtschaftlichste Lösung über die nächsten 20 Jahre ist unter den getroffenen Annahmen (Tabelle 4-8) die Variante **Wärmepumpe + PV + Batterie** mit Vollkosten von **16,30 ct/kWh**, was im Vergleich zur Wärmepumpe ohne PV & Batterie hauptsächlich auf die zusätzlichen Einsparungen durch die Nutzung des erzeugten Stroms im Haushalts- und Wärmepumpenstrom zurückzuführen ist.

Mit diesen Vollkosten wird in den folgenden Betrachtungen ein mögliches Wärmenetz verglichen. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass die ermittelten Vollkosten nur eine Indikation/Tendenz für einzelne Lösungen darstellen. Ein genauer und damit korrekter Vollkostenvergleich kann nur individuell für einzelne Gebäude mit aktuellen Angeboten durchgeführt werden. Gegebenenfalls sind bei der Installation einer Wärmepumpe zusätzlich noch Umfeldmaßnahmen wie z.B. der Einbau einer Fußbodenheizung zu berücksichtigen.

Auf den Punkt.

- Unter Betrachtung der Aspekte Ökologie, Technologie und Wirtschaftlichkeit ist die in diesem Vergleich beste Lösung zur dezentralen Wärmeversorgung die **Wärmepumpe** in Kombination mit **PV und Batteriespeicher**, ist jedoch mit insgesamt hohen Investitionskosten verbunden
- Die Kombination aus **Wärmepumpe** und **PV** ist aufgrund der saisonalen Differenz zwischen regenerativer Stromerzeugung und Wärmebedarf technisch weniger sinnvoll, hat jedoch durch die Erträge der Stromnutzung und Einspeisevergütung eine positive Auswirkung auf die Vollkosten der Wärmeabgabe
- **Gasheizungen** sind nur begrenzt für eine Neuanschaffung geeignet
- Allgemein kann die Wärmepumpe auch für **Bestandsgebäude** eine sinnvolle Lösung sein. Als Orientierungswert sollte ab einem spezifischen Wärmebedarf von über **150 kWh/(m²·a)** vorrangig eine **energetische Sanierungsmaßnahme** in Betracht gezogen werden. Es muss jedoch immer im Einzelfall die Eignung einer Wärmepumpe geprüft werden

4.4.2 EMISSIONEN DEZENTRALER WÄRMEVERSORGUNGSLÖSUNGEN

Bei der Betrachtung der CO₂-Emissionen werden alle Einzellösungen mit einem erdgasbefeuerten Gaskessel verglichen, da dieser im Bestand am häufigsten anzutreffen ist. Die Ergebnisse dieses CO₂-Vergleichs sind in Tabelle 4-9 dargestellt. Es zeigt sich, dass aufgrund der hohen anzusetzenden spezifischen CO₂-Emissionen des Netzstroms von 560 g/kWh (GEG, 2022) die Emissionen der Wärmepumpe mit 4.850 kg die geringste Einsparung von ca. 8 % gegenüber dem Gaskessel aufweisen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die CO₂-Emissionen des Netzstroms in den folgenden Jahren weiter sinken werden und 2035 0 g/kWh erreichen sollen, womit durch die Nutzung einer Wärmepumpe keine bedarfsbedingten Emissionen anfallen würden. Durch den Einsatz der PV-Anlage können bereits heute die CO₂-Emissionen der Wärmepumpe auf 4.400 kg/a reduziert werden. Beim Einsatz von Biomethan reduziert sich der Ausstoß um ca. 42 % auf 3.150 kg/a. Die aktuell geringsten Emissionen werden jedoch mit 450 kg/a von der Pelletheizung verursacht, sofern es sich um nachhaltig produzierte Pellets handelt.

Tabelle 4-9: Vergleich der CO₂-Emissionen der individuellen Lösungen

Technologie Energieträger	Gaskessel		Wärmepumpe		Pelletkessel
	Erdgas (Referenz)	Biomethan	Netzstrom	Netzstrom (mit PV)	Holz
spezifische CO ₂ -Emission [g/kWh]	240	140	560	560	20
benötigte Energie [kWh/a]	22.500	22.500	8.650	7.860	22.500
CO ₂ -Emission [kg/a]	5.400	3.150	4.850	4.400	450
rel. Änderung zur Referenz [%]	0	- 42	- 10	- 18	- 92

4.5 MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH ZENTRALE WÄRMEVERSORGUNG

Bei einer zentralen Wärmeversorgung für den Ortskern Brekendorf wird die benötigte Wärme für das Heizen oder Warmwasser in einer Heizzentrale (Heizwerk) bereitgestellt. Dieses verteilt die Wärme über ein Fern- bzw. Nahwärmenetz. Die Anwohnerschaft benötigt bei einem Anschluss an ein Wärmenetz keine eigenen Heizanlagen mehr. Die alten Wärmeerzeugungsanlagen werden durch einen Wärmetauscher ersetzt, welcher die Übergabe der Wärme aus dem Netz an das Gebäude regelt. Der folgende Abschnitt wird zeigen, unter welchen Umständen ein Wärmenetz in Brekendorf umgesetzt werden kann und mit welchen Kosten dies verbunden wäre.

4.5.1 WÄRMENETZ

Während der Entwicklung des Quartierkonzeptes konnte ein möglicher Standort für die Heizzentrale identifiziert werden. Hierbei handelt es sich um einen Vorschlag, die Erschließung eines finalen Standorts muss während einer weiteren Planung erfolgen. Für die folgende Betrachtung wurde in Abstimmung mit der Lenkungsgruppe der Standort am südlichen Rand des Quartiers gewählt. Abbildung 4-24 zeigt den möglichen Verlauf der Wärmeleitungen.

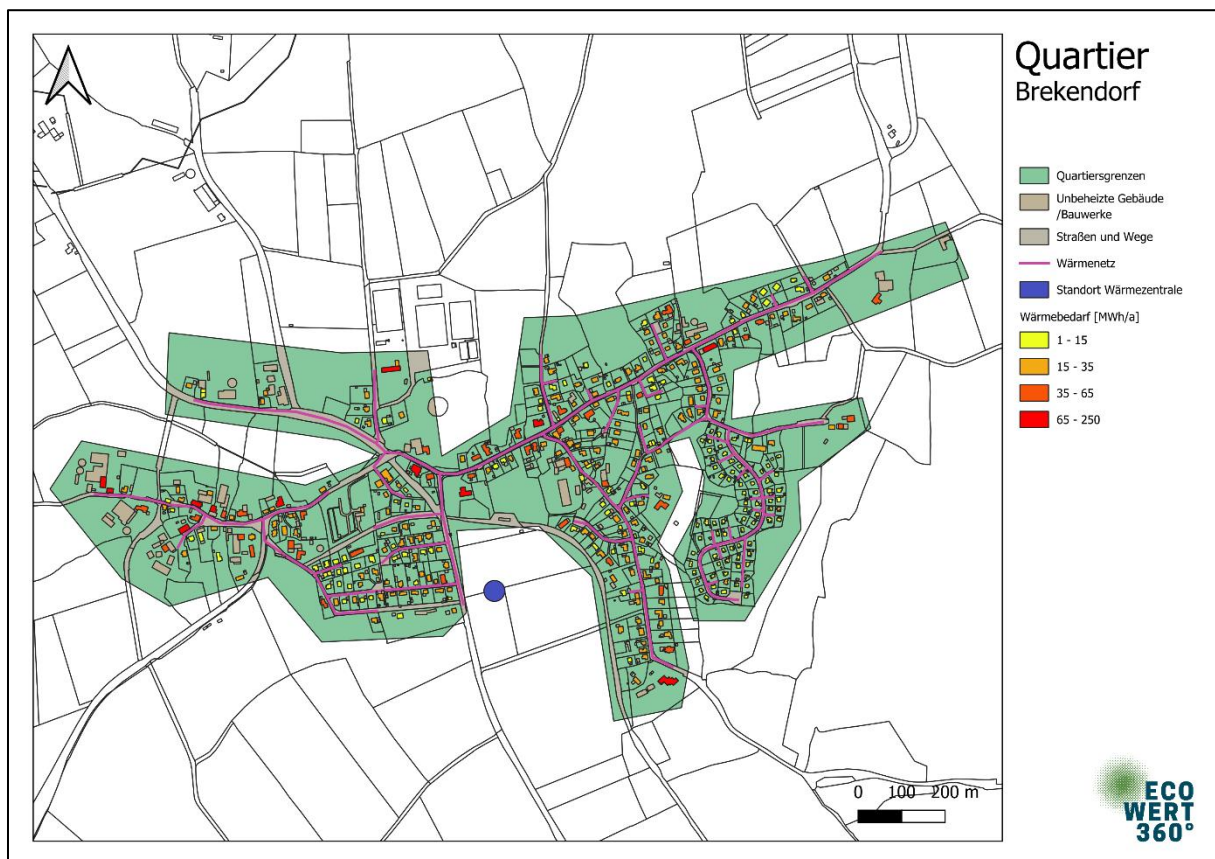


Abbildung 4-24: Betrachtetes Wärmenetz im Quartier Brekendorf

Das mögliche Wärmenetz für Brekendorf würde eine Haupttrasse von 7,6 km Länge umfassen. Insgesamt sind 383 Hausanschlüsse geplant, mit einer durchschnittlichen Anschlusslänge von 20 m pro Haus. Die Dimensionierung der Hausanschlüsse richtet sich dabei nach dem Wärmebedarf der jeweiligen Liegenschaften. Die jährliche Wärmearbeit des Netzes im heutigen Zustand beträgt 10.672 MWh, wobei 18 % Wärmeverluste des Netzes bereits eingerechnet sind. Geplant ist, das Wärmenetz mit einer gleitenden Vorlauftemperatur von 75 °C bis 85 °C zu betreiben. Im Winterlastfall wird eine Spitzenlast von 3.700 kW benötigt, um das gesamte Quartier zu beheizen.

4.5.2 LINIENDICHTE

Die Liniendichte eines Wärmenetzes wird in der Praxis häufig als Indikator für die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmesystems herangezogen. Sie beschreibt, wie effizient die Infrastruktur genutzt wird, indem die transportierte Wärmemenge pro Leitungslänge gemessen wird. Ein höherer Wert deutet auf eine intensivere Nutzung des Netzes hin, was häufig mit einem effizienteren und wirtschaftlicheren Betrieb gleichgesetzt wird. Diese Interpretation ist jedoch nur bedingt aussagekräftig und kann bei wirtschaftlichen Entscheidungen zu Fehlschlüssen führen.

Die Liniendichte berechnet sich als das Verhältnis der jährlich abgegebenen Wärmemenge zu der Gesamtlänge des Verteilnetzes:

$$\text{Liniendichte} = \frac{\text{Wärmeabgabe (MWh/a)}}{\text{Leitungslänge Verteilnetz (m)}}$$

Entscheidende Faktoren, die die Liniendichte beeinflussen, sind:

- **Versorgungsdichte:** In dicht besiedelten Gebieten, wie Stadtzentren, ist die Liniendichte i.d.R. höher, da eine größere Anzahl von Gebäuden und Verbrauchern über kürzere Leitungsstrecken versorgt wird.
- **Netzauslegung und Betriebsweise:** Die Auslegung der Rohrdimensionen und die Temperaturregelung haben einen erheblichen Einfluss. Überdimensionierte Leitungen können zu unnötig hohen Wärmeverlusten führen und die Liniendichte reduzieren.
- **Wärmebedarf der angeschlossenen Gebäude:** In Gebieten mit hohem Wärmebedarf, wie industriellen Anwendungen, ist die Liniendichte höher als in Wohngebieten mit energieeffizienten Gebäuden.

Aussagekraft und Kritik an der Liniendichte

Die Liniendichte wird häufig als **Schlüsselindikator für die Effizienz eines Wärmenetzes** herangezogen. Sie erlaubt auf den ersten Blick Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit und den energetischen Nutzen des Systems. Dennoch ist diese Kennzahl **kritisch zu betrachten**, da sie nur bedingt aussagekräftig ist und mehrere Einschränkungen aufweist:

1. **Regionale Unterschiede:** In ländlichen Gebieten oder dünn besiedelten Vororten ist die Liniendichte naturgemäß niedriger. Ein reiner Vergleich mit dicht besiedelten urbanen Netzen ist daher irreführend, da infrastrukturelle Gegebenheiten einen erheblichen Einfluss auf die Zahl haben und verzerrend wirken können.
2. **Unberücksichtigte Wärmeverluste:** Die Liniendichte gibt keine direkte Auskunft über die **Wärmeverluste im Netz**. Ein System mit hoher Liniendichte könnte trotzdem hohe Wärmeverluste aufweisen, wenn z.B. schlecht wärmegeämmte oder veraltete Leitungen verwendet werden.
3. **Flexibilität des Netzes:** In der heutigen Transformation hin zu dezentralen und flexiblen Energiesystemen verliert die Liniendichte an Bedeutung, da auch **dezentrale Einspeisungen**, z.B. durch erneuerbare Energien oder industrielle Abwärme, die Effizienz des Systems erhöhen können, ohne die Liniendichte wesentlich zu beeinflussen.
4. **Keine direkte Korrelation zur Nachhaltigkeit:** Hohe Liniendichten sind nicht unbedingt mit einem **umweltfreundlichen** System gleichzusetzen. Ein Wärmenetz, das durch fossile Energieträger gespeist wird, könnte eine hohe Liniendichte haben, aber dennoch eine schlechte Klimabilanz aufweisen.

Die Liniendichte eines Wärmenetzes stellt einen nützlichen, aber limitierten Indikator dar, um grobe Vergleiche in der Auslegung und Effizienz von Wärmenetzen zu ermöglichen. Ihre Aussagekraft sollte jedoch stets im Kontext anderer Parameter, wie der Wärmeverluste, der Erzeugungsstruktur und der Versorgungsdichte gesehen werden. Zudem ist es entscheidend, regionale und systemische Unterschiede bei der Bewertung von Wärmenetzen zu berücksichtigen, um fundierte Schlüsse über deren Effizienz und Wirtschaftlichkeit ziehen zu können.

In der Tabelle 4-10 ist die Liniendichte in Abhängigkeit von der Anschlussquote für das gesamte Quartiersgebiet in Brekendorf abgebildet.

Tabelle 4-10: Liniendichte in Abhängigkeit der Anschlussquote (gesamtes Quartier Brekendorf)

Anschlussquote	Liniendichte [kWh/(m*a)]
30%	343
50%	571
70%	799
100%	1142

Abbildung 4-25 zeigt die Liniendichte in den einzelnen Abschnitten bei einer Anschlussquote von 100 %. Dabei ist zu beachten, dass sich die Darstellung auf das jeweilige Gebiet konzentriert, ohne die davor oder danach liegenden Abschnitte des Wärmenetzes zu berücksichtigen. Die Unterteilung der Abschnitte beruht in erster Linie auf den jeweiligen Straßenzügen. Lange Straßen wurden unterteilt bzw. Straßen mit weniger als fünf Gebäuden logisch mit anderen Straßenabschnitten zusammengefasst.

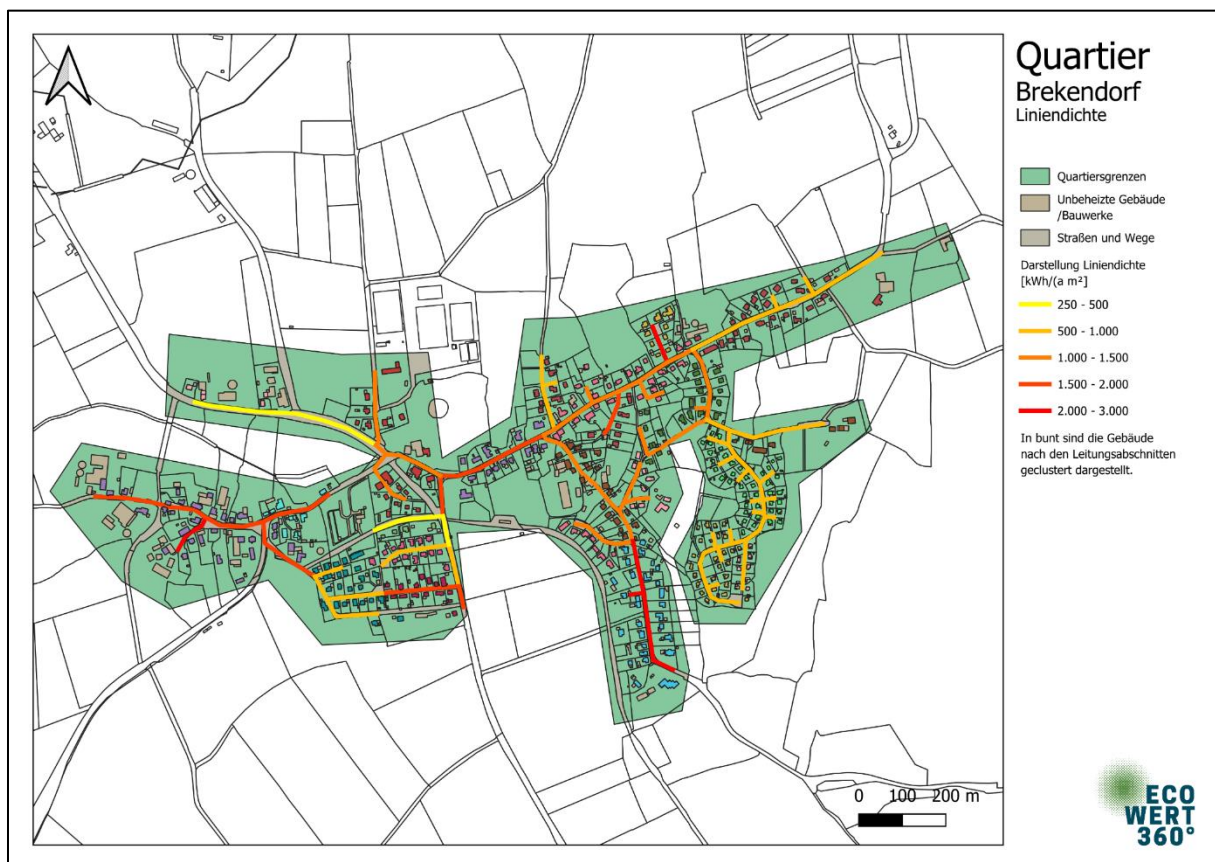


Abbildung 4-25: Darstellung der Liniendichte im Quartier Brekendorf bei 100 % Anschlussquote

4.5.3 ERZEUGUNGSKONZEPTE

In Absatz 4.2 sind bereits verschiedene Anlagen vorgestellt worden, die bei einer nachhaltigen Wärmeversorgung zum Einsatz kommen können. Aus diesem Konglomerat verschiedener Technologien sind auf Grund ihrer Vor- und Nachteile sowie örtlicher Gegebenheiten vier Erzeugungskonzepte für die Gemeinde Brekendorf entwickelt worden, die an dieser Stelle vorgestellt und besprochen werden.

Neben den unterschiedlichen Wärmeerzeugern verfügen alle Konzepte über einen Gaskessel zur Spitzenlastabdeckung und Redundanz sowie einen Wärmespeicher zur Betriebsoptimierung. Der regenerative Strombezug wurde anhand des Erzeugerlastgangs einer Freiflächen Photovoltaikanlage dargestellt, die Anlage verfügt über eine Leistung von 5.000 kW (vgl. Abschnitt 4.1). In allen Szenarien zur Wärmeerzeugung wird davon ausgegangen, dass der PV-Strom von einem externen Erzeuger zugekauft wird und somit keine Investitionskosten und Gewinne durch den Stromverkauf anfallen.

SZENARIO 1: WÄRMEPUMPE + HOLZHACKSCHNITZELKESSEL

In diesem Szenario wird die Wärmeversorgung des Quartiers vorwiegend durch erneuerbare Energien sichergestellt, wobei die Wärmepumpe die Grundlastversorgung übernimmt. Die Wärmepumpe wird bevorzugt mit Strom aus Photovoltaik betrieben, die besonders im Sommer eine hohe Verfügbarkeit hat. Ca. 36 % des jährlich benötigten Wärmepumpenstroms wird von der PV-Anlage erzeugt, der restliche Strombedarf der Wärmepumpe wird über das öffentliche Stromnetz bezogen. Die Großwärmepumpe nutzt Umgebungsluft als Wärmequelle. Grundsätzlich wären auch andere Wärmequellen möglich, aber wie bereits in Abschnitt 4.2 beschrieben, ist die Nutzung von Erdwärme über Sonden oder Kollektoren mit höheren Investitionskosten verbunden und eine genauere Betrachtung erst nach der Durchführung eines Geothermal Response Test und einer anschließenden Simulation des Sondenfeldes möglich. Somit ist die Wahl für folgende Betrachtungen zunächst auf die Luft-Wärmepumpe gefallen.

Die erzeugte Wärme wird in einem 1.000 m³ großen Wärmespeicher zwischengespeichert, um eine kontinuierliche und bedarfsgerechte Versorgung zu gewährleisten. Neben der Wärmepumpe, die mit 1.000 kW thermischer Leistung arbeitet, ist auch ein Heizstab (1.000 kW thermisch) installiert, der ebenfalls mit überschüssigem erneuerbarem Strom betrieben wird. Dieser kommt bei Spitzenlasten oder in Zeiten, in denen besonders viel regenerativer Strom zur Verfügung steht, zum Einsatz.

Zur Unterstützung der Wärmeerzeugung, insbesondere bei geringem PV-Strom im Winter, wird ein Pellet-/Hackschnitzelkessel mit einer Leistung von 900 kW eingesetzt. Dieser Kessel stellt eine wichtige Ergänzung dar, um eine effiziente Wärmeversorgung während der kälteren Monate zu gewährleisten.

Zusätzlich steht ein Spitzenlast- und Redundanzkessel mit einer Leistung von 3.700 kW zur Verfügung, der mit Erdgas betrieben wird. Dieser soll bis 2040 auf grünen Wasserstoff oder Biogas umgestellt werden. Dieses System garantiert die Versorgungssicherheit und springt ein, wenn weder ausreichend erneuerbare Energie noch Wärme aus den anderen Quellen bereitgestellt werden kann.

Die Wärmepumpe deckt 62 % der Wärmeerzeugung ab, während der Pellet-/Hackschnitzelkessel einen Anteil von 28 % übernimmt. Der Spitzenlastkessel liefert die verbleibenden 10 % der Wärme für das Fernwärmenetz.

In Abbildung 4-26 wird die Konzeptskizze dieses Szenarios schematisch dargestellt. Ohne regenerative Stromquellen oder die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) ist eine Umsetzung bei einem Quartier wie Brekendorf erfahrungsgemäß wirtschaftlich nicht realisierbar.

Szenario 1:

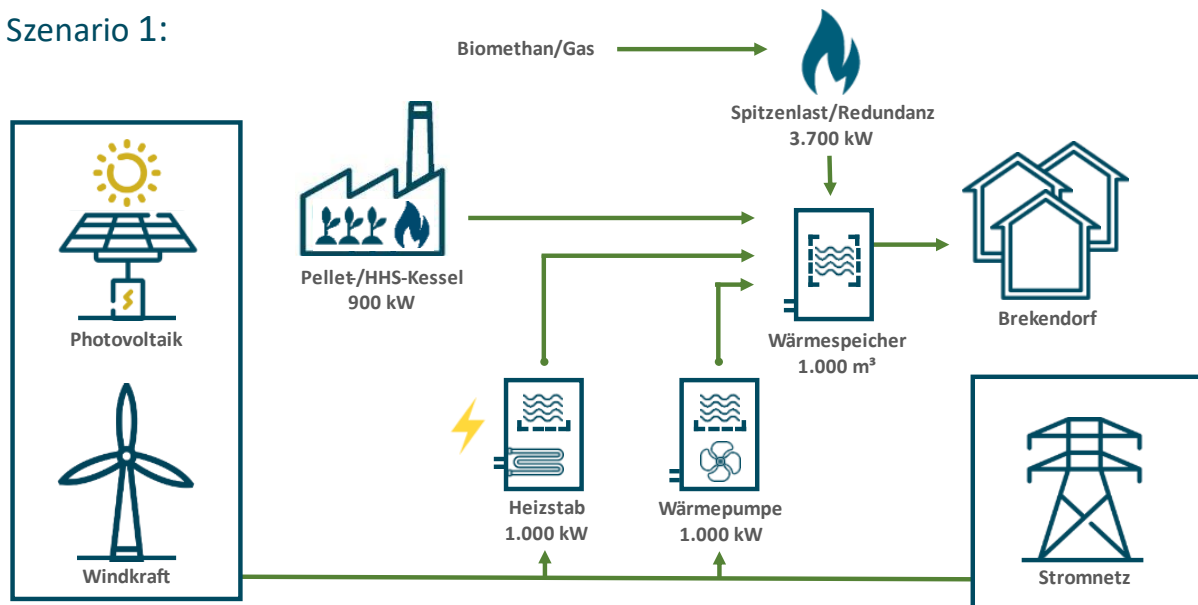


Abbildung 4-26: Konzeptskizze des ersten Erzeugungsszenarios

Das erste Szenario bietet eine flexible und robuste Wärmeversorgung durch die Kombination aus Wärmepumpe, Pellet- oder Hackschnitzelkessel und Heizstab. Die Wärmepumpe deckt die Grundlast ab, besonders im Sommer mit reichlich Strom aus der Photovoltaikanlage, und arbeitet kostengünstig und emissionsarm. Der Pellet-/Hackschnitzelkessel nutzt nachhaltige Brennstoffe und reduziert CO₂-Emissionen, während er bei hoher erneuerbarer Stromverfügbarkeit zur Spitzenlastabdeckung dient. Der 1.000 m³ Wärmespeicher sorgt für zusätzliche Flexibilität, indem überschüssige Wärme gespeichert und bei Bedarf genutzt wird.

Neben den Vorteilen weist dieses Szenario auch einige Nachteile auf. Die Wärmepumpe ist stark von der Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms abhängig, bei reinem Strombezug aus dem öffentlichen Netz steigen die verbrauchsabhängigen Kosten und bei niedrigen Außentemperaturen sinkt die Effizienz der Luft-Wasser-Wärmepumpe. Der Pellet- oder Hackschnitzelkessel benötigt regelmäßige Brennstofflieferungen und Wartung, was zusätzliche Betriebskosten verursacht. Die Abhängigkeit von verschiedenen Energieträgern und Technologien macht das System insgesamt komplexer und erfordert eine genaue Regelung, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.

SCENARIO 2: WÄRMEPUMPE + BLOCKHEIZKRAFTWERK (BHKW)

In diesem Szenario wird die Wärmeversorgung des Quartiers durch eine Kombination aus Wärmepumpen, zugekaufter Wärme aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) und erneuerbaren Energien wie Photovoltaik sichergestellt. Der Fokus liegt auf dem effizienten Einsatz von Wärmepumpen zur Deckung der Grundlast. Auch hier wird Strom aus Freiflächen-Photovoltaikanlagen eingesetzt, der sowohl in das Stromnetz eingespeist als auch zur Versorgung der Wärmepumpen genutzt wird. Dieser Strom deckt vor allem im Sommer den Strombedarf der Wärmepumpe auf umweltfreundliche Weise. Der restliche Strombedarf der Wärmepumpe wird aus dem öffentlichen Netz bezogen.

Zwei Großwärmepumpen mit thermischen Leistungen von 900 kW und 500 kW übernehmen die Grund- und Mittellastversorgung. Diese Wärmepumpen werden primär mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen betrieben. Die im Szenario darüber hinaus genutzte Wärme wird aus einer örtlichen Biogasanlage bezogen, die ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Biogas zur Wärmeerzeugung betreibt. Das BHKW erzeugt etwa 4.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr, also 2.000 MWh/a, und trägt mit 19 % zur jährlichen Wärmearbeit bei. In diesem Fall wird nur die Wärme des BHKW eingekauft. Die nötigen Investitionskosten für eine Gasleitung und das BHKW selbst liegen bei dem Betreiber der Biogasanlage. Durch diese Kombination der Erzeugungseinheiten kann der Grund- und Mittelbedarf effizient und flexibel gedeckt werden. Die erzeugte Wärme wird in einem 1.000 m³ großen Wärmespeicher zwischengespeichert und kann dadurch bedarfsgerecht ins Wärmenetz eingespeist werden.

Um eine zuverlässige Versorgung auch in Zeiten hoher Last zu garantieren, steht eine Spitzenlast- und Redundanzanlage mit einer Leistung von 3.700 kW zur Verfügung. Dieses System nutzt zu Beginn Erdgas und sichert die Wärmeversorgung, falls die erneuerbaren Quellen oder die Wärmepumpen nicht ausreichen. Ein perspektivischer Betrieb mit Biogas sollte angestrebt werden um eine 100 % erneuerbare Energieversorgung zu sichern.

Die Wärmepumpen decken 71 % der Wärmeerzeugung ab, während das BHKW einen Anteil von 19 % übernimmt. Der Spitzenlastkessel liefert die verbleibenden 10 % der Wärme für das Fernwärmenetz.

Szenario 2:

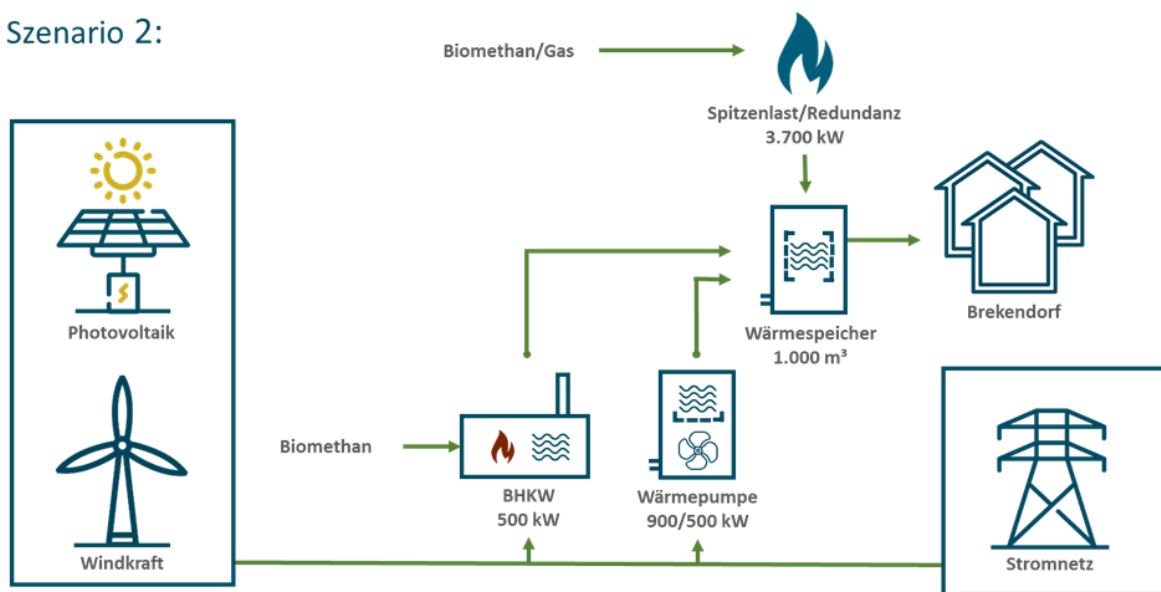


Abbildung 4-27: Konzeptskizze des zweiten Erzeugungsszenarios

Szenario 2 bietet mehrere Vorteile und auch Nachteile. Die Kombination aus Wärmepumpen, zugekaufter Wärme aus einem BHKW und erneuerbaren Energien sorgt für eine hohe Versorgungssicherheit. Die Wärmepumpen decken den Grundlastbedarf effizient ab, während der Wärmespeicher und die Redundanzanlage Lastspitzen ausgleichen und eine kontinuierliche Versorgung gewährleisten. Die Nutzung von Wärme aus einer örtlichen Biogasanlage unterstützt regionale Ressourcen und reduziert die CO₂-Emissionen, was einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Allerdings bringt dieses Szenario auch einige Herausforderungen mit sich. Die Abhängigkeit von extern eingekaufter Wärme kann bei Ausfällen oder kompletter Wegfall der BGA zu Problemen führen.

SCENARIO 3: WÄRMEPUMPE + BLOCKHEIZKRAFTWERK + HOLZHACKSCHNITZELKESEL

Dieses Szenario kombiniert eine Wärmepumpe, ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und einen Holzhackschnitzelkessel, um die Wärmeversorgung des Quartiers effizient und umweltfreundlich zu gestalten. Dabei wird die Wärmepumpe als Grundlasterzeuger eingesetzt, während das BHKW und der Holzhackschnitzelkessel die Mittel- und Spitzenlast abdecken.

Die Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 800 kW übernimmt die Grundlastversorgung. Sie wird, wie in den vorangegangenen Szenarien, überwiegend mit Strom aus einer Freiflächen-Photovoltaikanlage betrieben. Diese regenerative Energiequelle garantiert, insbesondere im Sommer, eine kosteneffiziente und nachhaltige Wärmeproduktion. Zur Deckung der Mittellast kommt ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer Leistung von 500 kW zum Einsatz, das auf etwa 4.000 Vollbenutzungsstunden pro Jahr ausgelegt ist. Wie in Szenario 2 wird hier nur die Wärme des BHKW eingekauft. Die nötigen Investitionskosten für eine Gasleitung und das BHKW selbst liegen bei dem Betreiber der Biogasanlage. Zusätzlich wird ein Holzhackschnitzelkessel mit einer Leistung von 600 kW ergänzt, der ebenfalls zur Mittellastversorgung beiträgt und eine nachhaltige Wärmequelle darstellt. Der Holzhackschnitzelkessel nutzt Biomasse in Form von Holzhackschnitzeln, um CO₂-arme Wärme zu erzeugen und die Wärmepumpe zu entlasten. Ein Wärmespeicher sorgt dafür, dass die produzierte Wärme zwischengespeichert und bei Bedarf an das Quartier verteilt wird. Dies erhöht die Flexibilität des Systems und ermöglicht eine bedarfsgerechte Wärmeversorgung.

Wie in den vorherigen Szenarien ist auch hier eine Spitzenlast- und Redundanzanlage zur Absicherung hoher Lastanforderungen oder Ausfällen mit einer Leistung von 3.700 kW installiert. Zunächst wird hier Erdgas verbrannt und perspektivisch ein Umstieg auf Biomethan angestrebt. In Abbildung 4-28 ist die Konzeptskizze des dritten Szenarios abgebildet.

Die Wärmepumpen decken 53 % der Wärmeherzeugung ab, während das BHKW einen Anteil von 20 % und der Pellet-/Hackschnitzelkessel einen Anteil von 17 % übernimmt. Der Spitzenlastkessel liefert die verbleibenden 10 % der Wärme für das Fernwärmenetz.

Szenario 3:

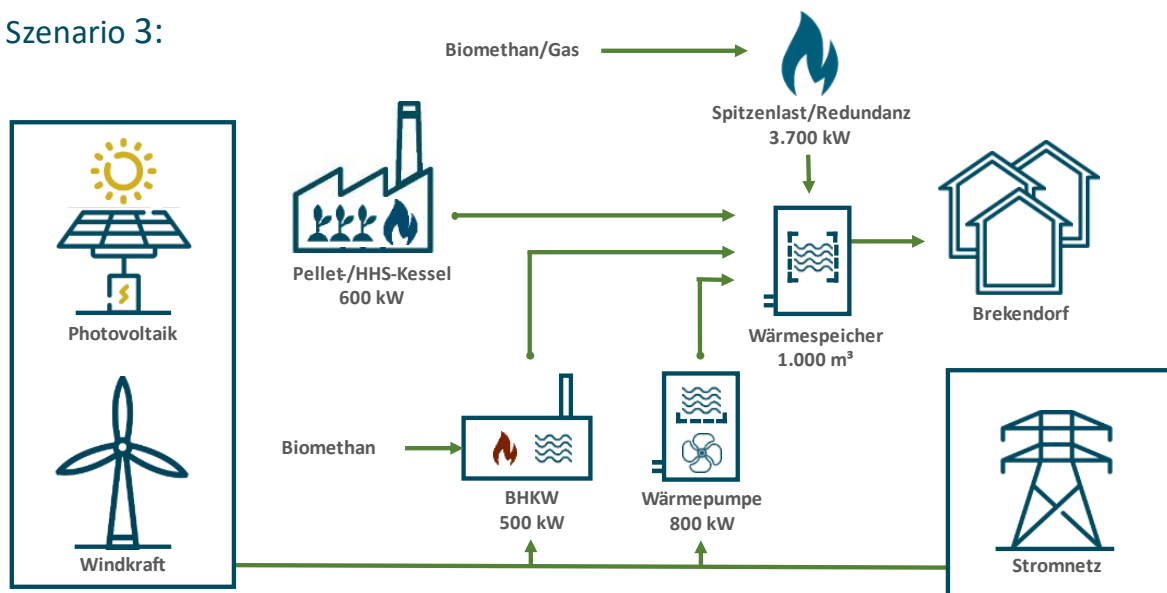


Abbildung 4-28: Konzeptskizze des dritten Erzeugungsszenarios

Szenario 3 bietet einige Vorteile, insbesondere eine hohe Flexibilität in der Lastdeckung. Die Kombination aus Wärmepumpe, BHKW und Holzhackschnitzelkessel ermöglicht eine bedarfsgerechte Wärmeerzeugung, wobei die Wärmepumpe effizient die Grundlast abdeckt und das BHKW und der Hackschnitzelkessel die Mittellast übernehmen. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz von Biomasse im Holzhackschnitzelkessel, der die CO₂-Emissionen reduziert und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert. Zudem gewährleistet das BHKW mit ca. 4.000 Vollbenutzungsstunden einen wirtschaftlichen Betrieb. Die mögliche Nutzung regenerativer Energiequellen wie Photovoltaik unterstützt zusätzlich eine nachhaltige Energieversorgung. Allerdings gibt es auch Nachteile. Die Betriebskomplexität steigt durch die Integration des Hackschnitzelkessels, was mehr Management und Wartung erfordert. Zudem ist die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Biomasse ein potenzieller Risikofaktor, da Schwankungen in der Hackschnitzelversorgung die Betriebssicherheit und die Kosten beeinflussen können. Die höhere Komplexität der Systemsteuerung und der Einsatz verschiedener Technologien erfordern eine sorgfältige Abstimmung und Optimierung, um das volle Potenzial des Systems auszuschöpfen.

SZENARIO 4: WÄRMEPUMPE

In diesem Szenario wird die Wärmeversorgung vollständig durch Wärmepumpen gewährleistet. Zwei Luft-Wärmepumpen mit einer thermischen Gesamtleistung von 1,9 MW übernehmen die zentrale Wärmeerzeugung. Unterstützt wird das System durch eine Freiflächen-Photovoltaikanlage, die den benötigten Strom liefert und die Wärmepumpen vor allem im Sommer mit ausreichend Strom versorgt. Der restliche Strombedarf der Wärmepumpe wird über das öffentliche Stromnetz bezogen. Die beiden Luft-Wärmepumpen arbeiten als Grund- und Mittellasterzeuger und decken den größten Teil des Wärmebedarfs des Quartiers. Die Wärmepumpen nutzen genauso wie Wärmepumpen in den anderen Szenarien die Umgebungswärme der Luft, was sie besonders effizient und umweltfreundlich macht. Die Nutzung von Luft als Wärmequelle bietet den Vorteil, dass keine aufwändigen Erschließungen, wie z.B. bei Erdsonden, notwendig sind. Der Heizstab kommt zum Einsatz, wenn ausreichend erneuerbarer Strom wie Photovoltaik verfügbar und/oder die Wärmepumpe leistungsbezogen am Limit ist. Dadurch kann überschüssiger Strom aus der Freiflächen-Photovoltaikanlage effizient zur Wärmeerzeugung genutzt werden.

Um auch in Zeiten hoher Nachfrage oder bei unerwarteten Ausfällen der Wärmepumpen eine konstante Versorgung zu gewährleisten, steht eine Spitzenlast- und Redundanzanlage zur Verfügung, die wie in den anderen Szenarien mit Biomethan oder Gas betrieben wird. Diese Anlage sichert die Versorgungssicherheit des Quartiers bei extremen Wetterbedingungen oder bei Ausfall der erneuerbaren Energiequellen. Auch hier wird zu Beginn Erdgas verbrannt. Ein perspektivischer Umstieg auf erneuerbare und umweltfreundliche Gase wird angestrebt.

Die Wärmepumpen decken 90 % der Wärmeerzeugung ab, während der Spitzenlastkessel die verbleibenden 10 % der Wärme für das Fernwärmenetz übernimmt.

Szenario 4:

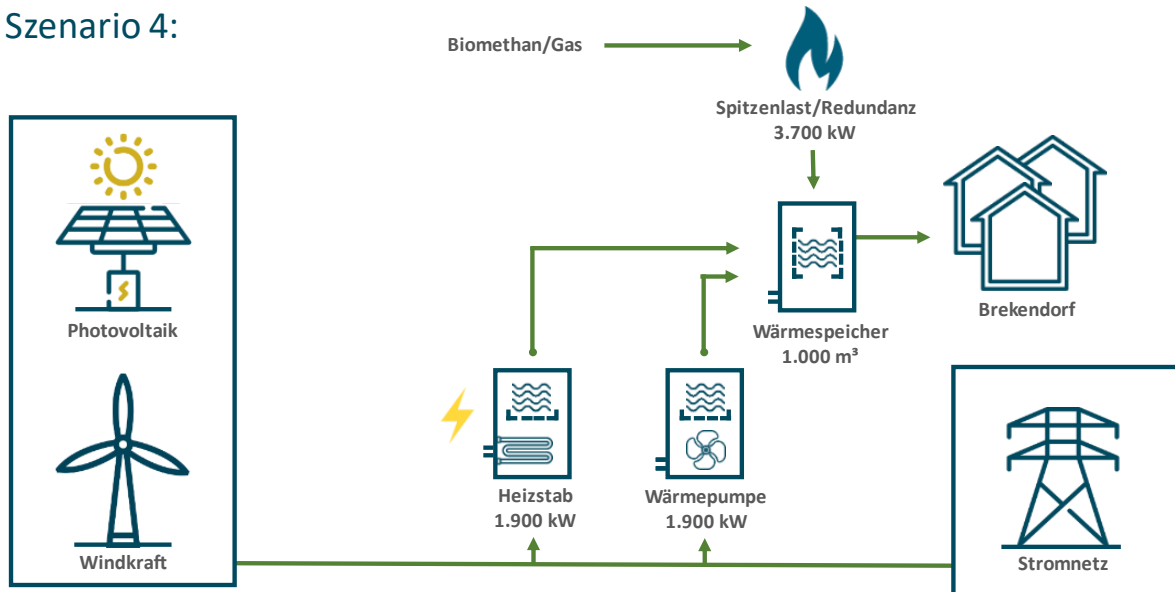


Abbildung 4-29: Konzeptskizze des ersten Erzeugungsszenarios

Das vierte Szenario bietet mehrere Vorteile. Die zentrale Wärmeerzeugung durch zwei Luft-Wärmepumpen, kombiniert mit einer Freiflächen-Photovoltaikanlage, ermöglicht eine weitgehend emissionsfreie und nachhaltige Wärmeversorgung. Die Nutzung von Luft als Wärmequelle ist effizient und erfordert keine komplexen Bohrungen oder Erschließungen wie bei Erdwärmepumpen. Durch den Einsatz eines Heizstabs kann überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien effektiv zur Wärmeerzeugung genutzt werden, was die Flexibilität des Systems erhöht. Zudem sorgt der Heizstab durch geringe Investitionskosten für eine kostengünstige Möglichkeit, Spitzenlasten zu decken und die Versorgung zu sichern. Die Photovoltaikanlage liefert sauberen Strom, der insbesondere im Sommer in hohem Maß zur Verfügung steht und die Betriebskosten senkt.

Jedoch bringt dieses Szenario auch einige Herausforderungen mit sich. Wärmepumpen, die mit Luft als Medium arbeiten, sind in ihrer Effizienz von den Außentemperaturen abhängig, was insbesondere in den Wintermonaten zu höheren Betriebskosten führen kann. Zudem ist die Abhängigkeit von erneuerbaren Energien, insbesondere der Photovoltaik, wetterabhängig, was die Stromerzeugung bei schlechtem Wetter einschränken könnte. Die Integration eines Heizstabs ist zwar eine einfache Lösung, allerdings ist dessen Einsatz weniger effizient im Vergleich zu anderen Technologien, da er direkt Strom in Wärme umwandelt.

4.5.4 FÖRDERMÖGLICHKEITEN

Für Wärmenetze gibt es verschiedene Fördermöglichkeiten, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden. Die „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)“ hat am 15. September 2022 die Förderung „Wärmenetze 4.0“ abgelöst und ist die Grundlage für die Berechnungen in diesem Bericht (BAFA, 2022).

4.5.4.1 Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Mit der BEW schafft die Bundesregierung Anreize in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien (mindestens 75 % erneuerbare Energien und/oder Abwärme) zu investieren oder eine Dekarbonisierung bereits bestehender Wärmenetze umzusetzen. Die Förderung umfasst einen Zuschuss zu den Kosten für die Erstellung von Machbarkeitsstudien und Transformationsplänen sowie einen Investitionszuschuss und eine Förderung von Betriebskosten für Anlagen zur erneuerbaren Wärmebereitstellung, deren Betrieb eine Wirtschaftlichkeitslücke

gegenüber einer fossilen Wärmeerzeugung aufweist. Die Förderung ist in vier Module aufgeteilt, deren Inhalt, bezogen auf den Neubau eines Wärmenetzes, im Folgenden aufgeführt ist. Grundsätzlich sind nur Wärmenetzsysteme zur Wärmeversorgung von mehr als 16 Gebäuden oder mehr als 100 Wohneinheiten förderfähig. Eine Kumulierung der BEW mit anderen Fördermitteln ist grundsätzlich ausgeschlossen.

Modul 1: Transformationspläne und Machbarkeitsstudien

Die durch Modul 1 geförderten Machbarkeitsstudien für den Neubau von Wärmenetzen sind nach speziellen Anforderungen zu erstellen. Sie sollen einen Transformationspfad (2030, 2035, 2040) mit Zielbild des treibhausgasneutralen Wärmenetzes skizzieren. Die genauen Anforderungen sind der Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze zu entnehmen. Die Höhe der Förderung in Modul 1 beträgt bei maximal 50 % der förderfähigen Kosten eine maximale Fördersumme von 2.000.000 € pro Antrag. Förderfähige Kosten werden nur mittels einer durch einen Wirtschaftsprüfer oder Steuerberater bestätigten Kostenrechnung für einen Zeitraum von 12 Monaten bewilligt. Eine einmalige Verlängerung des Bewilligungszeitraums auf insgesamt 24 Monate ist möglich. Auch Planungsleistungen, die im Rahmen der Erstellung von Machbarkeitsstudien für die Bewertung konkreter Maßnahmen einschließlich ihrer Genehmigungsfähigkeit erforderlich sind, sind in Anlehnung an die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) förderfähig.

Modul 2: Systemische Förderung für Neubau- und Bestandsnetze

In Modul 2 werden alle Maßnahmen gefördert, die zur Errichtung eines Wärmenetzes erforderlich sind. Voraussetzung für die Umsetzungsförderung ist die Erstellung und einer Machbarkeitsstudie entsprechend der Anforderungen aus Modul 1. Der Antragsteller muss anhand einer Wirtschaftlichkeitslückenberechnung aufzeigen, dass die Förderung für die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens erforderlich ist. Die Fördersumme ist auf die daraus resultierende Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt und beträgt maximal 100.000.000 € pro Antrag. Dauert der Bau eines Wärmenetzes laut Zeitplan länger als 48 Monate, sind vierjährige Maßnahmepakete zu definieren, die jeweils als separate Anträge in Modul 2 zu stellen sind. Für ein Maßnahmenpaket ist eine einmalige Verlängerung des Bewilligungszeitraumes um 24 Monate möglich.

Modul 3: Einzelmaßnahmen

Die Umsetzung von Einzelmaßnahmen bezieht sich auf Bestandswärmenetze, hat somit für den Neubau eines Wärmenetzes keine Bedeutung und wird hier daher nicht weiter erläutert.

Modul 4: Betriebskostenförderung

Für den Betrieb von Solarthermieranlagen und Wärmepumpen kann nach der Errichtung ein gesonderter Antrag auf Förderung der Betriebskosten gestellt werden. Die Förderung erfolgt bei Solarthermieranlagen als Festbetragsfinanzierung und bei Wärmepumpen als Anteilsfinanzierung der Nettoausgaben. Für Wärme aus Solarthermie wird ein Zuschuss von 1 ct/kWh_{th} gewährt. Die Betriebskostenförderung für Wärmepumpen unterscheidet sich in der Höhe der Vergütung zwischen netzgebundener Energie und dem Bezug erneuerbarer Energie über eine Direktleitung. Die Differenz zwischen der aus Netzstrom erzeugten Wärme und dem dafür verbrauchten Strom, also die Umweltwärme, wird mit maximal 9,2 ct/kWh_{th} gefördert. Für den Anteil der Wärme, der mit Strom aus Erneuerbare-Energien-Anlagen ohne Netzdurchleitung erzeugt wird, beträgt der Betriebskostenzuschuss maximal 3 ct/kWh_{th}. Für Anlagen, die Strom aus dem Netz beziehen, ist der Betriebskostenzuschuss auf 90 % der nachgewiesenen Stromkosten begrenzt. Die Vergütung für Wärmepumpen und Solarthermieranlagen ist auf 10 Jahre begrenzt.

4.5.4.2 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

Durch die Wärmeerzeugung mittels eines oder mehrerer Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Biomethan kann die im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) verankerte Förderung für den Bau von Wärmenetzen (§ 18 ff. KWKG) für einen geplanten Aus- oder Neubau eines Wärmenetzes berücksichtigt werden. Der Fördersatz beträgt 40 % der Investitionskosten für den Trassenbau (Rohr- und Tiefbau), die hydraulischen Anlagenteile sowie die Mess-, Steuer- und Regeltechnik. Nicht förderfähig sind Entnahmetechnik, Heizwerke und Planung. Voraussetzung ist zum einen, dass mindestens 75 % der Wärme aus einer Kombination von KWK-Anlagen, EE und/oder Abwärme stammen. Zum anderen muss die KWK-Anlage allein mindestens 10 % des Wärmeabsatzes liefern. Die Quote muss innerhalb von 36 Monaten nach Inbetriebnahme erreicht werden.

4.5.4.3 Landesprogramm Wirtschaft – Nachhaltige Wärmeversorgungssysteme

Das Landesprogramm Wirtschaft – Nachhaltige Wärmeversorgungssysteme wird finanziert aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE). Mit dieser Maßnahme werden Vorhaben gefördert, welche den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen und den Einsatz erneuerbarer Energien in diesen berücksichtigen. Die Höhe des Zuschusses beträgt für Erzeugungsanlagen, Wärmespeicher und Verteilnetze bis zu 40 % der förderfähigen Kosten. Besteht ein besonderes landespolitisches Interesse, kann der Zuschuss auf maximal 50 % erhöht werden. Die Investitionskosten des Vorhabens müssen mindestens 50.000 € und dürfen höchstens 1.000.000 € betragen.

4.5.5 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG

In diesem Abschnitt werden die entwickelten Konzepte zur Wärmebereitstellung bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit gegenübergestellt. Bei den Vollkosten, über die verschiedene Konzepte und Netze miteinander verglichen werden können, werden alle jährlichen Kosten auf die benötigte Wärme normiert. Sie setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

1. Kapitalgebundene Kosten (Annuitäten der Investitionen)
2. Betriebsgebundene Kosten (Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Anlagen)
3. Bedarfsgebundene Kosten (Strom- und Brennstoffkosten)
4. Erlöse (z.B. Betriebskostenförderung BEW)

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit beruht auf der VDI 2067 Richtlinie (Verein Deutscher Ingenieure, 2012) und berücksichtigt angenommene Preissteigerungen für Wartung oder Brennstoffe, Reinvestitionen und Restwerte der Anlagen. Zentrale Annahmen, die zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes getroffen wurden, werden in Tabelle 4-11 dargestellt.

Tabelle 4-11: Übersicht über zentrale Annahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Bezeichnung	Wert
Betrachtungszeitraum (Vorgabe BEW)	30 a
Zinssatz	3,6 %/a
Preissteigerung Brennstoffe	2 %/a
Preissteigerung Wartung, Instandhaltung	3 %/a
Erdgas	7 ct/kWh
Netzstrom	20 ct/kWh
PV -Strom Bezug	10 ct/kWh
Kosten HHS	4,8 ct/kWh
Kosten Wärmebezug BHKW (BGA)	5 ct/kWh
Baukostenzuschuss	17.500 €

Der Baukostenzuschuss ist als Betrag zu verstehen, der vom Anschlussnehmer für den Anschluss an das Wärmenetz inklusive Übergabestation gezahlt werden muss. Es ist zu beachten, dass dieser für die Berechnung dieses Berichtes angenommen wurde und somit nicht als festgesetzter Wert zu verstehen ist. Die Investitionskosten für den Bau des Wärmenetzes ergeben sich aus einer Entwurfsplanung mit aktuellen Preisen der einzelnen Gewerke. Für die beim Wärmenetzbau benötigten Erdarbeiten ist die konservative Annahme getroffen worden, dass 100 % durch Schwarzdecke verlegt werden muss. Die Gesamtkosten sind Tabelle 4-12 zu entnehmen.

Tabelle 4-12: Investitionskosten des Wärmenetzes

Bezeichnung	Nettoinvestition
Fernwärmeleitung (7,6 km)	9.000.000 €
Hausanschlüsse 100 % (383)	4.979.000 €
Gesamtinvestition	13.979.000 €
Förderung	5.592.600 €
Gesamtinvestition nach Förderung	8.387.400 €

Die Förderhöhe der BEW ist neben der allgemeinen Förderhöhe, vgl. Abschnitt 4.5.4, durch die Wirtschaftlichkeitslücke des jeweiligen Konzeptes gegenüber einem kontrafaktischen Fall begrenzt. Ist diese kleiner als die allgemeine Förderhöhe, ist sie der limitierende Faktor. Sie muss daher mit dem dafür zur Verfügung stehenden Tool für die Investitions- und Betriebskostenförderung ermittelt werden. Für die Berechnungen der Konzepte in diesem Bericht wurde davon ausgegangen, dass sowohl für die Investition als auch für die Betriebskosten die vollen Förderbeträge in Anspruch genommen werden können. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie muss die Wirtschaftlichkeitslücke anhand spezifizierter Werte genau geprüft werden.

Für die Simulation der verschiedenen Szenarien wurde angenommen, dass der Spitzenlastkessel ausschließlich mit Erdgas betrieben wird und bis 2040 auf ein erneuerbares und damit umweltfreundliches Gas umgestellt wird, was dem Zielbild einer treibhausgasneutralen Wärmeversorgung entspricht. Trotzdem ist der Betrieb des Gesamtsystems konzeptübergreifend so ausgelegt, dass entsprechend der Vorgabe der BEW maximal 10 % des Wärmebedarfs durch den Gaskessel gedeckt werden. Dies ist notwendig, um die Förderfähigkeit des Betriebs mit fossilem Gas zu erhalten. Die genaue Auslegung der jeweiligen Komponenten ist den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. Für die Investitionsförderung ist zu beachten, dass nicht alle Komponenten förderfähig sind. Gaskessel gelten zwar als klimaneutral, wenn sie mit Biomethan betrieben werden, sind aber nicht Gegenstand des BEW. Auch der Heizstab gehört zu den nicht förderfähigen Komponenten. Die übrigen aufgeführten Komponenten werden mit 40 % gefördert.

SZENARIO 1: WÄRMEPUMPE + HOLZHACKSCHNITZELANLAGE

Tabelle 4-13 zeigt die Dimensionierung und Investitionskosten der Komponenten des ersten Konzeptes.

Tabelle 4-13: Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.1

Bezeichnung	Auslegung	Nettoinvestition
Spitzenlastgaskessel	3.700 kW _{th}	373.000 €
Heizstab	1.000 kW _{th}	102.000 €
Wärmepumpe	1.000 kW _{th}	826.000 €
Holzhackschnitzelanlage	900 kW _{th}	686.000 €
Wärmespeicher	1.000 m ³	318.000 €
Heizhaus	90 m ²	183.000 €
Unvorhergesehenes: Wärmeerzeugung (15 %)		373.000 €
Gesamtinvestition Erzeugung		2.861.000 €
Gesamtinvestition nach Förderung		2.055.000 €

Die Aufteilung der für die Wärmebereitstellung benötigten elektrischen Energie und thermischen Energie in diesem Konzept ist Tabelle 4-14 zu entnehmen. Die Bezugsmengen ergeben sich aus dem Erzeugerlastgang der Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 5.000 kW. Die berechneten Kosten gelten im ersten Jahr, für die nachfolgenden Jahre wird die Preissteigerung nach der VDI 2067 berechnet.

Tabelle 4-14: Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.1

Bezeichnung	Energieart	Energiebezug	Kosten
Spitzenlastkessel	thermisch	1.148 MWh/a	80.379,37 €
Holzhackschnitzel	thermisch	3.540 MWh/a	170.117,17 €
PV-Bezug	elektrisch	922 MWh/a	90.329,45 €
Netzbezug	elektrisch	1.668 MWh/a	333.654,25 €

Die folgende Tabelle stellt die Höhe der jährlichen Betriebskostenzuschüsse für die ersten 10 Jahre des Szenarios dar.

Tabelle 4-15: Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.1

Bezeichnung	Vergütung	Betriebskostenförderung
EE-Bezug	2,95 ct/kWh _{th}	69.438,44 €
Netzbezug	8,85 ct/kWh _{th}	229.759,85 €
Gesamt		299.198,29 €

SCENARIO 2: WÄRMEPUMPE + BHKW

Tabelle 4-16 zeigt die Dimensionierung und Investitionskosten der Komponenten des zweiten Konzeptes.

Tabelle 4-16: Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.2

Bezeichnung	Auslegung	Nettoinvestition
Spitzenlastgaskessel	3.700 kW _{th}	373.000 €
Wärmepumpe	1.400 kW _{th}	1.156.000 €
Wärmespeicher	1.000 m ³	318.000 €
Heizhaus	90 m ²	183.000 €
Unvorhergesehenes: Wärmeerzeugung (15 %)		304.000 €
Gesamtinvestition Erzeugung		2.334.000 €
Gesamtinvestition nach Förderung		1.671.000 €

Die Aufteilung der für die Wärmebereitstellung benötigten elektrischen Energie und thermischen Energie in diesem Konzept ist Tabelle 4-17 zu entnehmen. Die Bezugsmengen ergeben sich aus dem Erzeugerlastgang der Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 5.000 kW. Die berechneten Kosten gelten im ersten Jahr, für die nachfolgenden Jahre wird die Preissteigerung nach der VDI 2067 berechnet.

Tabelle 4-17: Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.2

Bezeichnung	Energieart	Energiebezug	Kosten
Spitzenlastkessel	thermisch	1.148 MWh/a	80.379,37 €
BHKW Wärme Bezug	thermisch	1.993 MWh/a	99.647,60 €
PV-Bezug	elektrisch	990 MWh/a	96.983,95 €
Netzbezug	elektrisch	2.042 MWh/a	408.429,65 €

Die folgende Tabelle stellt die Höhe der jährlichen Betriebskostenzuschüsse für die ersten 10 Jahre des Szenarios dar.

Tabelle 4-18: Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.2

Bezeichnung	Vergütung	Betriebskostenförderung
EE-Bezug	2,98 ct/kWh _{th}	74.332,57 €
Netzbezug	9,06 ct/kWh _{th}	280.946,92 €
Gesamt		355.279,49 €

SZENARIO 3: WÄRMEPUMPE + BHKW + HHS

Tabelle 4-19 zeigt die Dimensionierung und Investitionskosten der Komponenten des dritten Konzeptes.

Tabelle 4-19: Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.3

Bezeichnung	Auslegung	Nettoinvestition
Spitzenlastgaskessel	3.700 kW _{th}	373.000 €
Wärmepumpe	800 kW _{th}	660.000 €
Holzhackschnitzelanlage	600 kW _{th}	457.000 €
Wärmespeicher	1.000 m ³	318.000 €
Heizhaus	90 m ²	183.000 €
Unvorhergesehenes: Wärmeerzeugung (15 %)		299.000 €
Gesamtinvestition Erzeugung		2.290.000 €
Gesamtinvestition nach Förderung		1.643.000 €

Die Aufteilung der für die Wärmebereitstellung benötigten elektrischen Energie und thermischen Energie in diesem Konzept ist Tabelle 4-20 zu entnehmen. Die Bezugsmengen ergeben sich aus dem Erzeugerlastgang der Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 5.000 kW. Die berechneten Kosten gelten im ersten Jahr, für die nachfolgenden Jahre wird die Preissteigerung nach der VDI 2067 berechnet.

Tabelle 4-20: Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.3

Bezeichnung	Energieart	Energiebezug	Kosten
Spitzenlastkessel	thermisch	1.148 MWh/a	80.379,37 €
BHKW Wärme Bezug	thermisch	2.111 MWh/a	105.529,83 €
Holzhackschnitzel	thermisch	2.138 MWh/a	102.746,85 €
PV-Bezug	elektrisch	830 MWh/a	81.385,98 €
Netzbezug	elektrisch	1.381 MWh/a	276.156,41 €

Die folgende Tabelle stellt die Höhe der jährlichen Betriebskostenzuschüsse für die ersten 10 Jahre des Szenarios dar.

Tabelle 4-21: Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.3

Bezeichnung	Vergütung	Betriebskostenförderung
EE-Bezug	2,93 ct/kWh _{th}	62.673,96 €
Netzbezug	8,73 ct/kWh _{th}	190.288,46 €
Gesamt		252.962,42 €

SZENARIO 4: WÄRMEPUMPE

Tabelle 4-22 zeigt die Dimensionierung und Investitionskosten der Komponenten des vierten Konzeptes.

Tabelle 4-22: Dimensionierung und Investitionskosten der Wärmeerzeugung – Sz.4

Bezeichnung	Auslegung	Nettoinvestition
Spitzenlastgaskessel	3.700 kW _{th}	373.000 €
Wärmepumpe	1.900 kW _{th}	1.568.000 €
Heizstab	1.900 kW _{th}	193.000 €
Wärmespeicher	1.000 m ³	318.000 €
Heizhaus	90 m ²	183.000 €
Unvorhergesehenes: Wärmeerzeugung (15 %)		395.000 €
Gesamtinvestition Erzeugung		3.030.000 €
Gesamtinvestition nach Förderung		2.203.000 €

Die Aufteilung der für die Wärmebereitstellung benötigten elektrischen Energie und thermischen Energie in diesem Konzept ist Tabelle 4-23 zu entnehmen. Die Bezugsmengen ergeben sich aus dem Erzeugerlastgang der Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 5.000 kW. Die berechneten Kosten gelten im ersten Jahr, für die nachfolgenden Jahre wird die Preissteigerung nach der VDI 2067 berechnet. Die berechneten Kosten gelten im ersten Jahr, für die nachfolgenden Jahre wird die Preissteigerung nach der VDI 2067 berechnet.

Tabelle 4-23: Jährlicher Energiebezug bei 100 % Anschlussquote – Sz.4

Bezeichnung	Energieart	Energiebezug	Kosten
Spitzenlastkessel	thermisch	1.148 MWh/a	80.379,37 €
PV-Bezug	elektrisch	1.124 MWh/a	110.143,86 €
Netzbezug	elektrisch	2.741 MWh/a	548.276,80 €

Die folgende Tabelle stellt die Höhe der jährlichen Betriebskostenzuschüsse für die ersten 10 Jahre des Szenarios dar. Im Vergleich zu den vorher vorgestellten Konzepten werden hier die höchsten Betriebskostenzuschüsse generiert.

Tabelle 4-24: Jährliche Betriebskostenförderung der Wärmepumpe bei 100 % Anschlussquote – Sz.4

Bezeichnung	Vergütung	Betriebskostenförderung
EE-Bezug	3,00 ct/kWh _{th}	83.991,92 €
Netzbezug	9,20 ct/kWh _{th}	376.053,09 €
Gesamt		460.045,01 €

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Szenarien wurde auf Basis der VDI 2067 berechnet, welche die Bedarfs-, Betriebs- und Kapitalkosten sowie die Erlöse berücksichtigt. Ein zentraler Punkt der Berechnungen ist die Betriebskostenförderung der BEW, die für die ersten 10 Jahre gewährt wird und zu den aufgeführten Vergütungen führt. Diese Förderung verringert die Betriebskosten der Wärmeerzeugung und spielt eine wichtige Rolle in der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Szenarien. Die bedarfsgebundenen Kosten und sind in Tabelle 4-25 dargestellt.

Tabelle 4-25: Jährliche Bedarfskosten der Konzepte bei 100 % Anschlussquote

Konzept	Bedarfskosten	Verbrauchskosten abzüglich Betriebskostenförderung
Sz1: WP + HHS	674.480,24 €	375.281,95 €
Sz2: WP + BHKW	685.440,57 €	330.161,08 €
Sz3: WP + BHKW + HHS	646.198,44 €	393.236,02 €
Sz4: WP	738.800,03 €	278.755,02 €

Betrachtet man die bedarfs-, betriebs- und kapitalgebundenen Kosten und die Erlöse zusammen ergeben sich die in Abbildung 4-30 dargestellten Wärmegestehungskosten (WGK) bei einer Anschlussquote von 100 %.

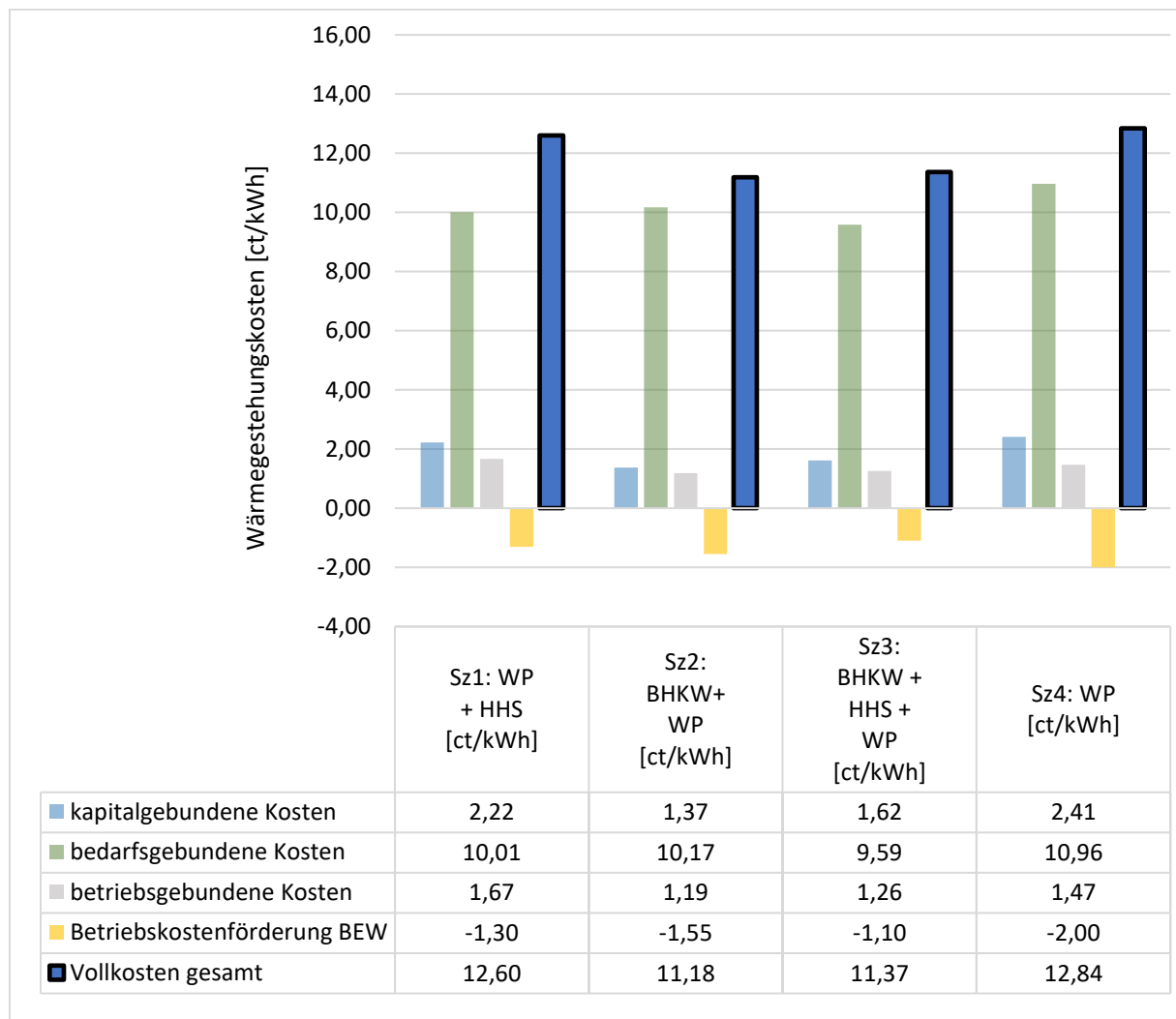


Abbildung 4-30: Wärmegestehungskosten der Versorgungsszenarien bei einer Anschlussquote von 100 %

In Abbildung 4-31 werden die bedarfs-, betriebs- und kapitalgebundenen Kosten sowie die Erlöse bei einer Anschlussquote von 70 % dargestellt. Diese Quote ist in der Praxis realistischer umsetzbar als eine Anschlussquote von 100 %. Im Vergleich zur vorherigen Abbildung, die eine vollständige Netzabdeckung (100 %) annimmt, verändern sich bei 70 % Anschlussquote vor allem die Anzahl der Hausanschlüsse sowie die Wärme- und Strommengen, die ins Netz eingespeist und verbraucht werden.

Jedoch bleibt die Dimensionierung des Wärmenetzes, wie die Hauptverteiltrasse, sowie die Wärmeerzeuger unverändert. Dies führt dazu, dass sowohl die kapitalgebundenen Kosten als auch die betrieblichen Aufwendungen im Verhältnis zur Anzahl der angeschlossenen Haushalte ansteigen. Der Grund hierfür liegt in den Fixkosten, die auch bei einer reduzierten Anschlussquote vollständig getragen werden müssen.

Es ist daher wichtig, bei der Planung eines Wärmenetzes nicht nur eine möglichst hohe Anschlussquote anzustreben, sondern auch die Fixkosten möglichst gering zu halten, um die Wirtschaftlichkeit des Projekts langfristig zu sichern.

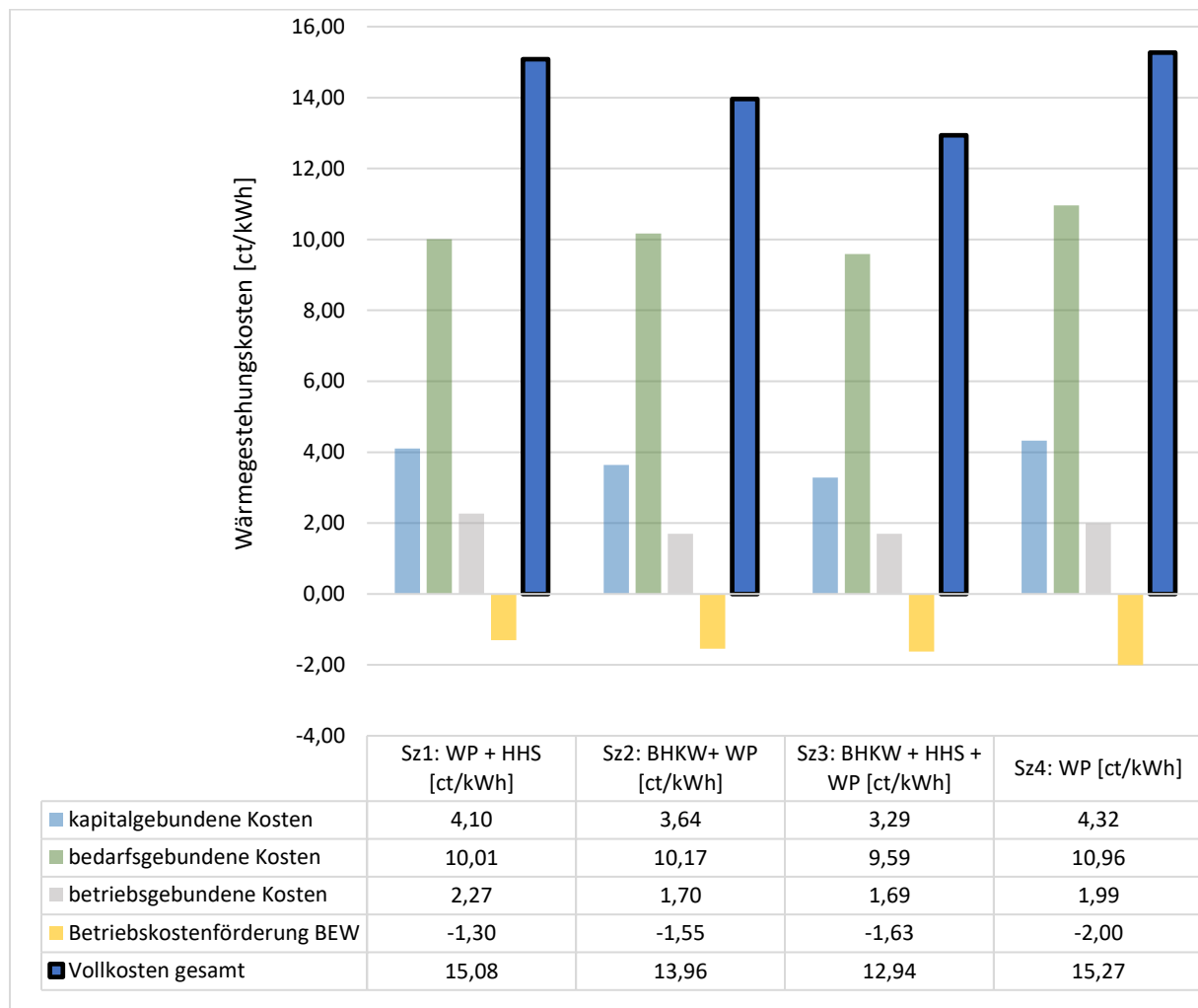


Abbildung 4-31: Wärmegestehungskosten der Versorgungsszenarien bei einer Anschlussquote von 70 %

4.5.6 SENSITIVITÄTSANALYSE

Die Vollkosten der verschiedenen Konzepte sind stark abhängig von der Anzahl der Anschlussnehmer. Je mehr Mitglieder des Quartiers sich an das Wärmenetz anschließen, desto höher wird die Liniendichte. Wie bereits in Abschnitt 4.5.1 erwähnt wirkt sich eine höhere Liniendichte auf den Endkundenpreis aus. Diese Sensitivitätsanalyse zeigt auf, wie sich die Anschlussquote auf die Kosten für die Anschlussnehmer auswirken kann. Die Preisentwicklung bei den verschiedenen Konzepten ist Abbildung 4-32 zu entnehmen. Zur Darstellung dieser wurden die Wärmemenge und die Kosten für die Hausanschlüsse je nach Anschlussquote variiert. Die hier gezeigten Preise werden benötigt, um einen Betrieb des Wärmenetzes über 30 Jahre zu ermöglichen, bei dem kein Gewinn erzielt wird. Es ist deutlich zu sehen, dass vor allem im Bereich zwischen 30 % und 50 % erhebliche Preissenkungen durch zusätzliche Anschlussnehmer erzielt werden können.

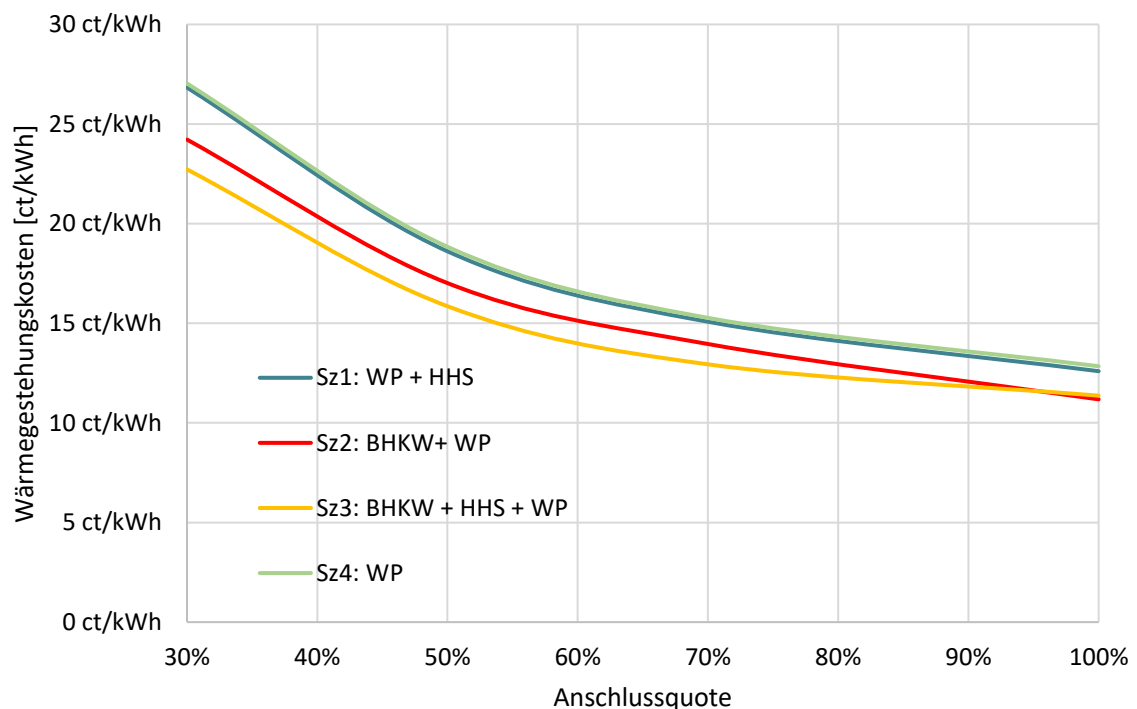


Abbildung 4-32: Abhängigkeit der Vollkosten von der Anschlussquote

Die Abbildung zeigt, dass Szenario 3 durchgehend die niedrigsten Vollkosten aufweist. Wie in Abbildung 4-31 ersichtlich, machen die verbrauchsgebundenen Kosten stets den größten Anteil der Vollkosten aus, der dabei immer über 60 % liegt. Dies verdeutlicht, dass der größte Hebel zur Kostensenkung für den Endkunden – und damit zur Erreichung eines realistischen Preismodells – in der Reduzierung dieser Kosten liegt. Um die verbrauchsgebundenen Kosten nachhaltig zu senken, muss Netzstrom (hier mit 20 Cent/kWh angesetzt) durch kostengünstige regenerative Energiequellen ersetzt werden.

4.5.7 KLIMAVERTRÄGLICHKEIT

Ziel dieser Studie ist, einen möglichen Pfad zur CO₂-Neutralität der Gemeinde Brekendorf aufzuzeigen. Neben dem vorgestellten, möglichen Wärmenetz werden auch andere Sektoren und Lösungen untersucht, welche in ihrer Gesamtheit zur CO₂-Reduktion beitragen. In diesem Absatz werden drei wichtige Indikatoren zur Klimaverträglichkeit in Bezug auf das konzipierte Wärmenetz genauer untersucht:

- Spezifische CO₂-Emission
- Anteil erneuerbarer Energie
- Primärenergiefaktor

SPEZIFISCHE CO₂-EMISSION

Das Gebäudeenergiegesetz aus dem Jahr 2023 gibt vor, mit welchen Emissionsfaktoren verwendete Energieträger verrechnet werden. Es werden die Faktoren für fossile und biogene Brennstoffe, sowie Strom aufgeführt. Netzstrom wird beispielsweise mit 560 g CO₂-Äquivalent pro kWh angegeben. Der Strombezug aus gebäudenahen, erneuerbaren Anlagen wie Photovoltaik oder Windkraft kann mit 0 g/kWh angesetzt werden. Bereits bei der heutigen Stromerzeugung liegt der Emissionsfaktor für Netzstrom unter dem anzusetzenden Wert von 560 g/kWh. Der CO₂-Faktor für Netzstrom wird die nächsten Jahre weiter sinken, mit dem Ziel 2035 0 g/kWh zu erreichen.

In Tabelle 4-26 sind die verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren und die daraus resultierenden spezifischen und absoluten CO₂-Emissionen des Wärmenetzes bei einer Sanierungsrate von 2 % bis zum Jahr 2045 dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass das Ziel der Bundesregierung, den Stromsektor bis 2035 zu dekarbonisieren erreicht wird und der CO₂-Emissionsfaktor für Netzstrom auf 0 g/kWh sinkt. Bis dahin wird eine lineare Abnahme des CO₂-Äquivalents angenommen. Die spezifischen CO₂-Faktoren wurden auf Basis der im jeweiligen Szenario eingesetzten Energiemengen und der in der Tabelle 3-13 angegebenen CO₂-Faktoren berechnet. Die Werte basieren auf einem Anschlussquote von 100 %. Es wird davon ausgegangen, dass der Erdgasanteil spätestens ab 2045 vollständig durch Biogas ersetzt wird.

Tabelle 4-26: CO₂-Emission für die erzeugte Wärme

Energieträger		2025	2030	2035	2040	2045
Erzeugte Wärme (MWh/a)		10.672	9.714	9.000	8.354	7.771
Netzstrom [g/kWh]		560	280	0	0	0
Erneuerbarer Strom [g/kWh]		0	0	0	0	0
Holz [g/kWh]		20	20	20	20	20
Biogas [g/kWh]		140	140	140	140	140
Erdgas [g/kWh]		240	240	240	240	140
Sz.1	spez. CO ₂ -Emission [g/kWh]	120	76	32	32	22
	CO ₂ -Emission [t/a]	1.281	740	292	271	169
Sz.2	spez. CO ₂ -Emission [g/kWh]	167	113	60	60	41
	CO ₂ -Emission [t/a]	1.783	1.102	539	500	320
Sz.3	spez. CO ₂ -Emission [g/kWh]	130	94	58	58	47
	CO ₂ -Emission [t/a]	1.387	911	518	481	363
Sz.4	spez. CO ₂ -Emission [g/kWh]	170	98	26	26	15
	CO ₂ -Emission [t/a]	1.811	950	232	216	117

Szenario 4 weist anfänglich die höchsten CO₂-Emissionen auf, bedingt durch den aktuell hohen Emissionsfaktor für Netzstrom von 560 g/kWh, was zu Emissionen von 1.811 t/a im Jahr 2025 führt. Ab 2035 sinken die Emissionen jedoch signifikant, da der Emissionsfaktor für Netzstrom auf 0 g/kWh reduziert wird, wodurch dieses Szenario ab diesem Zeitpunkt die geringsten Emissionen aufweist. Bis 2045 reduziert sich der CO₂-Ausstoß in Szenario 4 auf 117 t/a. Im Vergleich dazu zeigt Szenario 3 zwar geringere anfängliche Emissionen, erweist sich jedoch langfristig gegenüber Szenario 4 als weniger effizient in der Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Emissionen sinken hier von 1.387 t/a im Jahr 2025 auf 363 t/a im Jahr 2045. Alle Szenarien profitieren von dem kontinuierlich sinkenden CO₂-Emissionsfaktor des Netzstroms, der einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Emissionen leistet.

ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIE

Für den Betrieb der Wärmepumpe wird ein geringer Anteil an Netzstrom benötigt. Dieser wird mit einem regenerativen Anteil von 52 % angesetzt, was dem Anteil im deutschen Strommix im Jahr 2023 entspricht (Umweltbundesamt, 2024). Der Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung ist in Tabelle 4-27 dargestellt.

Tabelle 4-27: Anteil erneuerbarer Energie im Wärmenetz

	Energie	erneuerbar	nicht erneuerbar
Szenario 1 [MWh/a]	10.672	8.720	1.952
Anteil [%]		81,71	18,29
Szenario 2 [MWh/a]	10.672	8.539	2.133
Anteil [%]		80,02	19,98
Szenario 3 [MWh/a]	10.672	8.858	1.814
Anteil [%]		83,00	17,00
Szenario 4 [MWh/a]	10.672	8.202	2.470
Anteil [%]		76,86	23,14

Innerhalb der betrachteten Szenarien variiert der Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung erheblich. Szenario 3 weist mit 83,00 % den höchsten Anteil erneuerbarer Energien auf, während Szenario 4 mit einem Anteil von nur 76,86 % den niedrigsten erneuerbaren Anteil hat. Die Szenarien 1 und 2 liegen mit Anteilen von 81,71 % bzw. 80,02 % erneuerbarer Energien im mittleren Bereich, wobei Szenario 1 einen höheren Wert als Szenario 2 aufweist. Diese Unterschiede existieren jedoch, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, primär zu Beginn. Mit der fortschreitenden Entwicklung und Integration erneuerbarer Energien in das öffentliche Stromnetz ist zu erwarten, dass sich diese Verhältnisse im Laufe der Zeit unterschiedlich entwickeln werden.

PRIMÄRENERGIEFAKTOR

Liegt der ermittelte Primärenergiefaktor unter 0,3, kann der Wert von 0,3 für jeden Prozentpunkt des Anteils der im Wärmenetz genutzten Wärme, der aus erneuerbaren Energien oder Abwärme erzeugt wird, um 0,001 verringert werden (§ 22 Absatz (3) GEG). Da die Leistung der Großwärmepumpe einen Wert von 500 kW übersteigt, ist gemäß §22 Absatz (2) GEG für den netzbezogenen Strom der Primärenergiefaktor für den nicht erneuerbaren Anteil von 1,2 zu verwenden. Für Wärme, welche durch gasförmige Biomasse aus dem Erdgasnetz in hocheffizienten KWK-Anlagen erzeugt wird, ist ein Primärenergiefaktor von 0,5 anzusetzen (§ 22 Absatz (1) GEG).

Tabelle 4-28 zeigt die Eingangsparameter und Ergebnisse der Berechnung des Primärenergiefaktors für die Wärmelieferung. Der niedrigste Primärenergiebedarf ergibt sich in Szenario 1, da hier der Großteil der Wärme durch Holz erzeugt wird, für welchen ein Primärenergiefaktor von 0,2 anzusetzen ist. Den höchsten Primärenergiefaktor hat mit 0,322 das zweite Szenario.

Tabelle 4-28: Berechnung des Primärenergiefaktors

	Energieträger	Energie [MWh/a]	Primärenergie- faktor	Primärenergie [MWh/a]
Sz.1	Netzstrom (nicht erneuerbar)	804	1,200	965
	Netzstrom (erneuerbar)	864	0,000	-
	PV-Strom	922	0,000	-
	Umweltwärme durch WP	4.029	0,000	-
	Erdgas Spitzenlast	1.148	1,100	1.263
	Holz	3.540	0,200	708
	davon Erzeugungsverluste	636		
	Wärmelieferung	10.672	0,275	2.936
§ 22 Primärenergiefaktor nach Kappung			0,218	
	Energieträger	Energie [MWh/a]	Primärenergie- faktor	Primärenergie [MWh/a]
Sz. 2	Netzstrom (nicht erneuerbar)	984	1,200	1.181
	Netzstrom (erneuerbar)	1.058	0,000	-
	PV-Strom	990	0,000	-
	Umweltwärme durch WP	4.603	0,000	-
	Biogas	1.993	0,500	996
	Erdgas Spitzenlast	1.148	1,100	1.263
	davon Erzeugungsverluste	104		
	Wärmelieferung	10.672	0,322	3.441
§ 22 Primärenergiefaktor nach Kappung			0,322	
	Energieträger	Energie [MWh/a]	Primärenergie- faktor	Primärenergie [MWh/a]
Sz.3	Netzstrom (nicht erneuerbar)	666	1,200	799
	Netzstrom (erneuerbar)	715	0,000	-
	PV-Strom	830	0,000	-
	Umweltwärme durch WP	3.489	0,000	-
	Biogas	2.111	0,500	1.055
	Erdgas Spitzenlast	1.148	1,100	1.263
	Holz	2.138	0,200	428
	davon Erzeugungsverluste	425		
	Wärmelieferung	10.672	0,217	2.318
§ 22 Primärenergiefaktor nach Kappung			0,220	
	Energieträger	Energie [MWh/a]	Primärenergie- faktor	Primärenergie [MWh/a]
Sz.4	Netzstrom (nicht erneuerbar)	1.321	1,200	1.586
	Netzstrom (erneuerbar)	1.420	0,000	-
	PV-Strom	1.124	0,000	-
	Umweltwärme durch WP	5.762	0,000	-
	Erdgas Spitzenlast	1.148	1,100	1.263
	davon Erzeugungsverluste	104		
	Wärmelieferung	10.672	0,118	1.263
§ 22 Primärenergiefaktor nach Kappung			0,220	

4.5.8 ZEITPLAN UND UMSETZUNG

Bevor die Gemeinde Brekendorf beschließt, ein Wärmenetz zu bauen, das den Ortskern erschließt, muss eine zentrale Entscheidung getroffen werden: **Wer wird das Wärmenetz planen, bauen und betreiben?** Diese Frage bezieht sich auf das Betreibermodell, das im Vorfeld festgelegt werden muss. Hierbei hat die Gemeinde verschiedene Optionen, die von der vollständigen Übertragung an ein externes Unternehmen bis zur Eigenverantwortung der Gemeinde oder Bürgergenossenschaften reichen (siehe Kapitel 4.5.9 Mögliche Betreibermodelle).

Die Gemeinde muss also in einem ersten Schritt entscheiden, welche Rolle sie selbst in der Umsetzung des Wärmenetzes einnehmen möchte. Dabei stehen ihr verschiedene Möglichkeiten offen: die Rolle des Initiators, Investors oder die Beteiligung an einer Betreibergesellschaft.

Sobald das Betreibermodell festgelegt ist, können die weiteren Schritte zur Umsetzung des Wärmenetzes erfolgen. Diese sind typischerweise in mehrere Bauphasen unterteilt. Zunächst werden Gebiete erschlossen, die in der Nähe der zukünftigen Heizzentrale liegen und ein hohes Absatzpotenzial aufweisen. Weitere Bauabschnitte folgen, wobei die Anschlussquote entscheidend ist: Gebiete mit hoher Anschlussbereitschaft werden zuerst erschlossen.

Die Umsetzung lässt sich in die folgenden Phasen unterteilen:

0. Betreibermodell und Fördermittelakquise

Bevor das Wärmenetz geplant und gebaut wird, muss das Betreibermodell festgelegt werden (siehe Kapitel 4.5.9). Anschließend wird eine Machbarkeitsstudie im Rahmen der **Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)** (Modul 1) durchgeführt. Diese Studie ist Voraussetzung für die spätere Beantragung von Modul 2, der Förderung für Neubau und Bestandsnetze.

1. Kundengewinnung

Die Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes hängt stark von der Akzeptanz und Anschlussbereitschaft der Anwohner ab. In dieser Phase muss die Gemeinde aktiv Kunden für den ersten Bauabschnitt gewinnen. Dies stellt einen der wichtigsten Schritte dar.

2. Planungsphase

Abhängig von der Kundengewinnung wird das Wärmenetz konkret geplant. Dabei kann es sinnvoll sein, einige Straßenzüge früher oder später zu erschließen, je nach Anschlussbereitschaft.

3. Bauphase 1

Der Bau des ersten Abschnitts des Wärmenetzes beginnt.

4. Inbetriebnahme des ersten Bauabschnitts

Sobald der Bauabschnitt abgeschlossen ist, werden die angeschlossenen Kunden mit Wärme versorgt.

Diese Schritte wiederholen sich für die folgenden Bauabschnitte. Wie genau die Abschnitte gewählt werden, hängt vom festgelegten Betreibermodell und der Kundenakquise ab. In der Regel dauert die Erschließung des gesamten Ortes etwa vier Jahre, kann jedoch je nach Verlauf des Projektes und der Akzeptanz variieren.

4.5.9 MÖGLICHE BETREIBERMODELLE

Bevor ein Wärmenetz in Brekendorf realisiert werden kann, muss festgelegt werden, wer für Planung, Bau und Betrieb verantwortlich ist. Diese Entscheidung betrifft das sogenannte **Betreibermodell**, das maßgeblich die Rolle der Gemeinde und anderer Akteure festlegt. Im Folgenden werden die möglichen Betreibermodelle im Detail beschrieben:

100 % EXTERNES UNTERNEHMEN

In diesem Modell übernimmt ein **externes Unternehmen** vollständig die Verantwortung für Planung, Bau und Betrieb des Wärmenetzes. Die Gemeinde tritt als **Initiator** auf und schafft die Rahmenbedingungen, damit ein solches Projekt realisiert werden kann. Ihre Aufgaben beschränken sich auf die Bereitstellung von Flächen, die Organisation von Veranstaltungen zur Bürgerinformation und Unterstützung durch politische Beschlüsse. Die operative Umsetzung liegt vollständig beim externen Partner. Dies kann z.B. ein spezialisiertes Energieunternehmen sein.

Rolle der Gemeinde: Initiator, Unterstützung bei Flächenbereitstellung, Bürgerkommunikation (z.B. Bürgermeisterbrief, Veranstaltungen).

Vorteile:

- Geringes finanzielles Risiko für die Gemeinde.
- Wenig organisatorischer Aufwand für die Verwaltung.
- Know-how und Expertise des externen Partners.

Nachteile:

- Geringer Einfluss auf die Gestaltung und den Betrieb des Wärmenetzes.
- Möglicherweise geringere Identifikation der Anwohnerschaft mit dem Projekt.
- Externes Unternehmen könnte primär gewinnorientiert agieren, was sich auf Preise auswirken kann.

Beispiel: Ein Wegerechtsvertrag wird geschlossen, und die Gemeinde agiert als Kunde des Unternehmens (Wärmekunde).

BÜRGERGENOSSENSCHAFT

Die **Bürgergenossenschaft** stellt ein Modell dar, bei dem die Bürgerinnen und Bürger der Gemeinde aktiv an Planung, Bau und Betrieb des Wärmenetzes beteiligt sind. Die Gemeinde ist weiterhin **Initiator**, übernimmt aber auch eine koordinierende Rolle, indem sie beispielsweise Veranstaltungen organisiert und unterstützend tätig ist. Die Genossenschaft selbst besteht aus Bürgern, die sowohl als **Miteigentümer** als auch als **Wärmekunden** agieren.

Rolle der Gemeinde: Initiator, Koordinator, möglicherweise selbst Genossenschaftsmitglied.

Vorteile:

- Hohe Identifikation der Anwohnerschaft mit dem Projekt.
- Demokratische Entscheidungsstrukturen innerhalb der Genossenschaft.
- Einnahmen und Gewinne bleiben in der Region.

Nachteile:

- Höherer organisatorischer Aufwand für die Gemeinde, insbesondere bei der Gründungsunterstützung der Genossenschaft.
- Finanzierung muss durch die Genossenschaftsmitglieder gestemmt werden.
- Möglicherweise fehlt das technische Know-how für Planung und Betrieb, was durch externe Beratung ausgeglichen werden muss.

Beispiel: Die Gemeinde unterstützt die Genossenschaft durch Bereitstellung von Flächen und politische Unterstützung. Die Bürger sind sowohl Betreiber als auch Kunden und treffen gemeinschaftlich Entscheidungen.

100% KOMMUNE

In diesem Modell tritt die Gemeinde als **Investor** auf und übernimmt die volle Verantwortung für die Planung, den Bau und den Betrieb des Wärmenetzes. Sie organisiert dies entweder durch eine eigene Betriebseinheit innerhalb der Gemeinde oder durch vertragliche Zusammenarbeit mit Dritten (sogenanntes **Contracting**). Dieses Modell erfordert ein hohes finanzielles und organisatorisches Engagement der Gemeinde, gibt ihr aber auch die größte Kontrolle.

Rolle der Gemeinde: Vollständiger Investor und Betreiber, alternativ Vergabe von Aufgaben an Dritte.

Vorteile:

- Maximale Kontrolle über die Ausgestaltung, Betrieb und Preisstruktur des Wärmenetzes.
- Einnahmen aus dem Betrieb bleiben bei der Gemeinde.
- Potenziell hohe Akzeptanz, da die Gemeinde als vertrauenswürdiger Akteur auftritt.

Nachteile:

- Hohe finanzielle Risiken und Vorleistungen.
- Erheblicher Planungs- und Organisationsaufwand.
- Die Gemeinde muss eigenes Know-how oder externe Beratung zur Umsetzung nutzen.

Beispiel: Die Gemeinde baut und betreibt das Netz selbst oder schließt Verträge mit einem spezialisierten Unternehmen ab, das im Auftrag der Gemeinde agiert.

BETEILIGUNG AN BETREIBERGESELLSCHAFT

In diesem Modell beteiligt sich die Gemeinde an einer **privatrechtlichen Gesellschaft**, wie beispielsweise einer **GmbH** oder einer **GmbH & Co. KG**, die das Wärmenetz betreibt. Die Gemeinde übernimmt Anteile an der Gesellschaft und ist somit Miteigentümerin, teilt aber die Verantwortung und Risiken mit anderen Gesellschaftern. Die GmbH & Co. KG ist eine Mischform, in der die GmbH als vollhafter Gesellschafter (Komplementär) auftritt, während die Gemeinde und andere Beteiligte als Kommanditisten nur mit ihrer Einlage haften.

Rolle der Gemeinde: Anteilseigner an der Betreibergesellschaft, möglicherweise in einer beratenden Funktion in der Geschäftsführung.

Vorteile:

- Geteiltes finanzielles Risiko.
- Die Gemeinde hat Mitspracherechte, ohne die volle Verantwortung zu tragen.
- Die Struktur kann flexibel gestaltet werden (z.B. Beteiligung privater Investoren).

Nachteile:

- Weniger Einfluss als im Modell "100% Kommune".
- Potenziell komplexere Entscheidungsfindung, da mehrere Gesellschafter beteiligt sind.

Beispiel: Die Gemeinde beteiligt sich an einer GmbH, die von einem Energieversorger oder einer Gruppe von Investoren gegründet wurde, und übernimmt einen bestimmten Prozentsatz der Anteile.

ZUSAMMENFASSUNG DER BETREIBERMODELLE

Die Wahl des Betreibermodells ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung eines Wärmenetzes in Brekendorf. Jedes Modell bringt unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich, insbesondere hinsichtlich des finanziellen Risikos, der organisatorischen Verantwortung und der Einbindung der Bürgerinnen und Bürger. Es ist daher wichtig, dass die Gemeinde frühzeitig Gespräche führt, um die verschiedenen Optionen zu bewerten und die beste Lösung für ihre spezifischen Bedürfnisse und Möglichkeiten zu finden.

4.6 MOBILITÄT

In diesem Abschnitt werden mehrere Möglichkeiten zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich der Mobilität in Brekendorf betrachtet und beschrieben. Es werden verschiedene Handlungsoptionen aufgezeigt, die in Ihrer Gesamtheit zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität in Brekendorf beitragen können.

4.6.1 INDIVIDUELLER PERSONENKRAFTVERKEHR

Anfang 2024 waren laut Kraftfahrt-Bundesamt 759 Personenkraftwagen in der Gemeinde Brekendorf zugelassen, davon keines gewerblich (Kraftfahrt-Bundesamt, 2024). Da nachhaltige Mobilität derzeit hauptsächlich über batterieelektrische Fahrzeuge erfolgt, werden diese in der Studie betrachtet.

Der Strombedarf und die CO₂-Emissionen der vorhandenen Elektroautos sind bereits im Stromlastgang der Gemeinde enthalten, daher werden nur Diesel- und Benzinfahrzeuge analysiert. Für den Kreis Rendsburg-Eckernförde gibt das Kraftfahrt-Bundesamt 36,0 % Diesel- und 55,9 % Benzinfahrzeuge an. Die geschätzte Anzahl dieser Fahrzeugtypen ist in Tabelle 3-9 dargestellt.

Auf Grund der geringen Anzahl von Gas- und Hybrid-Fahrzeugen werden diese im Rahmen der Studie zunächst nicht weiter betrachtet, womit die 596 benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeuge in die weitere Betrachtung fallen.

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gibt für den kleinstädtischen bzw. ländlichen Raum eine durchschnittliche Jahresfahrleistung pro PKW von ca. 15.900 km an (BMDV, 2018). Dieser Wert muss auf Grund der aktuellen Entwicklung hin zu einer verstärkten Nutzung des Homeoffice, ausgelöst durch die Corona-Pandemie, nach unten korrigiert werden. Es wird die Annahme getroffen, dass sich die Jahresfahrleistung künftig um ca. 10 % reduziert – was eine Fahrleistung von 14.310 km/a zur Folge hat. Außerdem wird davon ausgegangen, dass ein Diesel einen Verbrauch von 7,0 l/100 km und ein Benzinerverbrauch von 7,7 l/100 km hat, welcher sich in den letzten Jahren nicht signifikant reduziert hat (Statista, 2022). Für elektrische Fahrzeuge wird ein Verbrauch von 18 kWh/100 km angenommen. Die pro kWh Benzin verursachten Emissionen wurden auf Basis einer Erhebung des Umweltbundesamtes berechnet (Umweltbundesamt, 2022).

Für die Abschätzung der CO₂-Einsparungen im individuellen Personenverkehr bis zum Jahr 2050 werden 3 Mobilitätsszenarien aufgestellt:

1. Szenario 1:
In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass im Jahr 2050 alle PKW innerhalb der Gemeinde elektrisch betrieben werden.
2. Szenario 2:
Bis zum Jahr 2050 werden 80 % der PKW batterieelektrisch betrieben.
3. Szenario 3:
In diesem Szenario werden im Jahr 2050 60 % der PKW batterieelektrisch betrieben.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen der batterieelektrisch betriebenen Fahrzeuge wird in dieser Betrachtung davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge mit Strom aus dem Stromnetz geladen werden. Der CO₂-Emissionsfaktor der einzelnen Stützjahre entspricht dabei den Werten aus Tabelle 4-26. Die Ergebnisse dieses Vergleichs werden in Abbildung 4-33 dargestellt. Neben der Entwicklung der CO₂-Emissionen kann der Abbildung die angenommenen E-Fahrzeuganzahl bis 2050 entnommen werden.

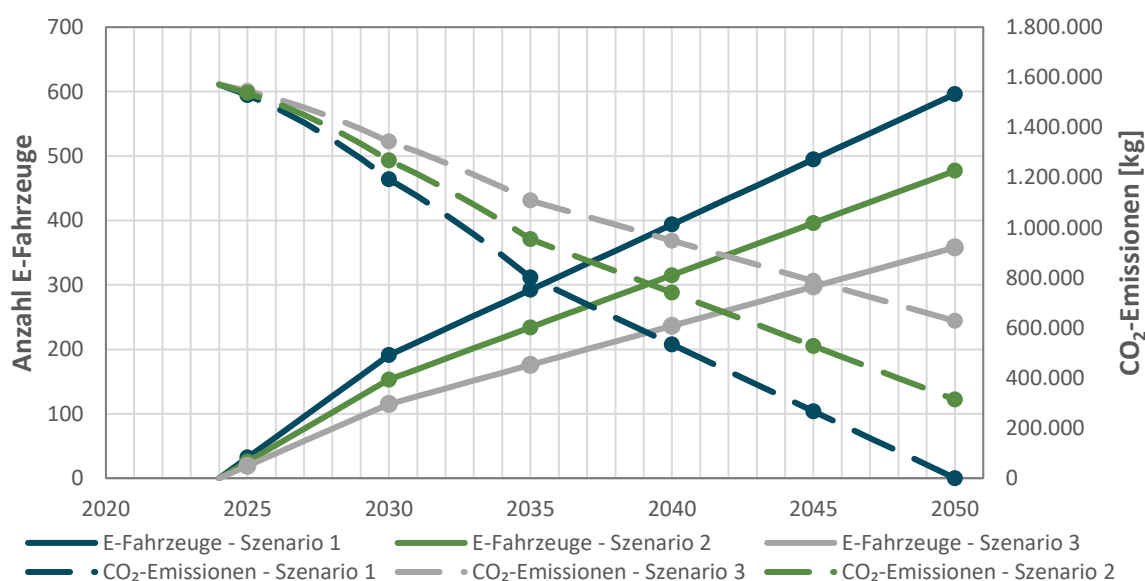


Abbildung 4-33: Entwicklung der PKW-CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050

4.6.2 AUSWERTUNG DER UMFRAGE

Im Rahmen der durchgeführten Umfrage wurden auch spezifische Fragen zur Mobilität in Brekendorf gestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Umfrage detailliert dargestellt und analysiert, um die aktuellen Mobilitätsbedürfnisse und -präferenzen der Bewohner zu verdeutlichen.

Von den 383 Adressen im Quartier haben 78 an der Umfrage teilgenommen, was einer Beteiligungsquote von 20 % entspricht. Da die Beteiligung zu gering war, können keine repräsentativen Aussagen über das gesamte Quartier gemacht werden. Abbildung 4-34 zeigt die Anzahl der Fahrzeuge, die laut der Umfrageteilnehmer pro Haushalt genutzt werden.

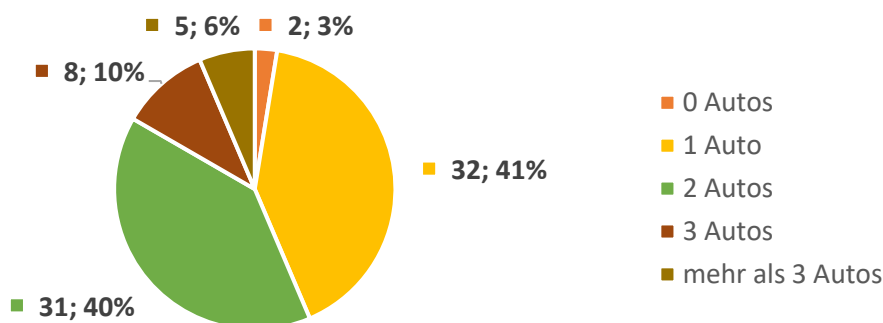


Abbildung 4-34: Verteilung der Fahrzeuganzahl in den Haushalten der Umfrageteilnehmer

Laut Umfrage besitzen 32 Haushalte (41 %) ein Fahrzeug, 31 Haushalte (40 %) haben zwei Fahrzeuge, 8 Haushalte (10 %) besitzen drei Fahrzeuge und 5 Haushalte (6 %) verfügen über mehr als drei Fahrzeuge. 2 Haushalte machten keine Angaben zu dieser Frage. 2 Haushalte besitzen keine Fahrzeuge. Diese Verteilung zeigt, dass viele Haushalte mehrere Fahrzeuge nutzen, was auf eine hohe Abhängigkeit vom Individualverkehr hinweist.

Die aus der Umfrage errechnete durchschnittliche zurückgelegte Fahrtstrecke eines Fahrzeuges liegt bei 12.843 km pro Jahr. Auch wenn dieser Wert unter dem Durchschnitt liegt, deutet diese Fahrtstrecke darauf hin, dass die Bewohner von Brekendorf stark auf ihre Fahrzeuge angewiesen sind. Dies könnte auf lange Arbeitswege, Besorgungen, Freizeitaktivitäten oder mangelnde Alternativen im öffentlichen Nahverkehr hinweisen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, sowohl die bestehende Infrastruktur zu optimieren als auch nachhaltige Mobilitätsalternativen zu fördern. Eine Möglichkeit zur Optimierung stellt die Umstellung auf Elektrofahrzeuge da.

Von den befragten Haushalten gaben 4 Haushalte an, bereits ein Elektroauto zu besitzen. Demgegenüber stehen 73 Haushalte, die derzeit kein Elektroauto in ihrem Besitz haben. Dies zeigt, dass Elektrofahrzeuge momentan nur in einer kleinen Minderheit der Haushalte vertreten sind.

Die Umfrage ergab zudem Einblicke in die Bereitschaft der Haushalte, in Zukunft ein Elektrofahrzeug anzuschaffen. Die Ergebnisse sind der Tabelle 4-29 zu entnehmen.

Tabelle 4-29: Interesse an Elektrofahrzeugen

Anschaffung E-Auto	Anzahl der Haushalte
Ja	8
Nein	33
Vielleicht	34
Keine Angabe	3

Die Ergebnisse zeigen, dass von befragten Haushalten in Brekendorf 8 Haushalte aktuell bereit sind, ein Elektrofahrzeug anzuschaffen. Im Gegensatz dazu lehnen 33 Haushalte den Kauf eines E-Autos ab, während immerhin 34 Haushalte noch unentschlossen sind und eventuell eine Anschaffung in Betrachtung ziehen. Diese Daten verdeutlichen, dass ein gewisses Potential für eine erhöhte Verbreitung von Elektrofahrzeugen im Quartier besteht. Obwohl derzeit nur eine Minderheit der Haushalte fest entschlossen ist, ein E-Auto zu kaufen, zeigt der relativ hohe Anteil der Unentschlossenen, dass gezielte Maßnahmen und Anreize möglicherweise zu einem Anstieg der Akzeptanz führen könnten. Angesichts der durchschnittlichen Fahrtstrecke der Bewohner wird die Notwendigkeit für effiziente und nachhaltige Verkehrslösungen besonders deutlich. Im Folgenden werden mögliche Maßnahmen zur Optimierung der Mobilität in Brekendorf detaillierter betrachtet.

4.6.3 CARSHARING

Carsharing ist ein bereits etabliertes Angebot im urbanen Raum. Hier ist der Parkraum knapp und alltägliche Wege können in der Regel mit kurz getakteten öffentlichen Verkehrsmitteln, zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. Dementsprechend kann die Pkw-Nutzung die Ausnahme darstellen und ist zudem in vielen Fällen flexibel planbar (geringer Gleichzeitigkeitsfaktor). Wenige Fahrzeuge sind daher in der Lage, einen großen Teil der motorisierten Mobilitätsbedürfnisse der Stadtbewohner abzudecken. Anders im ländlichen Raum: Hier ist die Zahl der privaten Stellplätze bezogen auf die Einwohnerzahl deutlich höher und die Wege des täglichen Bedarfs, z.B. zum Arbeitsplatz oder zur nächsten Einkaufsmöglichkeit, sind deutlich länger. Gleichzeitig ist die Taktung des öffentlichen Verkehrs deutlich geringer. Dementsprechend liegt die Nutzung des Pkw nahe und ist für viele Einwohner das alltägliche Verkehrsmittel. Um die Mobilitätsbedürfnisse zu befriedigen, wäre demnach eine höhere Anzahl an Fahrzeugen notwendig. Dennoch besitzen Haushalte in Deutschland Zweit- oder sogar Drittautos, die nur wenig genutzt werden. Hier kann die Nutzung von Carsharing-Angeboten auch im ländlichen Raum sinnvoll sein und zur CO₂-Reduktion beitragen.

Ein mögliches Modell in Schleswig-Holstein ist das Dörpsmobil. Beim Dörpsmobil handelt es sich um ein Carsharing Angebot für elektrische Fahrzeuge. Das Modell ist zum ersten Mal in der Gemeinde Klixbüll (Kreis Nordfriesland) 2016 umgesetzt worden und seitdem in mehreren Ortschaften in ganz Schleswig-Holstein zu finden. Die Fahrzeuge werden mit Ökostrom geladen, idealerweise direkt aus eigenen Anlagen, die direkt vor Ort nachhaltigen Strom bereitstellen. (Dörpsmobil SH, 2020)

Für die Umsetzung eines Dörpsmobil gibt es drei mögliche Betreibermodelle:

- Vereinsbasiert:
Ein vor Ort gegründeter Verein (oder bestehender Verein) übernimmt alle Angelegenheiten hinsichtlich des Dörpsmobil
- Gemeindlich
- Privat/Informell/Gewerblich

Die Buchung eines Fahrzeugs erfolgt über eine App oder eine Internetseite. Für die Bezahlung sind verschiedene Abrechnungsmodelle denkbar. Dazu gehören beispielsweise Vereinsbeiträge, Kilometerpauschalen, Stundenpauschalen oder Tagesstarife. Kostenpunkte wie Service, Versicherung oder Ersatzteilbeschaffung sind im Preis enthalten. Aufgrund des sehr umfangreichen Informationsmaterials von Dörpsmobil SH wird an dieser Stelle auf den Leitfaden für elektromobiles Carsharing im ländlichen Raum (Dörpsmobil SH, 2020) verwiesen. Dieser enthält alle wichtigen Informationen zur Bedarfsermittlung, zur Auswahl eines Betreibermodells, zur Umsetzungsplanung oder zum Betrieb.

Durch die Nutzung von Carsharing Angeboten kann, bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 7,7 l/100 km Benzin, mit einem elektrischen Fahrzeug ca. 20 kg CO₂ auf 100 km eingespart werden. Darüber hinaus kann ein elektrisches Carsharing Angebot der Anwohnerschaft durch Ausprobieren und Testen einen Einstieg in die eigene Elektromobilität bieten und somit die Transformation der Mobilität innerhalb der Gemeinde vorantreiben.

4.6.4 UNTERSTÜTZUNG DES RADVERKEHRS

Fahrradfahren ist gesund, unkompliziert und klimafreundlich. Das Umweltbundesamt schätzt, dass die PKW-Nutzung durch das Fahrradfahren um 30 % nachlassen könnte (Umweltbundesamt, 2021). Obwohl dieser Wert eine Abschätzung für deutsche Ballungsgebiete ist und sich der Wert nicht direkt auf Brekendorf übertragen lässt, ist zu erahnen, dass der Ausbau des Radverkehrs ein großes Potenzial zur Reduktion der CO₂-Emissionen hat. Wer täglich 1 km Fahrrad fährt und dafür das Auto stehen lässt spart jährlich ca. 80 kg CO₂ ein.

Folgend werden einige Optionen zur Unterstützung des Radverkehrs in Brekendorf aufgeführt:

- **Ausbau und Beleuchtung von Radwegen**
Radwege geben Radfahrern Sicherheit und machen das Fahrradfahren attraktiver. Die Beleuchtung ländlicher Radwege kann gerade im Winter, wenn es spät hell und früh dunkel wird, das Radfahren zu einer attraktiven Alternative zum Auto machen.
- **Schaffen von Abstellplätzen für Fahrräder**
An zentralen Orten innerhalb des Ortes, vor allem bei Anbindungsstellen an den ÖPNV, sollten zusätzliche Möglichkeiten geschaffen werden das Fahrrad abzustellen. Die Errichtung zusätzlicher PKW-Parkplätze kostet die Gemeinde zwischen 2.000 und 3.000 €. Auf der gleichen Fläche können für wesentlich geringere Kosten bis zu acht Fahrräder abgestellt werden. (Umweltbundesamt, 2021)
- **Service-Angebote**
Anbieten/Eröffnen einer Service-Station für Reparaturen am Fahrrad
Aufstellen eines Schlauchautomaten oder einer stationären Luftpumpstation
- **E-Bike-Sharing**
Die Investitionskosten für E-Fahrräder sind deutlich höher als die eines herkömmlichen Fahrrads. E-Bike-Sharing kann eine Möglichkeit darstellen der Anwohnerschaft und Gästen die Nutzung von E-Bikes zu ermöglichen. Es gibt bereits Container-Lösungen, bei denen die E-Bikes in einem Container gelagert werden und zur Abholung bereitstehen. Auf dem Dach können PV-Module installiert werden, um die Fahrräder mit nachhaltigem Strom zu laden. Eine Buchung der Fahrräder wäre beispielsweise ebenfalls über eine App möglich.
- **Kampagnen für Fahrräder**
Die Aufklärung über nachhaltige Mobilität beginnt bereits im Kindergarten bzw. in der Schule. Aufklärung über die Vorteile des Radfahrens, Wettbewerbe oder die Errichtung von Fahrradparcours kann bereits früh zu einer Begeisterung für das Fahrradfahren beitragen.

Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs werden über das Klimaschutzprogramm 2030, insbesondere das „Sonderprogramm Stadt und Land“, gefördert. Zur Unterstützung des Radverkehrs sind bis 2023 insgesamt Mittel in einer Höhe von 1,46 Milliarden € vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr zur Verfügung gestellt worden. Mit den Bundeshaushalten 2023 und 2024 wurde das „Sonderprogramm Stadt und Land“ bis 2030 verstetigt. Detaillierte Informationen zur Förderung des Radverkehrs werden vom Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V. oder vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr bereitgestellt (ADFC, 2020; Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2024)

4.6.5 ERRICHTEN ÖFFENTLICHER LADESTATIONEN

Obwohl die Struktur in Brekendorf vermuten lässt, dass die überwiegende Mehrheit der Anwohner ihre Elektrofahrzeuge direkt am eigenen Haus aufladen kann, ist dies sicherlich nicht für alle Anwohner der Fall. Durch die Errichtung einer oder mehrerer öffentlicher Ladesäulen an zentralen Orten in der Gemeinde wird auch den Einwohnern ohne eigene Lademöglichkeit ein unkomplizierter Umstieg auf Elektromobilität ermöglicht. Darüber hinaus wird Besuchern die Möglichkeit geboten, ihre Fahrzeuge direkt in der Gemeinde aufzuladen. Mit der zukünftigen Entwicklung hin zur Elektromobilität ist ein steigender Bedarf zu erwarten und die Installation weiterer Ladepunkte sinnvoll.

AC-Ladestationen, die mit Wechselstrom arbeiten, haben typischerweise eine Ladeleistung zwischen 11 und 22 kW und stellen eine akzeptable Lademöglichkeit dar. Ein Elektrofahrzeug mit einer Speicherkapazität von 50 kWh kann an solchen Stationen in weniger als 1,5 h von 20 auf 80 % aufgeladen werden. Für schnellere Ladevorgänge werden DC-Schnellladestationen eingesetzt. Diese Ladestationen arbeiten mit Gleichstrom und haben typischerweise eine Ladeleistung von mindestens 50 kW. Da viele Elektrofahrzeuge bereits mit deutlich höheren Ladeleistungen geladen werden können, sind moderne Schnelllader häufig mit Ladeleistungen von über 150 kW ausgestattet. Ladevorgänge an solchen Ladestationen sind bereits nach 15 bis 30 Minuten abgeschlossen.

4.6.6 ÖFFENTLICHER PERSONENNAHVERKEHR

Tabelle 4-30 zeigt für unterschiedliche Verkehrsmittel die verursachten Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄ und N₂O) in Gramm pro Personenkilometer [g/Pkm] CO₂-Äquivalent in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Auslastung im Jahr 2019 – vor der Coronapandemie. Es zeigt sich, dass trotz der höchsten Auslastung das Flugzeug für Inlandflüge mit 214 g/Pkm die meisten CO₂-Emissionen verursacht und somit das klimaschädlichste Transportmittel darstellt. Bei einer durchschnittlichen Belegung von 1,4 Personen pro PKW verursacht der PKW 154 g/Pkm – allerdings zeigt sich an dieser Stelle das Potenzial für Carsharing und Fahrgemeinschaften, da eine Zunahme der Personenanzahl die Emission pro Personenkilometer weiter reduziert.

Tabelle 4-30: Vergleich der CO₂-Emissionen verschiedener Verkehrsmittel (UBA, 2021)

Verkehrsmittel	Treibhausgase	Auslastung
PKW	154,00 g/Pkm	1,4 Pers./PKW
Flugzeug, Inland	214,00 g/Pkm	70,00 %
Eisenbahn, Fernverkehr	29,00 g/Pkm	56,00 %
Linienbus, Fernverkehr	29,00 g/Pkm	54,00 %
Sonstige Reisebusse	36,00 g/Pkm	55,00 %
Eisenbahn, Nahverkehr	54,00 g/Pkm	28,00 %
Linienbus, Nahverkehr	83,00 g/Pkm	18,00 %
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	55,00 g/Pkm	19,00 %

Für den öffentlichen Personennahverkehr lassen sich aus Tabelle 4-30 zwei wichtige Punkte ableiten. Der ÖPNV, egal ob Bahn oder Bus, verursachte 2019 die geringsten CO₂-Emissionen pro Personenkilometer. Zudem zeigt sich, dass gerade der ÖPNV ein enormes Potenzial für weitere CO₂-Einsparungen hat.

Eine Möglichkeit den ÖPNV zu fördern wäre eine Fahrplan- und Taktverdichtung, durch die das ÖPNV-Angebot flexibler gestaltet werden kann. Brekendorf ist in dieser Hinsicht nicht direkt handlungsfähig, kann aber Verbesserungsvorschläge erarbeiten. Darüber hinaus sollte bei zentralen Bushaltestellen die Möglichkeit geschaffen werden Fahrräder abzustellen und über mehrere Stunden stehen zu lassen.

4.6.7 MOBILITÄTSDIENST 2.0

Das Amt Hüttener Berge entwickelt aktuell den Mobilitätsdienst 2.0, eine innovative Plattform, die den Bürger_innen eine komfortable und umweltfreundliche Möglichkeit bietet, ihren Weg von A nach B zu planen. Das System ermöglicht eine intermodale Mobilität, bei der verschiedene Verkehrsmittel miteinander kombiniert werden können. Zu den derzeit integrierten Mobilitätsoptionen gehören:

- Öffentlicher Personalverkehr (Bus, Bahn und Fähre)
- Mieträder („Sprottenflotte“)
- (Private) Pkw und Park & Ride – Parkplätze
- Fußwege

Darüber hinaus bietet der Mobilitätsdienst 2.0 perspektivisch Zugang zu weiteren Mobilitätsangeboten:

- Anzeige von Standorten und Verfügbarkeit der Ladesäulen für E-Fahrzeuge in den Gemeinden
- Dörpsmobile und Carsharing-Fahrzeuge
- Taxistände
- Mitfahrbänke

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Endberichts befindet sich der Mobilitätsdienst 2.0 noch in der Testphase, weshalb manche Funktionen noch nicht vollumfänglich zur Verfügung stehen (Amt Hüttener Berge, 2024).

5 UMSETZUNG

Zentrales Element der Umsetzung war bis Ende 2023 das sich direkt an das Quartierskonzept anschließende Sanierungsmanagement. Durch die Haushaltsmittelkürzung im Jahr 2024 ist die Beantragung für die Fördermittel über das Programm KfW432 nun nicht mehr möglich und ist im Jahr 2025 auch nicht vorgesehen. Hierdurch werden sich die wenigsten Gemeinden die Einrichtung eines Sanierungsmanagements leisten können.

Die Umsetzung der Maßnahmen sollte nichtsdestotrotz vorangetrieben werden. Nachfolgend wird beschrieben, welche Bausteine probate Mittel sind, um in der Umsetzung zum Erfolg zu kommen.

Die in diesem Konzept formulierten Maßnahmen sollten zunächst einzelnen Arbeitsgruppen (Peer Groups) zugeordnet werden. Die Peer Groups gehen aus den Reihen der Lenkungsgruppe und engagierter Bürger_innen hervor. Die Vorteile sind eine größere Akzeptanz der Bürger_innen, eine Entkopplung von Änderungen in der Zusammensetzung des Gemeinderates.

Das zweite Element der Umsetzung sind die regionalen und überregionalen Firmen, die im hohen Maße kooperieren müssen und für eine wirklich integrierte Quartiersversorgung übergeordnet gesteuert werden müssen. Diese Steuerung ist Aufgabe der Gemeindeverwaltung. Als Kontrollinstanz soll hier immer die Lenkungsgruppe agieren.

5.1 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Die Öffentlichkeitsarbeit ist ein zentraler Punkt in jedem energetischen Quartierskonzept und in der nachgelagerten Umsetzung der Maßnahmen. Die Öffentlichkeit in Form von Bewohner_innen des Quartiers, Inhaber_innen großer Liegenschaften, Unternehmen oder wohnungswirtschaftlichen Akteuren und die Gewinnung und Mitnahme dieser ist ein großer Faktor beim Erreichen der gesetzten Ziele.

Wird die Mitnahme der Bevölkerung verfehlt, kann z.B. eine ausreichende Erhöhung der Sanierungsrate meist nicht erreicht werden. Insbesondere bei der geplanten Errichtung eines Wärmenetzes ist in Brekendorf die transparente und stetige Kommunikation mit der Öffentlichkeit ein Schlüssel für eine erhöhte Anschlussdichte. Auch die Abstimmung und Ermittlung von möglichen synergetischen Effekten ist hier ein zentrales Thema.

5.1.1 AUFLÄRUNG UND UNTERSTÜTZUNG DER BEWOHNER_INNEN

Im Umgang mit der Einwohnerschaft zeigt sich oft, dass viele bereits über energetische Sanierungen nachdenken, jedoch fehlen häufig die finanziellen Mittel oder das Wissen über Fördermöglichkeiten. Ein Ansatz wäre, die Bevölkerung kostenfrei bei der Akquise von Fördermitteln zu unterstützen. Dieses Angebot sollte breit publik gemacht werden, etwa durch Aushänge, Anzeigen oder in sozialen Medien. Berührungsängste bei der Antragstellung müssen abgebaut werden. In einer kleinen Kommune wie Brekendorf kann auch ein Mund-zu-Mund-Effekt helfen, wenn erfolgreiche Antragsteller ihre Erfahrungen teilen und den Prozess entmystifizieren.

Die Darstellung der Amortisation ist ein starkes Mittel in der Öffentlichkeitsarbeit. Viele sehen nur die initialen Kosten, übersehen aber den langfristigen Nutzen. Öffentlichkeitsveranstaltungen, Informationsmaterialien oder persönliche Energieberatungen können helfen, dieses Bewusstsein zu fördern. Das Aufzeigen von verschiedenen investiven Maßnahmen, kategorisiert in gering, mittel und hoch investiv ist zu empfehlen. So lässt sich für jede Person, unabhängig vom finanziellen Status, ein Handlungsfeld abbilden, um energetische Einsparungen vorzunehmen. Hierfür ließen sich die in diesem Bericht dargestellten Mustersanierungen gut nutzen.

Auch das Angebot einer kostenfreien oder kostenreduzierten initialen Energieberatung ist für die Erfolgreiche Umsetzung der Arbeit mit der Öffentlichkeit anzusetzen. Diese Maßnahme war im Sanierungsmanagement erfahrungsgemäß eine Wirkungsvolle und gut angenommene Methode zur Erreichung der Bevölkerung. Ohne ein Sanierungsmanagement steht hier jedoch die Frage der Finanzierung im Raum. Der eigentliche Zweck einer initialen Energieberatung soll die Aufklärung und das Informieren der fachfremden Personen sein. Hierbei soll die Immobilie in Augenschein genommen werden, Potenziale ermittelt und auf Fragen eingegangen werden. Hier können Empfehlungen ausgesprochen und Hilfestellung geleistet werden. Auch kann hierdurch ein permanenter Ansprechpartner abgebildet werden, welcher im möglichen Projektverlauf den einzelnen Privatpersonen zur Seite steht.

Aus den Öffentlichkeitsveranstaltungen ging hervor, dass bei Bewohner_innen des Quartiers ein Anschlussbegehren an ein Fernwärmenetz vorhanden ist. Die Rolle der Personen, welche eine Umsetzung anstreben liegt in der Fördermittelbeschaffung aber auch in der vermittelnden Rolle zwischen Privatperson und zukünftigen Anlagenbetreibern. Es geht darum Unsicherheiten aus dem Weg zu räumen und Fragen zu klären. Diese vermittelnde Rolle zwischen zentralen Akteuren und den Bewohner_innen des Quartiers muss als Aufgabe verstanden, kommuniziert und gewissenhaft ausgeführt werden.

5.1.2 UNTERSTÜTZUNG DER ENERGIEVERSORGER

Die Vermittlerrolle muss nicht nur im Kleinen, sondern auch im Großen wahrgenommen werden. Aus Vorgängerprojekten ist bekannt, dass die Energieversorger in der Außendarstellung und Kommunikation gegenüber und mit der Bevölkerung nicht immer optimal agieren. Die Notwendigkeit einer Unterstützung durch externe Akteure an dieser Stelle muss immer im Einzelfall geprüft werden.

5.1.3 BAUSTEINE DER ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Im Allgemeinen können als Standard einfache Bausteine zur Erfüllung einer umfassenden Öffentlichkeitsarbeit angesetzt werden.

Lenkungsgruppe

Die Einrichtung einer stets aktiven Lenkungsgruppe ist äußerst wichtig. Dabei sollte darauf geachtet werden, Vertreter_innen aller Interessengruppen mit einzubeziehen. Dies können unter anderem private Bürger_innen, Energiedienstleister, kommunale Politiker_innen, lokales Gewerbe oder wohnungswirtschaftliche Unternehmen sein. Die Einbeziehung der privaten Bürger_innen soll an dieser Stelle hervorgehoben werden. Die Lenkungsgruppe muss aktiv in die Prozesse mit einbezogen und regelmäßig informiert werden. Zusätzlich sollte die Lenkungsgruppe nicht als statisch angenommen, sondern auch für neue Mitglieder offen sein und durch diese ergänzt werden können, sodass die Interessenslage verschiedener Peergroups der Gemeinde stetig gut abgebildet werden und vertreten sind.

Informationsveranstaltungen

Veranstaltungen für die breite Öffentlichkeit sind wichtig, um die Bevölkerung zu informieren, über Projektverläufe aufzuklären und einen Raum für Fragen, Bedenken und Kritik zu schaffen. Hier soll wieder die Transparenz und Mitnahme der Privatpersonen hervorgehoben werden.

Pressemitteilungen

Mitteilungen in der lokalen Presse sind für die Ankündigung von Veranstaltungen von großer Bedeutung. Zu Beginn des Projektes sollte die lokale Presse gesichtet und die entsprechenden Ansprechpartner_innen ermittelt werden. Im Quartier Brekendorf gibt es kein lokales Blatt, welches genutzt werden kann, um Informationen und Ankündigungen an die Bevölkerung zu vermitteln. In Brekendorf müssen daher andere Medien genutzt werden, um den Informationsfluss aufrecht zu halten.

Flugblätter

Die Verteilung von Flugblättern oder Broschüren ist ein effektives Mittel um die Aufmerksamkeit der Bürger_innen zu erhalten. Hier können Ankündigungen gemacht oder allgemein informiert werden. Im Rahmen des Quartierskonzepts haben sich Flugblätter als effektives Mittel bewehrt. Durch die Größe des Quartiers ist die Verteilung von Flugblättern durch Mitglieder der Lenkungsgruppe darstellbar. Auch das Beilegen zur Zeitung oder das Verteilen durch Zeitungsausträger_innen ist ein guter Weg für die Verteilung.

Beschilderung

Das Projekt nach außen zu tragen und nicht im Stillen zu agieren ist wichtig, um zu zeigen, dass vor Ort etwas passiert. Ein Schild an einer privaten oder öffentlichen Baustelle, die auf die Tätigkeiten im Ort hinweist, kann in den Köpfen einen Anstoß setzen. Auch Aushänge an öffentlichen Plätzen oder die Auszeichnung von zentralen Punkten des Projektes sollten in Betracht gezogen werden.

Beratung

Individuelle Beratungen helfen dabei, die Berührungängste mit der Thematik zu nehmen und kleine Projekte voranzutreiben. Fragen klären, auf individuelle Probleme eingehen und unterstützend zur Hand gehen sind hier die wichtigsten Aspekte der Kommunikationsarbeit.

Soziale Medien

Wenn es vor Ort bereits Gruppen oder Kanäle der sozialen Medien gibt, sollten diese unbedingt genutzt werden. Vor allem die jüngere Generation der Bürger_innen sollte sich so einfacher erreichen lassen und zum Mitmachen animierbar sein.

5.2 CONTROLLING-KONZEPT

Als übergeordnete Kenngröße des Projekterfolges sollte die Reduktion des CO₂-Ausstoßes stehen. Eine fortlaufende Kontrolle und Aktualisierung der Energie- und CO₂-Bilanz sind ein guter Weg, um den Erfolg der vorgeschlagenen Maßnahmen zu dokumentieren. Nach der Fertigstellung des Quartierskonzeptes sollte eine regelmäßige Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Hier schlagen wir eine Kooperation mit dem CO₂-Compass vor. Der CO₂-Compass ist eine Initiative, die sich das Ziel gesetzt hat, die Erfolge der Energiewende in Kommunen in einer App zu visualisieren, um so der Gemeindeverwaltung und den Bürger_innen ein kontrollierendes und gleichzeitig motivierendes Werkzeug in die Hand zu geben.

Ziele aus den einzelnen Bereichen sollten regelmäßig an die Bürger_innen kommuniziert und auf Kanälen der Gemeinde veröffentlicht werden. Hierfür ist es ratsam eine Verantwortlichkeit zu kommunizieren. Ein „Kümmerer“ vor Ort sollte für die Erfolgskontrolle eingesetzt werden.

5.2.1 GEBÄUDESANIERUNG & HEIZUNGSAUSTAUSCH

Eine lückenlose Kontrolle des Sanierungsfortschritts im Quartier ist nicht einfach umzusetzen. Ein Indikator für den fortschreitenden Sanierungserfolg können u.a. die im Quartier installierten Anlagen zur Wärmeerzeugung sein. Diese können über den Schornsteinfeger erfasst und jährlich verglichen werden. Aus der Art des Brennstoffs und der Leistung der Anlagen lassen sich Rückschlüsse auf die CO₂-Einsparung durch die energetische Gebäudesanierung ziehen.

Darüber hinaus empfiehlt es sich, regelmäßig einen aktuellen Stand der Bezugsdaten beim Gasnetzbetreiber einzuholen. Hierbei sind die Anzahl der Anschlussstellen und die verbrauchte Gasmenge zu bewerten. Ein Rückgang der Anschlussstellen lässt auf einen steigenden Anteil regenerativer Wärmeerzeugung bzw. Wärmepumpen schließen. Eine Abnahme der verbrauchten Gasmenge bei gleicher Anzahl von Anschlussstellen deutet auf eine Zunahme der durchgeführten Sanierungen an der Gebäudehülle hin. Zusätzlich kann eine im Quartier eingesetzte verantwortliche Person über die Durchführung und Dokumentation von Energieberatungen eine Aussage über potenziell durchgeführte energetische Maßnahmen im Quartier treffen.

5.2.2 WÄRMENETZ

Bei dem potenziellen Bau eines Wärmenetzes ist ein Controlling der laufenden Maßnahmen in verschiedener Hinsicht möglich. Dadurch kann die Entwicklung der Anzahl der Anschlussstellen als Kennzahl betrachtet werden, genau wie die Anzahl der erschlossenen Gebiete. Die primäre Entwicklung der Anschlussstellen wird vom Wärmenetzbetreiber überwacht und auch berichtet. So kann genau bestimmt werden, welcher Anteil der Gemeinde an das Netz angeschlossen ist und ob die selbst gesetzten Ziele hinsichtlich der Anschlussquote erreicht werden.

Außerdem sollte die Wärmeversorgung hinsichtlich der Energieträger überwacht werden. Auf diese Weise kann überprüft werden, ob der tatsächliche Erzeugungsmix den ursprünglichen Annahmen entspricht.

5.2.3 STROM

Beim Controlling der verursachten CO₂-Menge über den Verbrauch von Strom kann als erster Schritt die Anzahl und Leistung der neu installierten PV-Anlagen innerhalb der Gemeinde evaluiert und im zeitlichen Verlauf dargestellt werden. Über den Netzbetreiber oder Smartmeter können darüber hinaus die Stromverbräuche ausgewertet werden. Diese Auswertungen können ebenfalls, mit Angabe der eingesparten CO₂-Menge im Vergleich zu den Vorjahren, veröffentlicht werden.

Bei einem bilanziellen Stromprodukt über ein potenzielles Bürgerenergiewerk kann die Anzahl der abgeschlossenen Verträge sowie die bereitgestellte Energie kommuniziert werden. Auf diese Weise kann ausgewertet werden, welcher Anteil des Strombedarfs von Brekendorf bereits über das lokale Bürgerenergiewerk lokal erzeugt und verbraucht wird.

5.2.4 MOBILITÄT

Bei der Mobilität gibt es verschiedene Controlling Möglichkeiten, die sich auf die verschiedenen Bereiche (z.B. individueller Personenkraftverkehr) beziehen:

- Anzahl gemeldeter E-Fahrzeuge (über das Kraftfahrtbundesamt)
- Auslastung des Carsharing-Angebotes (wie z.B. des Dörpsmobils)
- Stromabnahme an öffentlichen Ladesäulen (Mobilitätsstation)
- Auslastung des Nahverkehrs

5.3 UMSETZUNGHEMMNISSE

Im Folgenden werden Umsetzungshemmnisse für die verschiedenen Maßnahmenbereiche kategorisiert dargestellt und beschrieben. Zusätzlich werden Überwindungsmöglichkeiten aufgezeigt.

5.3.1 ENERGETISCHE SANIERUNG

Die Umsetzungshemmnisse im Bereich der Sanierung wurden in die vier Kategorien „Persönliche“, „Finanzielle“, „Bauliche“ und „Sonstige“ aufgeteilt. Als persönliche Hemmnisse werden solche angesehen, welche die Bedenken der Immobilienbesitzer zu Durchführung und Ergebnissen der Energieeffizienzmaßnahmen beschreiben. Finanzielle Hemmnisse beschreiben ökonomische Gesichtspunkte und die finanzielle Ausgangssituation der Immobilienbesitzer. Bauliche Hemmnisse betreffen die Umsetzbarkeit der Maßnahmen, die durch Auflagen oder bautechnische Gründe eingeschränkt werden.

Da die Überwindungsmöglichkeiten oft mehrere dieser Bereiche betreffen, wurden diese zusammenhängend als allgemeine Lösungen formuliert.

Persönliche Hemmnisse

- Energetischer Zustand der Immobilie ist nicht oder nur geringfügig bekannt (kein Problembewusstsein)
- Fehlendes Interesse am Thema „Energetische Sanierung“
- Fehlendes Umweltbewusstsein
- Unterschätzung des Einsparpotenzials
- Andere Prioritäten zur energetischen Sanierung (Investitionen wie Auto, Urlaub, soziale Absicherung)
- Befürchtung einer fachlichen Beratung eines Sachverständigen, die weder vollumfänglich noch unabhängig informiert
- Sorge vor negativen Ergebnissen der energetischen Sanierung (Bauschäden, Ästhetik, Komfortverlust, mangelhaft ausgeführte Arbeiten)
- Überforderung durch Vielschichtigkeit der Zusammenhänge der technischen, finanziellen und zeitlichen Aspekte
- Vorurteile gegenüber neuen Technologien
- Befürchtungen von Komfortverlust während der Bauarbeiten
- Lange Unbewohnbarkeit der Immobilie

Finanzielle Hemmnisse

- Geringe Wirtschaftlichkeit der Sanierung, Unklarheit zu Kosten/Wirtschaftlichkeit
- Enorme Preissteigerung im Bereich Baustoffe und Sanierung
- Zu hohe Investitionskosten/zu schwaches Einkommen
 - Hohe Kosten der Maßnahmen können zu alternativen Maßnahmen mit geringerer Energieeffizienz bzw. höherer Umweltbelastung führen
- Teilweise lange Amortisationszeiten → langfristige Bindung von Kapital
 - Bedenken bei älteren Menschen, dass es sich für sie nicht mehr lohnt
- Ältere Menschen erhalten keinen Kredit für eine Maßnahme
- Vermieter ziehen keinen direkten Nutzen aus energetischer Sanierung
- Die Förderantragsstellung stellt einen großen Aufwand dar → nicht niederschwellig
 - Unübersichtlich, undurchsichtig, kompliziert, aufwändig
 - Externe Unterstützung notwendig
 - Bei Förderung für Gebäudehülle ist externe Beantragung Voraussetzung

Bauliche Hemmnisse

- Architektonische oder bautechnische Gründe, die die Durchführung verhindern
- Dringlichere bauliche Vorhaben müssen umgesetzt werden
- Einschränkung durch Denkmalschutz
- Geringe Verfügbarkeit von Fachkräften für die Umsetzung

Da die Überwindungsmöglichkeiten oft mehrere dieser Bereiche betreffen, wurden diese zusammenhängend als allgemeine Lösungen formuliert.

Überwindungsmöglichkeiten

- Kostenlose energetische Erstberatungen mit individuell angepassten Sanierungsvorschlägen
- Vorführung bereits sanierter Immobilien
 - Hinweis/Aufzeigen des Komfortgewinns
- Öffentliche Informationsveranstaltungen oder Onlineportal mit Informationen zu:
 - Energetische Zustände
 - Möglichkeiten und Vorteile einer energetischen Sanierung
 - (typische) technische Umsetzungsmöglichkeiten
 - Finanzielle Anreize und Fördermöglichkeiten
 - Komfortgewinn
- Unabhängige Unterstützung bei Antragstellung von Fördermitteln
- Einsatz eines Sanierungsmanagers zur Betreuung der Immobilienbesitzer
- Zusätzliche kommunale Angebote zur finanziellen Förderung und Beratung energetischer Sanierungsmaßnahmen
- Bewerbung und Durchführung von Webinaren zum Thema „energetische Sanierung“
- Änderung der rechtlichen, politischen und bürokratischen Rahmenbedingungen, zur Vereinfachung der Förderanträge/Erhöhung der Flexibilität
- Erweiterung des Sanierungshorizontes
- Beratung/Hinweis zu Mieteinnahmenerhöhung

5.3.2 WÄRMENETZ

Wie bereits bei den Hemmnissen der energetischen Sanierung werden die Hemmnisse eines Wärmenetzes in unterschiedliche Kategorien aufgeteilt. Persönliche Hemmnisse stellen eben jene dar, die Anwohner an einem Anschluss an das Wärmenetz hindern. Unter sonstigen Hemmnissen werden alle baulichen und finanziellen Hemmnisse bei der Planung und Errichtung eines Wärmenetzes aus Betreibersicht zusammengefasst.

Persönliche Hemmnisse

- Akzeptanz
- Angst vor starken Preissteigerungen in der Zukunft (Abhängigkeit vom Betreibenden des Netzes), welche stark durch die tatsächlich hohen Preissteigerungen bei vorwiegend fossil betriebenen Netzen zu Beginn des Ukraine Konfliktes gefördert wurde
- Investitionskosten für den Anschluss an das Wärmenetz
- Vorurteile gegenüber neuen Technologien
- Fehlendes Interesse am Thema – Kein ausreichendes Verständnis für die Funktion eines Wärmenetzes und als Folge Angst um Versorgungssicherheit
- Fehlendes Umweltbewusstsein
- Unterschätzung des finanziellen Einsparpotenzials bei hoher Anschlussquote

Sonstige Hemmnisse

- Hohe initiale Investitionskosten für den Bau des Wärmenetzes & der Erzeugungsanlagen
- Bestehendes Risiko, keinen Betreiber für das Wärmenetz zu finden
- Bei geringen Anschlussquoten können Kostensteigerungen bei Investitionen oder dem Energieeinkauf zu einer Unwirtschaftlichkeit des Wärmenetzes führen
- Es findet sich kein passender Standort für Heizzentrale (Sollte kein passender Standort in der Nähe der Gemeinde gefunden werden, kann eine lange Zuleitung die Vollkosten des Netzes erhöhen)
- Es kommt zu keiner Einigung mit Betreibern von Wind- oder PV-Anlagen (zur Versorgung des Wärmenetzes mit EE-Strom)
- Die Errichtung eigener regenerativer Stromquellen kann auf Grund von Flächenverfügbarkeit oder anderen Faktoren nicht umgesetzt werden

Überwindungsmöglichkeiten

- Die Aufklärungsmöglichkeiten über eine mögliche Wärmenetzplanung stellt einen wichtigen Teil bei der Überwindung der vorgestellten Hemmnisse dar. Über Informationsaushänge, Kampagnen und Infoabende kann den Anwohnenden die Unsicherheit bei dem Thema genommen werden und so die Akzeptanz erhöht werden.
- Darüber hinaus kann sich die Gemeinde in einem frühen Stadium der Projektentwicklung mit öffentlichen Liegenschaften für einen Anschluss an das Wärmenetz entscheiden und sich bestenfalls an einer möglichen Betreibergesellschaft beteiligen. So wird eine entsprechende Signalwirkung innerhalb der Gemeinde erzeugt. Zusätzlich kann durch eine Beteiligung an der Betreibergesellschaft ein nachhaltiger und für die Anschlussnehmer fairer Betrieb des Wärmenetzes gewährleistet werden.
- Dafür sollte direkt mit Beginn einer Wärmenetzplanung der Austausch mit Flächeneigentümern und Betreibern von Wind- oder PV-Anlagen in der Umgebung begonnen werden.
- Einbindung von Förderprogrammen und Zuschüssen
- Förderung von Eigeninitiativen, wie z.B. durch Gründung von Bürgerenergieprojekten

5.3.3 STROM

Folgende Hemmnisse sind bei der Stromversorgung in Brekendorf wesentlich:

- Marktlage PV: Aktuell sind die Preise für Module niedrig, die Kosten für Dienstleister jedoch hoch
- Aktuelle Strompreisentwicklung: Für ein Bürgerenergiewerk und die Vermarktung bilanzieller Stromprodukte sorgen die aktuellen Strompreise an der Börse und die Unsicherheit für die weitere Preisentwicklung dafür, dass aktuell wahrscheinlich keine günstigen Stromtarife angeboten werden könnten
- Umsetzung Bürgerenergiewerk: Stakeholder finden, einbinden und verantworten (koordinativer Aufwand)

5.3.4 MOBILITÄT

Im Bereich der Mobilität werden die Hemmnisse aufgeteilt nach individueller Personenkraftverkehr, ÖPNV und Carsharing.

Individueller Personenkraftverkehr

- Angst vor fehlender oder nicht ausreichender Ladeinfrastruktur
- Angst vor nicht ausreichender Reichweite von E-Autos
- Image des E-Autos: „*Kleines Spielzeug Auto.*“
- Aktuell haben E-Fahrzeuge ein deutlich höheres Investment als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor
- Lieferschwierigkeiten (frühzeitige Planung und Flexibilität)

ÖPNV

- Komforteinbußen durch Abhängigkeit von Fahrplänen
- Fehleinschätzung bei der Höhe der Kosten
→ Fahrtkosten werden häufig nicht mit den Gesamtkosten einer eigenen Fahrzeughaltung, sondern mit aktuellen Brennstoffpreisen verglichen
- Angst vor nicht ausreichender Verfügbarkeit des ÖPNV im öffentlichen Raum

Carsharing (Dörpsmobil)

- Verantwortlichkeiten
- Abschreckung durch logistischen Aufwand (zusätzlich App installieren, buchen, hinfahren, ...)
- Akzeptanz von Carsharing Angeboten
→ Aufklärung und Werbung, Erfahrungsaustausch

5.3.5 ALLGEMEINE HEMMNISSE

Zu allgemeinen Hemmnissen gehören die folgenden:

- Aktive Akteure vor Ort (Kümmerer vor Ort)
→ direkt am Anfang der Umsetzungsbegleitung Verantwortliche_n wählen/bestimmen
- Verfügbarkeit Ressourcen (Mensch wie Rohstoff)
→ frühzeitige, langfristige Planung, kurze Entscheidungswege → Kontingente sichern
- Unsicherheit am Markt
 - Preissteigerungen / Unsicherheiten in Anwohnerschaft
- Akzeptanz schaffen bei lokalen Playern (konkretisiert in jeweiligen Punkten)
 - Überwindung: Kampagnen und Infos (Im Idealfall aus dem Dorf heraus)

5.4 SANIERUNGSMANAGEMENT

Das Sanierungsmanagement sollte im direkten Anschluss an die Fertigstellung dieses Konzeptes zur Begleitung der Umsetzung und detaillierten Ausarbeitung der formulierten Maßnahmen starten, um ein bestmögliches Ergebnis zu erzielen. Wie bereits beschrieben wird es in der näheren Zukunft kein Sanierungsmanagement geben. Die konkrete Umsetzung der im Quartierskonzept erarbeiteten Maßnahmen ist dadurch gefährdet. Für die Umsetzung ist die Gemeinde nun auf aktive und engagierte Akteure angewiesen, die nach der Beendigung des Quartierskonzeptes weiter machen und die Dekarbonisierung der Gemeinde Brekendorf vorantreiben.

Zusammengefasst lauten die Aufgaben, die von einem Sanierungsmanager übernommen werden sollten, wie folgt:

- Gesamtkoordination
- Vernetzung der Akteure
- Bürgerbeteiligung
- Informations- und Öffentlichkeitsarbeit
- Projektmanagement/Qualitätsmanagement in der Maßnahmenumsetzung
- Beratung vor Ort
- Monitoring/Evaluation
- Integration in ein umfassendes kommunales Klimaschutzmanagement

5.5 UMSETZUNGSPLAN

Im Folgenden wird ein detaillierter Umsetzungsplan definiert, der die Maßnahmen, deren Priorität und die zuständigen Akteure sowie einen Zeitplan enthält. Die Priorität wird durch die Darstellung von Bäumen beschrieben, wobei drei Bäume die höchste Priorität darstellen und ein Baum die niedrigste. Die Maßnahme mit der höchsten Priorität im Bereich der Wärmeversorgung ist der Bau eines Wärmenetzes. Hierfür ist es neben der Kundenakquise von zentraler Bedeutung ein geeignetes Betreibermodell zu finden. Die Sanierung von Wohngebäuden sowie Einzelversorgungslösungen sind Maßnahmen mit mittlerer Priorität. Die Beratung und Begleitung bei der Umsetzung von erneuerbaren dezentralen Heizungsvarianten ist ein zentraler Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität in Brekendorf. Wesentliche Bestandteile dieser Maßnahme sind die Unterstützung bei der Fördermittelakquise und die Durchführung von Informationsveranstaltungen. Hierbei werden vor allem auch die Bewohner_innen der nicht im Ortskern liegenden Randsiedlungen auf dem Weg zur Klimaneutralität unterstützt.

Tabelle 5-1: Umsetzungsplan - Wärme

Nr.	Maßnahme	Akteure	Zeitraum	Priorität
Wärme				
1.	Zentrale Wärmeversorgung - Findung eines Betreibermodells (z.B. Gemeindeenergiewerk) - Machbarkeitsstudie nach BEW - Modul 1 - Kundenakquise - Informationsveranstaltungen und Aufklärungskampagnen - Realisierung des Netzes (Beginnend mit Antragsstellung BEW – Modul 2)	Gemeinde Planungsbüro Gemeinde / Betreiber Beratungsunternehmen Betreiber / Planungsbüro / Gemeinde	1. Halbjahr 2025 1. Halbjahr 2025 ab 1. Halbjahr 2026 fortlaufend ab 2. Halbjahr 2025	
2.	Dezentrale Wärmeversorgung - Kostenlose initiale und individuelle Beratungsangebote für Bewohner_innen - Unterstützung bei Fördermittelakquise und Umsetzung	Planungsbüro / Gemeinde Gemeinde / Bauunternehmen	fortlaufend	
3.	Sanierung Wohngebäude - Kostenlose initiale und individuelle Beratungsangebote für Bewohner_innen - Unterstützung bei der Fördermittelakquise - Dokumentation der Beratungen als Monitoring-Tool - Informationsveranstaltungen	Eigentümer / Bauunternehmen Eigentümer / Bauunternehmen Gemeinde / Beratungsunternehmen Gemeinde / Beratungsunternehmen	fortlaufend	

Im Bereich der Stromversorgung hat die Errichtung und Nutzung erneuerbarer Energieanlagen im Quartier die höchste Priorität. Dazu gehören die Installation von Freiflächen-PV-Anlagen, die Nutzung lokaler EE-Anlagen zur Stromlieferung und die Überprüfung der Genehmigungsfähigkeit der Flächen. Diese Maßnahmen erfordern eine langfristige Planung und Umsetzung. Die Maßnahmen mit niedrigerer Priorität im Bereich Strom sind der Vertrieb regionaler EE-Produkte und die Nutzung von PV-Dachanlagen und Speichertechnologien für Einzellösungen. Diese beinhalten die Gründung eines Bürger- oder Gemeindewerkes, die Erstellung von Produktportfolios sowie die Unterstützung bei Eigenversorgungslösungen.

Tabelle 5-2: Umsetzungsplan - Strom

Nr.	Maßnahme	Akteure	Zeitraum	Priorität
Strom				
4.	Errichtung Erneuerbarer Energien zur Nutzung im Quartier			
	- Gewinnung lokaler EE-Anlagen zur Stromlieferung für das Quartier - Akquirieren von Flächen und Prüfen der Genehmigungsfähigkeit - Errichtung eigener PV-Anlagen - Umsetzungsbegleitung bei der Errichtung	Gemeinde Planungsbüro, Gemeinde Planungsbüro, Gemeinde Planungsbüro, Gemeinde	1. Halbjahr 2025 ab 1. Halbjahr 2025 ab 2. Halbjahr 2025 2. Halbjahr 2025 – 2. Halbjahr 2027	
5.	Vertrieb regionaler EE-Produkte			
	- Gründung eines Bürgerenergiwerkes/Gemeindewerkes - Erstellung der Produktportfolios (Haushaltsstromtarif, Mobilitätstarif und Wärmepumpentarif) - Werbung & Vermarktung	Gemeinde Marketingagentur, Planungsbüro Marketingagentur	1. Halbjahr 2025 2. Halbjahr 2025 2. Halbjahr 2025	
6.	PV-Dachanlagen & Speichertechnologien für Einzellösung			
	- Ergänzend zu Nummer 3 (Sanierung Wohngebäude) - Unterstützung bei Eigenversorgungslösungen	Planungsbüro Planungsbüro, Bauunternehmen	fortlaufend	

Die Maßnahmen im Bereich Mobilität und Städteplanung haben eine niedrige Priorität, da der Nutzen einer Umsetzung im Vergleich zu den anderen Maßnahmen und dem damit verbundenen Aufwand geringer ist. Mit dem Mobilitätsdienst 2.0 hat die Gemeinde, wie in Abschnitt 4.6.7 beschrieben, bereits einen Beitrag zu einer nachhaltigen und verkehrsträgerübergreifenden Mobilität geleistet, der es den Nutzern ermöglicht, ihren Weg von A nach B durch die Kombination verschiedener Mobilitätsoptionen effizient zu gestalten.

Die Klimaanpassungsmaßnahmen zielen darauf ab, die Lebensqualität und Umweltbedingungen im Quartier zu verbessern. Eine umfangreichere Liste aller empfohlenen städtebaulichen Maßnahmen kann dem Abschnitt 2.2.6 entnommen werden.

Tabelle 5-3: Umsetzungsplan - Mobilität & Städteplanung

Nr.	Maßnahme	Akteure	Zeitraum	Priorität
Mobilität & Städteplanung				
7.	Förderung der Elektromobilität innerhalb der Gemeinde			
	- Beratung zur Errichtung privater Ladesäulen - Errichtung öffentlicher Ladesäulen - Aufklärungskampagnen zu Vorurteilen gegenüber der Elektromobilität	Gemeinde / Beratungsunternehmen Gemeinde / Energieversorger Gemeinde / Beratungsunternehmen	fortlaufend ab 1. Halbjahr 2025 fortlaufend	
8.	Carsharing			
	- Umfragen und Informationsveranstaltungen zur Bedarfsermittlung organisieren - Carsharing Angebot schaffen	Gemeinde / Beratungsunternehmen Gemeinde / Carsharing-Anbieter	2. Halbjahr 2025 1. Halbjahr 2026	
9.	Radverkehr			
	- Ausbau und Beleuchtung von Radwegen, die in und aus dem Quartier führen - Serviceangebot für Fahrräder schaffen (Reparatur- und Luftpumpstationen) - Errichten von Abstellmöglichkeiten für Fahrräder an zentralen Orten	Gemeinde / Bauunternehmen Gemeinde / lokale Unternehmen Gemeinde / Bauunternehmen	1. Halbjahr 2027 2. Halbjahr 2025 2. Halbjahr 2025	
10.	Städtebauliche Maßnahmen			
	- Entsiegelung von Flächen - Pflanzung von Gehölzen, die mit Wetterextremen zurechtkommen - Anlage von artenreichen Beständen	Gemeinde / Bauunternehmen Gemeinde / lokale Unternehmen Gemeinde / lokale Unternehmen	1. Halbjahr 2027 fortlaufend fortlaufend	

6 LITERATURVERZEICHNIS

- ADFC. (2020). Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club - Förderung kommunaler Radverkehrsinfrastruktur. Abgerufen am 8. Juli 2022 von <https://www.adfc.de/artikel/foerderung-kommunaler-radverkehrsinfrastruktur>
- Amt Hüttener Berge. (2024). *Mobilitätsdienst*. Von <https://www.amt-huettenerberge.de/buergerservice/mobilitaetsportal> abgerufen
- BAFA. (2021). Informationsblatt CO2-Faktoren .
- BAFA. (2. August 2022). Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW): EU Kommission genehmigt Förderung von grünen Fernwärmenetzen. (B. f. Ausfuhrkontrolle, Hrsg.) Von https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Energieeffizienz_waermenetze/20220822.html abgerufen
- BDEW. (2016). *Leitfaden - Abwicklung von Standardlastprofilen Gas*. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft.
- BGW, B. d.-u. (2006). *Anwendung von Standardlastprofilen zur Belieferung nicht-leistungsgemessener Kunden*. Berlin und Brüssel: wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.
- BMDV. (Dezember 2018). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur - Mobilität in Deutschland. Abgerufen am 5. Juli 2022 von http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Tabellenband_Deutschland.pdf
- BMKW. (14. Juli 2022). *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024*. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=6 abgerufen
- BMWi. (2021). *Energieeffizienz in Zahlen - Entwicklungen und Trends in Deutschland 2021*.
- BMWK. (2023). *Bundesministerium für Wirtschaft und Klima*. Von Photovoltaik Strategie: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/photovoltaik-strategie-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=6 abgerufen
- BNetzA. (24. März 2023). *Marktstammdatenregister*. Von <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Startseite/> abgerufen
- Böhm, T. d. (2022). Von <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/421/644> abgerufen
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2024). *Flächendeckende Fahrradinfrastruktur durch das Sonderprogramm „Stadt und Land“*. Von <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Radverkehr/flaechendeckende-fahrradinfrastruktur-sonderprogramm-stadt-und-land.html> abgerufen
- Bundesnetzagentur. (2023). Anzulegende Werte für Solaranlagen November 2021 bis Januar 2022.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. (2021). BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2021. Abgerufen am 5. Mai 2022 von https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-HKV_Altbau.pdf

- C.A.R.M.E.N e.V. (12. 02 2024). *Heizungsmodernisierung - ein Kostenvergleich*. Abgerufen am 10. Juni 2022 von <https://www.carmen-ev.de/2024/02/12/heizungsmodernisierung-im-einfamilienhaus-ein-kostenvergleich/>
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2023). *Freiflächen-Photovoltaikanlagen Leitfaden*. Straubing.
- DA Nord. (2024). Von <https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Anonym/index.html?lang=de#/> abgerufen
- DA Nord. (2024). *Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässerverzeichnis*. Von https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Wasserland_AWGV/index.html?lang=de#/ abgerufen
- DEPI. (2023). *DEPI-Informationsblatt - Heizenergiebedarfsberechnung mit Herstellerkennwerten*. Von <https://depi.de/nginx-ada-assets/47652d27-31f0-44bc-9ec1-b0d2459f52e2> abgerufen
- Dörpsmobil SH. (2020). Ein Leitfaden für elektromobiles Carsharing im ländlichen Raum. Abgerufen am 4. Juni 2022 von https://www.doerpsmobil-sh.de/fileadmin/user_upload/Anlage_Doerpsmobil_Leitfaden_Dez_2020.pdf
- EEG vom 8. Mai 2024. (08. 05 2024).
- Fraunhofer ISE. (14. Februar 2020). PVT - Status Quo für den Anwendermarkt. Abgerufen am 2. August 2022 von https://www.getec-freiburg.de/fileadmin/content/GETEC/PDF_Dokumente/Vortraege_2020/FR_PVT_KramerK_final_V2.pdf
- Fraunhofer ISI. (2022). *Neuere Plug-in Hybridfahrzeuge weichen beim Kraftstoffverbrauch noch stärker von Testzyklen ab als frühere Modelle*. Von <https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2022/presseinfo-16-Kraftstoffverbrauch-Plug-in-Hybridfahrzeuge.html> abgerufen
- Frischknecht, R. e. (2012). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen.
- Gebäude Energieberater. (10. 04 2024). *Verband klagt über schwache Sanierungsrate* . Von <https://www.geb-info.de/expertenwissen/verband-klagt-ueber-schwache-sanierungsrate> abgerufen
- Gebäudetypologie-SH. (2012). *Gebäudetypologie Schleswig-Holstein: Leitfaden für wirtschaftliche und energieeffiziente Sanierungen verschiedener Baualtersklassen*. Kiel: Arbeitsgemeinschaft für Zeitgemäßes Bauen.
- GEG. (2022). *Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz)*.
- ifeu. (2014). *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg.
- Kleinertz, B. F. (2019). Vergleich und Bewertung verschiedener Speicherkonzepte für Nahwärmenetze der 4. Generation. *Vortrag im Rahmen der 11. Internationalen Energiewirtschaftstagung IEWT vom 13. – 15. Februar 2019 in Wien*.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (2024). *Zulassungsbezirke und Gemeinden 2024*. Von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke_node.html abgerufen

- Landesverband der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holstein. (kein Datum). Von <https://www.lwbv.de/lwbv/wp-content/uploads/2018/07/Wasserverbaende.pdf> abgerufen
- Meteonorm. (2024). <https://meteonorm.com/meteonorm-version-8>.
- MIKWS SH. (13. 06 2024). Von Windenergienutzung (Räumliche Steuerung): https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/windenergie-raeumliche-steuerung/Downloads/karte_potenzialflaechen.html?nn=9561f157-9597-43c1-912c-10292bb5f53e abgerufen
- MILIG SH. (31. 12 2020). *Teilaufstellung des Regionalplans für den Planungsraum II in Schleswig-Holstein Kapitel 5.7 (Windenergie an Land)*. Von https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landesplanung/raumordnungsplaene/raumordnungsplaene_wind/fh_teilfortschreibung_lep_wind_RP2 abgerufen
- MILIG SH. (01. 09 2021). *Grundsätze zur Planung von großflächigen Solar-Freiflächenanlagen im Außenbereich*. Von https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/S/stadtenwicklung-staedtebau/Downloads/erlass_SolarFreiflaechenanlagen.pdf?__blob=publicationFile&v=1 abgerufen
- Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein. (2024). *Schleswig-Holstein Umweltportal*. Von https://umweltportal.schleswig-holstein.de/kartendienste;jsessionid=1A66A9F29A1CFB948C1E85570B1DA43D?lang=de&topic=thnaturschutz&bgLayer=sgx_geodatenzentrum_de_de_basemapde_web_raster_grau_DE_EPSG_25832_ADV&layers=b0c7bdcfc2a12dcd2015c5c986e92834&E=541031 abgerufen
- Ministerium für Umwelt, K. u. -W. (2019). Freiflächensolaranlagen. Handlungsleitfaden. Stuttgart.
- Solarthermalworld. (8. Dezember 2021). Abgerufen am 2. August 2022 von <https://solarthermalworld.org/news/between-three-and-eight-million-heat-pumps-2030/>
- Statista. (27. Januar 2022). Abgerufen am 6. Juli 2022 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/484054/umfrage/durchschnittsverbrauch-pkw-in-privaten-haushalten-in-deutschland/>
- Statistikamt Nord . (2024). *Regionaldaten für Brekendorf*. Von <https://region.statistik-nord.de/detail/00100000000000000000/1/351/949/> abgerufen
- Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein. (2022). *Statistikamt Nord*. Von <https://region.statistik-nord.de/detail/00000000100000000000/1/352/1139/> abgerufen
- TGA-Praxis. (12. Mai 2022). PVT-Wärmepumpensysteme für Mehrfamilienhäuser. Abgerufen am 2. August 2022 von https://www.tga-praxis.de/sites/default/files/public/data-fachartikel/MGT_2022_05_PVT-Waermepumpensysteme-_fuer-Mehrfamilienhaeuser_12-15.pdf
- UBA. (November 2021). Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland. Abgerufen am 8. Juli 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>
- Uhland, T. S. (2020). *energieagentur-suedwest*. Von https://www.energieagentur-suedwest.de/files/2020_05_solar_cluster_bw__pv-netzwerk_photovoltaik_in_kommunen_-_broschuere_online_final.pdf abgerufen

- Umweltbundesamt. (3. März 2021). Radverkehr. Abgerufen am 7. Juli 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#vorteile-des-fahrradfahrens>
- Umweltbundesamt. (2022). *CO2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_28-2022_emissionsfaktoren-brennstoffe_bf.pdf abgerufen
- Umweltbundesamt. (2024). *Energieeffizienz in Zahlen - Entwicklung und Trends in Deutschland 2023*. Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=3 abgerufen
- Umweltbundesamt. (März 2024). *Erneuerbare Energien in Deutschland 2023*. Abgerufen am 27. März 2023 von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erneuerbare-energien-in-deutschland-2023>
- VDEW. (1999). *Representative VDEW-Lastprofile*. Frankfurt (Main): Verband der Elektrizitätswirtschaft e. V.
- Verein Deutscher Ingenieure. (2012). *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung*.
- wegatech. (2024). *Photovoltaik Ertrag - Die wichtigsten Einflussfaktoren im Überblick*. Von <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundlagen/ertrag/> abgerufen
- Wirth, D. H. (2023). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Freiburg.