IPP ESN
Power Engineering GmbH
Ingenieurunternehmen für
Energie- und Umwelttechnik

BERICHT ÜBER INGENIEUR- UND BERATUNGSLEISTUNGEN

Berichtsumfang

ENERGETISCHE STADTSANIERUNG IM QUARTIER „HANERAU-HADEMARSCHEN NORD-WEST“

Auftraggeber

AMT MITTELHOLSTEIN (FÜR DIE GEMEINDE HANERAU-HADEMARSCHEN)
Am Markt 15
D-24594 Hohenwestedt

Auftragnehmer

IPP ESN POWER ENGINEERING GMBH
Rendsburger Landstraße 196 - 198
D-24113 Kiel

In Kooperation mit

WORTMANN-ENERGIE
Fraunhoferstraße 13
D-24118 Kiel

E|M|N ENERGIEMANUFAKTUR NORD
Am Hasselberg 7
D-25813 Husum

Ihr Ansprechpartner:
JÜRGEN MEEREIS
Tel.: +49 431 64959-844
E-Mail: j.meereis@ipp-esn.de

Kiel, den 7. Mai 2019

Auftraggeber:	Amt Mittelholstein (für die Gemeinde Hanerau-Hademarschen) Am Markt 15 D-24594 Hohenwestedt
Ansprechpartner:	Jens Lahrsen, Amt Mittelholstein
Auftragnehmer:	IPP ESN Power Engineering GmbH Rendsburger Landstraße 196-198 D-24113 Kiel Ansprechpartner: Thomas Lutz-Kulawik; t.lutz@ipp-esn.de Jürgen Meereis; j.meereis@ipp-esn.de
In Kooperation mit:	Wortmann-energie Fraunhoferstr. 13 D-24118 Kiel Ansprechpartner: Jörg Wortmann; j.wortmann@wortmann-energie.de E|M|N EnergieManufaktur Nord Am Hasselberg 7 D-25813 Husum Ansprechpartner: Peter Bielenberg; bielenberg@energiemanufaktur.de
Stand:	Entwurf Endbericht, 07.05.2019
Förderhinweis:	Das Projekt Energetische Stadtsanierung im Quartier „Hanerau-Hademarschen Nord-West“ wird gefördert aus Mitteln des Bundes im Rahmen des KfW-Programms 432 „Energetische Stadtsanierung“ sowie ergänzend aus Mitteln des Landes Schleswig-Holstein.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

SH Schleswig-Holstein Der echte Norden

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

INHALTSVERZEICHNIS

1 Tabellenverzeichnis 1
2 Abbildungsverzeichnis 2
3 Abkürzungen 4
4 Gender-Aspekte 5
5 Checkliste KfW energetische Stadtsanierung 6
6 Ausgangslage 7
7 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse 8
8 Das Quartier 11
8.1 Räumliche Lage und Funktionen 11
8.2 Motivation, Klimaschutz 12
8.3 Bauliche Situation, Nutzungen und Energieversorgung im Quartier 12
9 Bestandsaufnahme 14
9.1 Gebäudebestand 14
9.1.1 Bebauung 14
9.1.2 Feuerstättendaten des Schornsteinfegers 16
9.1.3 Ergebnisse der Fragebogenaktion und der Energieberatung vor Ort 17
9.1.4 Bebauung, Nicht-Wohngebäude, öffentliche Liegenschaften 19
9.2 Energie- und CO_2-Bilanz im Quartier 27
9.3 Zusammenfassung Bestandsaufnahme 30
10 Energie- und CO_2-Minderungspotenziale durch Gebäudesanierung 31
10.1 Mustersanierungen - Energieberatung vor Ort 31
10.1.2 Mustersanierungskonzept Gebäude B 36
10.1.3 Mustersanierungskonzept Gebäude C 38
10.1.4 Kurzberatungen zur Gebäudesanierung 42
10.1.5 Zusammenfassende Ergebnisse der Mustersanierungskonzepte 45
10.2 Einsparpotential und Sanierungsrate 47
10.3 Zukünftiger Wärmebedarf im Quartier 48
11 Versorgungsoptionen und -szenarien 50
11.1 Zentrale Versorgungsoptionen 50
11.1.1 Wärmenetzszenarien 50

11.1.2 Energiebilanzen ... 52
11.1.3 Investitionen ... 55
11.1.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung ... 56
11.1.5 CO_2-Bilanz ... 58
11.1.6 Energetische Einsparungen gegenüber dem Ist-Zustand ... 59
11.1.7 Spitzenlastkessel mit erneuerbaren Energien ... 59
11.1.8 Sensitivitätsanalysen ... 61
11.1.9 Blick in die Zukunft ... 63
11.1.10 Betreiberkonzept ... 64
11.2 Dezentrale Wärmeversorgung ... 65
12 Umsetzungshemmnisse ... 66
12.1 Gebäudesanierung ... 66
12.2 Energieversorgung ... 67
12.2.1 Technische Herausforderungen ... 67
12.2.2 Rechtliche und organisatorische Herausforderungen ... 67
12.2.3 Weitere Herausforderungen ... 68
13 Öffentlichkeitsarbeit ... 69
13.1 Allgemeine Öffentlichkeit ... 69
13.2 Lenkungsgruppe ... 71
14 Controlling-Konzept ... 73
14.1 Energie- und CO_2-Bilanz ... 73
14.2 Bewertungsindikatoren ... 73
14.3 Dokumentation ... 74
15 Maßnahmenkatalog ... 75
16 Sanierungsmanagement ... 76
17 Literaturverzeichnis ... 77
18 Anhang: Vorstudie des Kompetenzzentrums für Geo-Energie der CAU zum Einsatz von unterirdischen saisonalen Wärmespeichern im Quartier ... 79

1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 5-1: Abgleich der Berichtsinhalte mit den Anforderungen der KfW 6
Tabelle 9-1: Auswertung der Fragebögen zu den Liegenschaften des Quartiers 18
Tabelle 9-2: Liste der näher untersuchten öffentlichen Liegenschaften 19
Tabelle 9-3: Energetischer Steckbrief Kita 20
Tabelle 9-4: Energetischer Steckbrief Amtsgebäude 21
Tabelle 9-5: Energetischer Steckbrief Museum 22
Tabelle 9-6: Energetischer Steckbrief Schule - Hauptgebäude und Sporthalle 23
Tabelle 9-7: Energetischer Steckbrief Schule - Mensa 24
Tabelle 9-8: Energetischer Steckbrief Jugendtreff-Container 25
Tabelle 9-9: Energetischer Steckbrief Feuerwehrgebäude 26
Tabelle 9-10: CO_2-Emissionsfaktoren 29
Tabelle 9-11: Wärme-, Endenergie-, CO_2- und Primärenergiebilanz Gesamtquartier, Ist-Zustand 29
Tabelle 10-1: Gebäude A, Sanierungsvorschläge 33
Tabelle 10-2: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude A, Sanierungsvorschläge 34
Tabelle 10-3: Gebäude B, Sanierungsvorschläge 36
Tabelle 10-4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude B, Sanierungsvorschläge 37
Tabelle 10-5: Gebäude C, Sanierungsvorschläge 38
Tabelle 10-6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude C, Sanierungsvorschläge 40
Tabelle 10-7: Kurzberatung Gebäudesanierung I 42
Tabelle 10-8: Kurzberatung Gebäudesanierung II 43
Tabelle 10-9: Kurzberatung Gebäudesanierung III 44
Tabelle 10-10: Kurzberatung Gebäudesanierung IV 45
Tabelle 10-11: Zukünftiger Wärmebedarf im Quartier [MWh] 48
Tabelle 11-1: Energiebilanzen Versorgungsszenarien 53
Tabelle 11-2: Investitionen Versorgungsszenarien 55
Tabelle 11-3: Energiewirtschaftliche Ansätze 56
Tabelle 11-4: Wirtschaftlichkeitsberechnung zentrale Wärmeversorgungsszenarien 57
Tabelle 11-5 Jährliche energetische Einsparungen gegenüber dem Ist-Zustand 59
Tabelle 11-6: Wirtschaftlichkeitsberechnung Heizöl gegen Holzpellets 60
Tabelle 11-7: Betreibermodelle 64
Tabelle 11-8: Dezentrale Versorgungslösungen 65
Tabelle 14-1: Indikatoren zum Controlling für die Umsetzung des Quartierskonzeptes 74
Tabelle 15-1: Maßnahmenkatalog mit Priorisierung 75
Tabelle 16-1: Aufgaben des Sanierungsmanagements 76

2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 8-1: Quartiersgrenzen 11
Abbildung 9-1: Wärmeverbrauch und Modernisierungsstände am Bsp. Baualtersklasse E-68 .. 15
Abbildung 9-2: Zuordnung der EFH zu Baualtersklassen im Quartier 15
Abbildung 9-3: Anzahl und Leistung der Öl- und Gaskessel nach Baujahren 16
Abbildung 9-4: Anzahl und Alter der Öl- und Gaskessel 16
Abbildung 9-5: Fragebogen zu den Liegenschaften des Quartiers 17
Abbildung 9-6: Verlosung Energieberatung vor Ort, Gebäude-Check Verbraucherzentrale 18
Abbildung 9-7: Mögliche Reduzierung des Heizenergiebedarfs öffentlicher Liegenschaften bis 2040 26
Abbildung 9-8: Wärmeatlas - Wärmebedarf & Baualtersklassen 27
Abbildung 9-9: Aufteilung Wärmebedarf nach Energieträgern 28
Abbildung 9-10: Sektorenverteilung des Wärmebedarfs 28
Abbildung 9-11: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes 29
Abbildung 10-1: Gebäude A, Ausgangsbasis 32
Abbildung 10-2: Gebäude A, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung 33
Abbildung 10-3: Gebäude A, Rentierlichkeit der Sanierungsvarianten und resultierende CO_2-Minderungen 35
Abbildung 10-4: Gebäude A, Übersicht individueller Sanierungsfahrplan 35
Abbildung 10-5: Gebäude B, Ausgangsbasis 36
Abbildung 10-6: Gebäude B, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung 36
Abbildung 10-7: Gebäude B, Rentierlichkeit der Varianten und CO_2-Minderungen 38
Abbildung 10-8: Gebäude C, Ausgangsbasis 38
Abbildung 10-9: Gebäude C, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung 39
Abbildung 10-10: Gebäude C, Rentierlichkeit der Varianten und CO_2-Minderungen 41
Abbildung 10-11: Unterscheidung Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten 46
Abbildung 10-12: Sanierungsrate 1 % und zukünftiger Heizenergiebedarf 2040; Bsp. EFH 47
Abbildung 10-13: Sanierungsrate 2 % und zukünftiger Heizenergiebedarf 2040; Bsp. MFH 48
Abbildung 10-14: Einsparpotential durch Gebäudesanierung nach Baualtersklassen 49
Abbildung 11-1: Versorgungsgebiet 1 51
Abbildung 11-2: Versorgungsgebiet 2 51
Abbildung 11-3: Geordnete Jahresdauerlinie Wärmebedarf Versorgungsgebiet 1 54
Abbildung 11-4: Wärmepreis bei zentralen Versorgungsszenarien 58
Abbildung 11-5: CO_2-Bilanz der zentralen Wärmeversorgung 58
Abbildung 11-6: Preisentwicklung unterschiedlicher Energieträger (C.A.R.M.E.N., 2019) 60
Abbildung 11-7: Sensitivitätsanalyse Wärmekosten Biogasanlagen 61

Abbildung 11-8: Sensitivitätsanalyse Investitionen 62
Abbildung 11-9: Sensitivitätsanalyse Anschlussquote 62
Abbildung 11-10: Solarthermieanlage mit saisonalem Speicher in Dänemark 63
Abbildung 11-11: Historische Preisentwicklung verschiedener Brennstoffe 65
Abbildung 12-1: Endenergieverbrauch Raumwärme 2016 in Deutschland (BMWE, 2018) 66
Abbildung 13-1: öffentliche Präsentation der Ergebnisse 69
Abbildung 13-2: Einschätzungen zur Wärmeversorgung zu Beginn der öffentlichen Ergebnispräsentation 70
Abbildung 13-3: Banner an den Ortseingängen mit Hinweisen auf die öffentliche Ergebnisveranstaltung 71
Abbildung 13-4: Lenkungsgruppensitzung (27.02.2019) 72

3 ABKÜRZUNGEN

SI-Einheiten und allgemeinsprachliche Abkürzungen sind nicht erläutert.

a	Jahr
AfA	Absetzung für Abnutzung (Abschreibung)
BGA	Biogasanlage/n
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMWE	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
C.A.R.M.E.N.	Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt
CO_2	Kohlenstoffdioxid
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
EEG	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
EFH	Einfamilienhaus
E|M|N	EnergieManufaktur Nord
EnEv	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung)
EVA	Erzeugung, Verteilung, Abrechnung
EWKG	Gesetz zur Energiewende und zum Klimaschutz in Schleswig-Holstein (Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein)
h	Stunde
IPP ESN	IPP ESN Power Engineering GmbH
k. A.	keine Angaben verfügbar / gemacht
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW_{th}	thermische Leistung (in kW)
MELUR	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
MFH	Mehrfamilienhaus
RH	Reihenhaus
Tr.m	Trassenmeter
UBA	Umweltbundesamt

4 GENDER-ASPEKTE

Die Autoren des vorliegenden Berichtes sind sich dessen bewusst, dass es verschiedene Geschlechter gibt. Aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung wird im Bericht in der Regel das männliche Geschlecht verwendet. Damit ist seitens der Autoren keinerlei inhaltliche Bewertung verbunden.

5 CHECKLISTE KFW ENERGETISCHE STADTSANIERUNG

Tabelle 5-1: Abgleich der Berichtsinhalte mit den Anforderungen der KfW

ZU BERÜCKSICHTIGENDE ASPEKTE	KAPITEL
Betrachtung der für das Quartier maßgeblichen Energieverbrauchssektoren (insbesondere kommunale Einrichtungen, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie, private Haushalte) und deren Energieeinspar- und Effizienzpotenziale (Ausgangsanalyse)	9
Beachtung vorhandener integrierter Stadtteilentwicklungs- (INSEK) oder wohnwirtschaftlicher Konzepte bzw. integrierter Konzepte auf kommunaler Quartiersebene sowie von Fachplanungen und Bebauungsplänen	8.1
Aktionspläne und Handlungskonzepte unter Einbindung aller betroffener Akteure (einschließlich Einbeziehung der Öffentlichkeit)	10, 13
Aussagen zu baukulturellen Zielstellungen unter Beachtung der Denkmäler und erhaltenswerter Bausubstanz sowie bewahrenswerter Stadtbildqualitäten	9.1.4
Gesamtenergiebilanz des Quartiers als Ausgangspunkt sowie als Zielaussage für die energetische Stadtsanierung unter Bezugnahme auf die im Energiekonzept der Bundesregierung vom 28.9.2010 formulierten Klimaschutzziele für 2020 bzw. 2050 und bestehende energetische Ziele auf kommunaler Ebene	6, 8.2, 10
Analyse möglicher Umsetzungshemmnisse (technisch, wirtschaftlich, zielgruppenspezifisch bedingt) und deren Überwindung, Gegenüberstellung möglicher Handlungsoptionen	12
Benennung konkreter energetischer Sanierungsmaßnahmen und deren Ausgestaltung (Maßnahmenkatalog) unter Berücksichtigung der quartiersbezogenen Interdependenzen mit dem Ziel der Realisierung von Synergieeffekten sowie entsprechender Wirkungsanalyse und Maßnahmenbewertung	10.1
Aussagen zu Kosten, Machbarkeit und zur Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen, Maßnahmen der Erfolgskontrolle	10
Maßnahmen zur organisatorischen Umsetzung des Sanierungskonzepts (Zeitplan, Prioritätensetzung, Mobilisierung der Akteure und Verantwortlichkeiten)	14, 15
Information und Beratung, Öffentlichkeitsarbeit.	13

6 AUSGANGSLAGE

Der Umgang mit dem globalen Klimawandel ist eine der zentralen Fragen unserer Zeit. Das Sparen von Energie, die Steigerung der Energieeffizienz und die Reduktion von CO_2-Emissionen sind wichtige Eckpfeiler eines global stattfindenden ökologischen Umdenkens. Bezogen auf die hiesigen Kommunen und Städte ist dieser Wandel einerseits mit neuen Herausforderungen verbunden, ermöglicht andererseits jedoch eine Vielzahl an ökonomischen Chancen. So bieten etwa gegenwärtige Investitionen in den Klimaschutz die Möglichkeit, zukünftige Energiekosten nachhaltig zu senken und zudem zukunftsorientiere Versorgungspläne zu erstellen. Zudem stärken Investitionen in Energieeinsparungen (etwa durch Gebäudesanierungen) oder eine lokal geprägte regenerative Energieversorgung (etwa durch Nutzung lokaler Biomasse) die regionale Wirtschaft, während Ausgaben für fossile Brennstoffe (Gas, Erdöl) zu maßgeblichen Teilen in andere Teile der Welt fließen.

Ein in dieser Hinsicht bedeutungsvollen Faktor stellt der Gebäudebereich dar. Für Raumwärme und Warmwasserbereitung werden etwa 32 % des deutschen Endenergieverbrauchs aufgewendet (dena, dena-Gebäudereport 2016 - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, 2016), mit entsprechenden Auswirkungen auf die CO_2-Emissionen. Die Potenziale der Energie- und CO_2-Einsparung sind in diesem Bereich daher enorm.

In diesem Zusammenhang ist das ambitionierte Ziel des Energiekonzepts 2050 der Bundesregierung zu verstehen. Dieses Konzept sieht vor, die CO_2-Emissionen im Vergleich zu 1990 bis 2020 um 40 % und bis 2050 um 80 bis 95 % zu senken (KfW, Merkblatt Energetische Stadtsanierung - Zuschuss, 2015).

Die Quartiersplanung greift diese Zielvorstellung auf und bietet mit einem integrativen Konzept einen zukunftsweisenden Überblick über energetische Sanierungs- und Wärmeversorgungspotenziale innerhalb des jeweiligen Quartiers. Dabei bietet die KfW mit dem Förderprogramm 432 „Energetische Stadtsanierung“ eine Möglichkeit, integrative Quartierskonzepte zu erstellen und empfohlene Maßnahmen langfristig durch einen Sanierungsmanager umsetzen und betreuen zu lassen. Diese Förderung der KfW wird in Schleswig-Holstein durch eine weitere Förderung des Landes in Höhe von 20 bis 30 % ergänzt (Land Schleswig-Holstein, 2017).

In diesem Zusammenhang hat sich die Gemeinde Hanerau-Hademarschen, vertreten durch das Amt Mittelholstein, zur Erstellung eines energetischen Quartierskonzepts für Hanerau-Hademarschen Nord-West durch die IPP ESN Engineering GmbH (IPP ESN) in Kooperation mit wortman-energie und EnergieManufaktur Nord (E|M|N) entschieden. Die Ergebnisse der Arbeiten finden sich im vorliegenden Bericht.

7 ZUSAMMENFASSUNG ZENTRALER ERGEBNISSE

Grundsätzlich ist es bei der Planung einer zukunftsfähigen Energieversorgung eines Quartiers sinnvoll, zunächst die Potenziale für die Einsparung von (Wärme-) Energie zu erfassen. Mögliche neue Versorgungsoptionen können sich dann an dem langfristig zu erwartenden Wärmebedarf orientieren und so energetisch und wirtschaftlich optimiert werden. Damit wird eine kurzfristige Schaffung langfristiger Überkapazitäten vermieden.

Die Untersuchungen des Gebäudebestandes im Quartier haben gezeigt, dass bei Durchführung der wirtschaftlich vertretbaren Sanierungsmaßnahmen eine langfristige Einsparung beim Wärmebedarf von ca. 15 % zu erreichen ist. Um diese „Vollsanierung“ bis 2050 zu erreichen muss die jährliche Sanierungsquote jedoch von derzeit ca. 1 % auf 2 % ansteigen.

Bezüglich der Bereitstellung der Wärme ist das Quartier in der glücklichen Situation, dass sich in Spann, in einer Entfernung von etwa 800 m zur nordwestlichen Quartiersgrenze, zwei Biogasanlagen befinden, deren Abwärme bisher zu großen Teilen nicht genutzt wird. Diese Anlagen laufen stromgeführt und bekommen für die Einspeisung des Stroms in das öffentliche Netz noch bis zum Jahr 2035 eine garantierte Vergütung nach dem EEG. Die Vergütung erhöht sich bei diesen Anlagen wenn ihre Abwärme stärker genutzt wird. Die Betreiber der Anlagen hätten also von der Abgabe der Wärme an das Quartier sogar dann einen wirtschaftlichen Nutzen, wenn diese ohne eigene Vergütung erfolgen würde.

Insofern ist im Quartier eine win-win-win-Situation gegeben:

- Die Betreiber der Biogasanlage profitieren wirtschaftlich von der Abgabe ihrer bisher ungenutzten Abwärme.
- Die Verbraucher im Quartier profitieren von einer sehr preiswerten Bereitstellung von Wärme, bei der zudem schon heute für die nächsten etwa 15 Jahre Preise vereinbart werden können. Große Teile des Wärmebezugs sind damit für einen langen Zeitraum nahezu unabhängig von möglichen Preissteigerungen fossiler oder auch regenerativer Energieträger (Öl, Gas, Pellets etc.).
- Umwelt und Klima profitieren dadurch, dass die heute für die hausweise Wärmeerzeugung genutzten Ressourcen fossiler Energieträger geschont und lokal Luftschadstoffe (Stickoxide, Feinstaub etc.) sowie global klimaschädliche CO_2-Emissionen vermieden werden.

Erforderlich für die Nutzung der Wärme ist der Aufbau eines Wärmenetzes, durch das die Abwärme der Biogasanlagen in das Quartier transportiert und innerhalb des Quartiers an die einzelnen Verbraucher verteilt wird. Dies erfordert Investitionen, die zukünftig einen maßgeblichen Teil des Wärmepreises ausmachen. Eine Investition in ein Wärmenetz ist vor allem dann rentabel, wenn auf kleinem Raum eine große Menge an Wärme abgenommen wird, d. h. wenn die Wärmeabnahmedichte möglichst hoch ist. Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene mögliche Versorgungsgebiete untersucht und die Auswirkungen auf einen (kostendeckenden) Wärmepreis abgeschätzt. Die endgültige Festlegung des (anfänglichen) Versorgungsgebietes muss im Zuge des Sanierungsmanagements erfolgen, d. h. im Rahmen der Arbeiten, mit denen die Ergebnisse des Quartierskonzeptes im Anschluss umgesetzt werden. Dabei sind konkrete Anschluss- und Abnahmebereitschaften zu erkunden. Zudem kann auch langfristig noch eine Aus-

weitung des Versorgungsgebietes erfolgen, indem weitere Bestandsgebäude oder ggf. - bei passendem Wärmebedarf - auch Neubaugebiete mit angeschlossen werden.

Hinsichtlich der Investitionen in das Wärmenetz und hinsichtlich der Versorgungssicherheit stellt sich die Frage nach dem Betrieb der Biogasanlagen nach Auslauf der EEG-Förderung in ca. 15 Jahren. Sollten die Anlagen ohne Förderung nicht mehr rentabel betrieben werden können und stillgelegt werden, wäre eine andere Versorgung aufzubauen und ggf. das Wärmenetz anzupassen. Um in diesem Fall preislich auf der sicheren Seite zu liegen, wurde eine sehr konservative Kalkulation der Wärmepreise für die kommenden 15 Jahre vorgenommen: Es wurde davon ausgegangen, dass die Investitionen in das Wärmenetz über die Grundpreise des Wärmebezugs in 15 Jahren komplett abbezahlt sind - obwohl deutlich längere Nutzungsdauern und Abschreibungszeiträume (Nutzung 40 Jahre und mehr, AfA 20 bzw. 25 Jahre) üblich sind (BMF, 1995).

Nach Auslauf der EEG-Förderung der Biogasanlagen bestehen zwei Optionen:

- Die Biogasanlagen werden weiter betrieben. Ggf. ist aufgrund des Wegfalls der EEG-Förderung eine höhere Vergütung für die eingespeiste Wärme zu zahlen.
- Es werden andere Wärmeerzeugungsanlagen geplant und realisiert. Dabei kommen die zu diesem Zeitpunkt unter Klima- und Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten besten Technologien zum Einsatz - sei es Solarthermie mit saisonalem Wärmespeicher (oberirdisch oder, wie von der CAU abgeschätzt,[1] geologisch), Biomasse (Holzpellets, Holzhackschnitzel, Grünschnittpellets etc.), „Power to Heat“, Geothermie oder anderes. Diese können u. U. im Umfeld der Biogasanlagen errichtet werden, so dass die Wärmeleitungen von dort ins Quartier weiter nutzbar sind, oder auch dezentral im Quartier.

Für die ggf. erforderlichen Anpassungen von Preisen bzw. neuen Investitionen besteht insofern Spielraum, als zu diesem Zeitpunkt die heutigen Investitionen in das Wärmenetz vollständig abbezahlt sind. Sollte ein Weiterbetrieb der Biogasanlagen zu im Wesentlichen gleichen Konditionen möglich sein, ist dann eine signifikante Absenkung der Wärmepreise (Grundpreis) oder z. B. auch eine Investition in eine deutliche Ausweitung des Versorgungsgebietes möglich.

Die Versorgungssicherheit wird insofern auch für den (temporären oder ggf. sogar kompletten) Ausfall der Biogasanlagen gesichert, als ein Spitzenlastkessel vorgesehen ist, der zunächst dazu dient, die im Winter zu erwartenden Leistungsspitzen zu bedienen, für die die Wärme der beiden Biogasanlagen nicht ausreicht, der bei Bedarf die Biogasanlagen jedoch auch vollständig ersetzen könnte.

Insofern besteht für die Gemeinde Hanerau-Hademarschen die Möglichkeit, eine sichere, klimafreundliche, kostengünstige und kostenstabile Wärmeversorgung im untersuchten Quartier zu errichten. Wichtig ist, diese so zügig wie möglich zu realisieren: Sollte eine Umsetzung z. B. erst in fünf Jahren erfolgen, ist der Betrieb der Biogasanlagen unter Nutzung der EEG-Förderung nur noch für etwa 10 Jahre möglich. Damit müsste entweder die Abzahlungszeitraum für das Wärmenetz verkürzt werden, was zu höheren Wärmepreisen führt, oder es muss das - wenn auch kalkulierbare - Risiko eingegangen werden, dass Teile des Wärmenetzes vor vollständiger Abbezahlung nicht mehr genutzt werden können.

[1] vgl. Kapitel 18

Aus den erstellten Kalkulationen wird deutlich, wie stark der Wärmepreis von den Anschlussquoten abhängt. Je höher die Anschlussquoten sind, desto mehr Verbraucher teilen sich die Investitionskosten des Wärmenetzes und desto günstiger wird der Wärmepreis. Die Erzielung einer möglichst hohen Anschlussquote ist eine der Aufgaben des auf das energetische Quartierskonzept folgenden Sanierungsmanagements.

8 DAS QUARTIER

8.1 RÄUMLICHE LAGE UND FUNKTIONEN

Die Gemeinde Hanerau-Hademarschen hat etwa 2.990 Einwohner. Das zu betrachtende Quartier umfasst nicht das ganze Gemeindegebiet: Das Quartier geht im Norden und Westen bis zur Bebauungsgrenze. Im Nordosten und Osten bilden der Pemelnweg (einschließlich seiner östlichen Bebauung), die Holstenstraße und Im Eck die Grenze. Nach Südosten und Süden verläuft die Quartiersgrenze über Teile der Theodor-Storm-Straße, Bahnhofstraße, Blumenstraße, Kaiserstraße, Propst-Treplin-Weg und Bergstraße, einschließlich der unmittelbar südlich der Bergstraße liegenden Bebauung.

Im Quartier selbst befinden sich rund 300 Gebäude mit etwa 850 Einwohnern.

Landesplanerisch ist die Gemeinde als ländlicher Zentralort eingestuft. Sie hat somit die Funktion der Grundversorgung für die Umlandgemeinden (Einkauf und Dienstleistungen, auch im Bildungs- und Freizeitbereich).

Abbildung 8-1: Quartiersgrenzen

Für Hanerau-Hademarschen und umliegende Gemeinden wird ein „Zukunftskonzept Daseinsvorsorge für die Gemeinde Hanerau-Hademarschen und Umland“ erstellt. Die Arbeiten an diesem Konzept begannen nach den Arbeiten am vorliegenden energetischen Quartierskonzept

und werden nach dem Abschluss der Erstellung des energetischen Quartierskonzeptes noch andauern. Insofern konnte nicht auf Ergebnisse zugegriffen werden. Zwischenergebnisse der Arbeiten des energetischen Quartierskonzeptes wurden jedoch in das Zukunftskonzept Daseinsvorsorge eingebracht (vgl. Kapitel 13.1) und es wurden regelmäßig die Dokumentationen der Lenkungsgruppensitzungen ausgetauscht.

8.2 MOTIVATION, KLIMASCHUTZ

Hanerau-Hademarschen gehört zur AktivRegion Mittelholstein, in der das Thema „Klimawandel und Energie“ einen von insgesamt vier thematischen Schwerpunkten bildet. Eines der drei Handlungsziele dieses Schwerpunktes besteht darin, das Bewusstsein für Klimaschutz, Klimawandel und Energie bei den Bürgern sowie den Kommunen durch Konzeptentwicklung, Bildung und Wissensvermittlung zu stärken; ein zweites darin, zukunftsfähige Ideen, Technologien und Infrastruktur für den Klimaschutz in der Region zu unterstützen.

Daher besteht ein Schwerpunkt des Quartierskonzeptes darin, Maßnahmen zur Gebäudesanierung und den damit verbundenen Energie- und CO_2-Einsparungen zu beschreiben. Damit werden zunächst Potenziale zur Senkung des Energiebedarfs der Gemeinde erkundet. Im zweiten Schritt wird dann geprüft, inwiefern dieser Bedarf mit CO_2-neutralen oder zumindest -armen Technologien gedeckt werden kann.

Speziell die Gemeinde Hanerau-Hademarschen hat es sich zum Ziel gesetzt, ihre Liegenschaften auf Basis erneuerbarer Energien mit Wärme zu versorgen. Um die Realisierung der im Quartierskonzept zu erarbeitenden Maßnahmen zu ermöglichen, wurden private, kommunale, gewerbliche und sonstige Akteure einbezogen, um deren Eigen- und Gemeinschaftsinitiative zu mobilisieren.

8.3 BAULICHE SITUATION, NUTZUNGEN UND ENERGIEVERSORGUNG IM QUARTIER

Das Quartier umfasst etwa 300 Gebäude, überwiegend Ein- und Zweifamilienhäuser, aber auch 16 Mehrfamilienhäuser, zwei Reihenhäuser, zwei landwirtschaftliche Resthöfe, zwei Gaststätten, ein Museum sowie etwa 25 Gewerbebetriebe, darunter mehrere Einzelhandels- und Bankgebäude. Weiterhin besteht eine Reihenhauswohnanlage mit 18 Häusern und einem Mittelpunktsgebäude. Die Theodor Storm Gemeinschaftsschule ist das größte öffentliche Gebäude im Quartier mit beträchtlichem Energiebedarf.

Der Gebäudebestand ist hinsichtlich Alter, Modernisierungsstand und Bausubstanz heterogen. Dazu korrespondiert ein breit gestreuter energetischer Standard, einschließlich der Heizungsanlagen, die vorwiegend aus Gas- und Ölkesseln bestehen. Einzelne Gebäude verfügen über Solarenergieanlagen (Wärme oder Strom). Grundversorger für Strom und Gas ist die E.ON Energie Deutschland GmbH.

Zwei Biogasanlagen befindet sich im Nordosten in der Ortschaft Spann (ca. 800 m Luftlinie bis zur Quartiersgrenze), außerhalb des Quartiers. Bisher wird deren Wärme lediglich teilweise und lokal (d. h. außerhalb des Quartiers) genutzt. Der Strom wird unter Nutzung von EEG-Förderung, die noch für etwa 15 Jahre verfügbar ist, in das öffentliche Netz eingespeist.

Ferner befinden sich etwa 2 km nördlich vom Quartier 12 Windkraftanlagen der Bürgerwindpark Mittelholstein GmbH & Co. KG. Die ersten acht dieser Anlagen wurden im Januar 2015 in Betrieb genommen. Insofern dürften sie noch bis Januar 2035 unter Nutzung der EEG-Förderung ins öffentliche Netz einspeisen.

Etwa 3 bis 4 km Entfernung westlich vom Quartier befinden sich Windkraftanlagen der Bürgerwindpark Beldorf GmbH & Co. KG und andere Windkraftanlagen. Im Bürgerwindpark finden sich fünf Windkraftanlagen mit einer Spitzenleistung von insgesamt 8,1 MW. Die Anlagen wurden zwischen 1999 und 2002 gebaut. Zwischen 2019 und 2022 läuft damit die EEG-Förderung für die Stromeinspeisung dieser Anlagen ins öffentliche Netz aus. Laut Angaben der Betreiber ist ein Repowering geplant, so dass die Anlagen dann anschließend wieder neu unter dem Regime des EEG stehen. Eine Nutzung von „Power to Heat“ bietet sich damit für das Quartier unter den gegenwärtigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht an.

9 BESTANDSAUFNAHME

9.1 GEBÄUDEBESTAND

Die wichtigen Daten und Erhebungen für die Bestandsaufnahmen des Gebäudebestands und ihrer energetischen Kenngrößen sind insbesondere

- die Entwicklung der Bebauung,
- Gasnetzdaten,
- georeferenzierte Liegenschafts- und Flurkarten,
- Angaben über die Firsthöhe der Gebäude,
- Feuerstättendaten des Schornsteinfegers,
- Ergebnisse aus den im Quartier verteilten Fragebögen (vgl. Kapitel 9.1.3.1) sowie
- Ergebnisse aus vor Ort durchgeführten Energieberatungen.

Mit Hilfe dieser Daten wurde ein sogenannter Wärmeatlas erstellt. Basis ist hierbei die frei zugängliche Software QGIS, mit der die Daten georeferenziell als visualisierte Kartendarstellung für die kommunale Wärmeplanung weiterhin nutzbar ist (QGIS).

9.1.1 BEBAUUNG

Die Wohnbebauung ist fast überwiegend Einfamilienhäuser geprägt; im nördlichen Bereich des Quartiers im Falken- und Bussardweg befinden sich sieben Mehrfamiliengebäude und im Zentrum eine kleine Reihenhausanlage.

Mit den historischen Karten sowie den Berichten der ortskundigen Gemeindevertreter sowie der Unterstützung der Amtsverwaltung konnte eine flächenbezogene Alterszuweisung der Gebäude vorgenommen werden. Dies ist die Basis für die Zuordnung der quartiersbezogenen Gebäude zu den untersuchten und ausgewerteten Gebäuden der Gebäudetypologie Schleswig-Holsteins (ARGE, 2012).

Der ursprüngliche Bauzustand zum Zeitpunkt der Errichtung ist nur bei Neubauten anzutreffen. Mit dem Alter der Gebäude steigen auch - statistisch - die energetischen Verbesserungen an Gebäudehülle und Anlagentechnik. Diesem Umstand wird durch unterschiedliche Modernisierungsstandards Rechnung getragen. Beispielhaft ist dies in Abbildung 9-1 für die Baualtersklase E-68 (Einfamilienhaus in der Baualtersklasse von 1958 bis 1968) dargestellt.

Die Zuordnung der Einfamilienhäuder zu Baualtersklassen und deren relative Verteilung für das Quartier Hanerau-Hademarschen zeigt Abbildung 9-2.

Mit diesem Datengerüst ist der Wärmebedarf des Quartiers für die aktuelle Betrachtungszeit abschätzbar (vgl. Kap.0).

Schleswig-Holstein
EFH / ZFH

E 68

Baualter: von 1958 bis 1968

Geschosszahl: 1,0 – 2,0

A/V- Verhältnis: 0,84

Anteil am Gebäudebestand in Schleswig-Holstein: 14,1 %
Anteil am Wohnungsbestand in Schleswig-Holstein: 8,7 %

Ausgangszustand

	Zustandsdaten		
	Anteil im Bestand [%]	Verbrauch [kWh/m²a]	CO_2-Emission [kg/m²a]
IST-Zustand	100 %	194	50
nicht modernisiert	8 %	236 *1	61
gering modernisiert	78 %	197 *1	51
mittel/ größtenteils modernisiert	14 %	159 *1	41

Abbildung 9-1: Wärmeverbrauch und Modernisierungsstände am Bsp. Baualtersklasse E-68

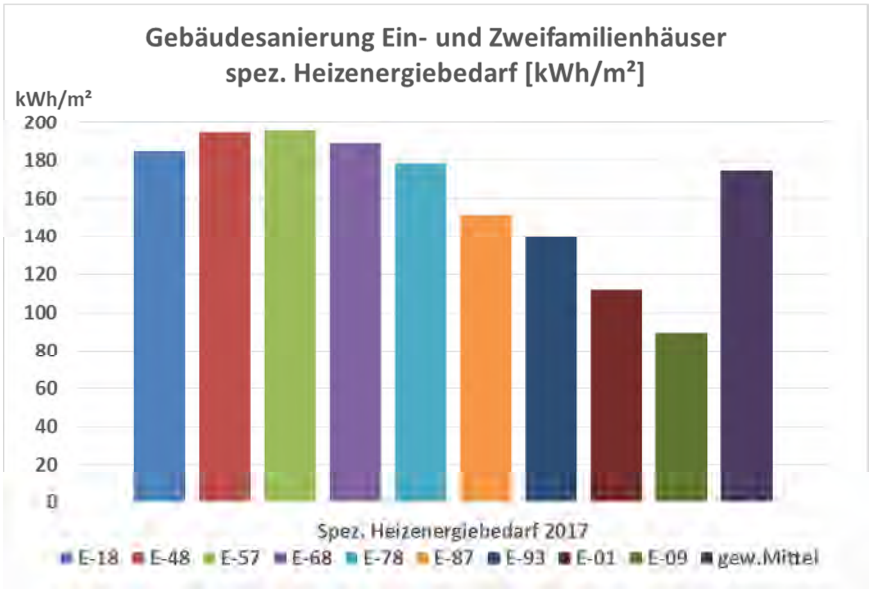


Abbildung 9-2: Zuordnung der EFH zu Baualtersklassen im Quartier

9.1.2 FEUERSTÄTTENDATEN DES SCHORNSTEINFEGERS

Der zuständige Bezirksschornsteinfegermeister Arens hat die Daten der Feuerstättenschau gemäß § 7 Abs. 2 EWKG zur weiteren Bearbeitung im Quartierskonzept anonym übergeben. Die Auswertung zeigt der Daten gibt Aufschluss über die relative Verteilung der eingesetzten Energieträger, das Alter des Wärmeerzeuger und auch über die Verwendung von Zusatzfeuerungen wie z. B. offene Kamine.

Die Auswertung der Daten zeigt u. a. den großen Anteil von älteren Kesselanlagen insbesondere bei Heizölheizungen.

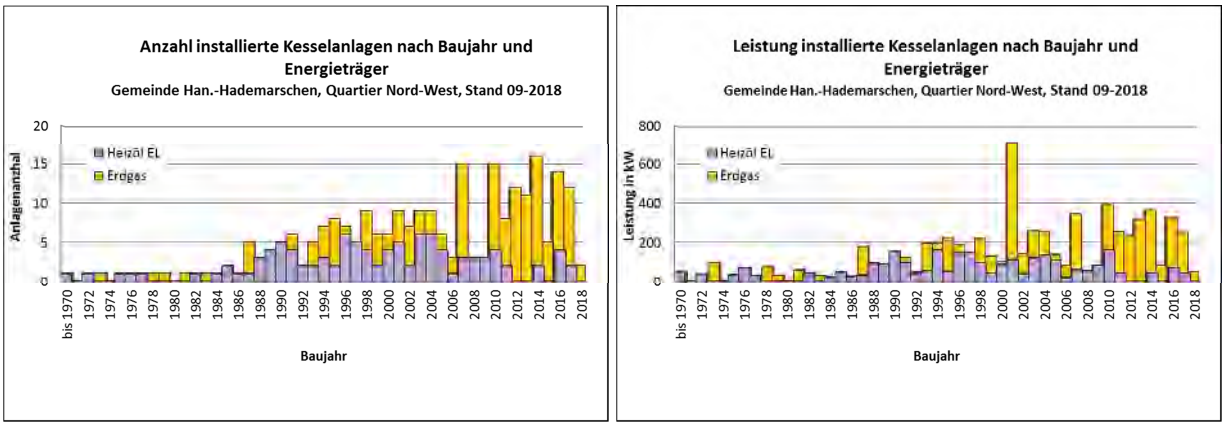


Abbildung 9-3: Anzahl und Leistung der Öl- und Gaskessel nach Baujahren

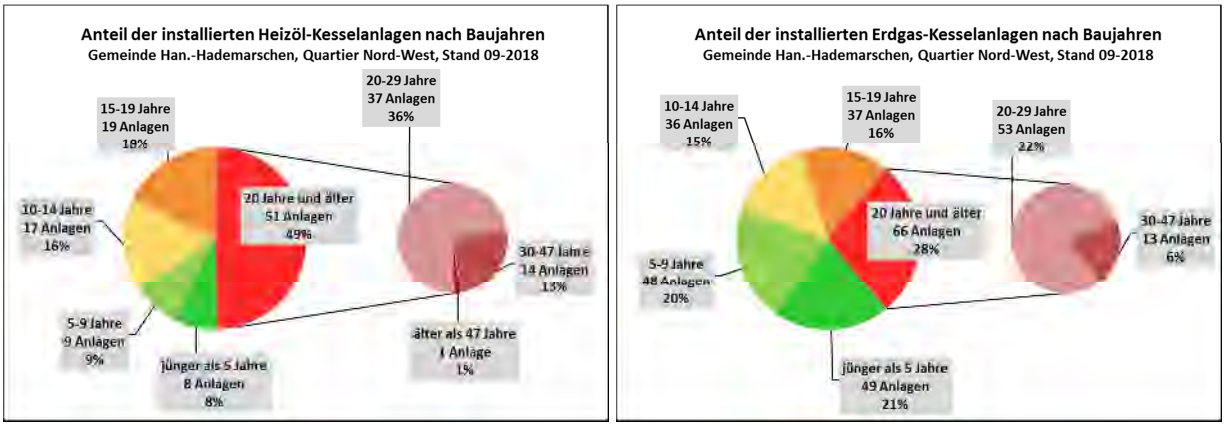


Abbildung 9-4: Anzahl und Alter der Öl- und Gaskessel

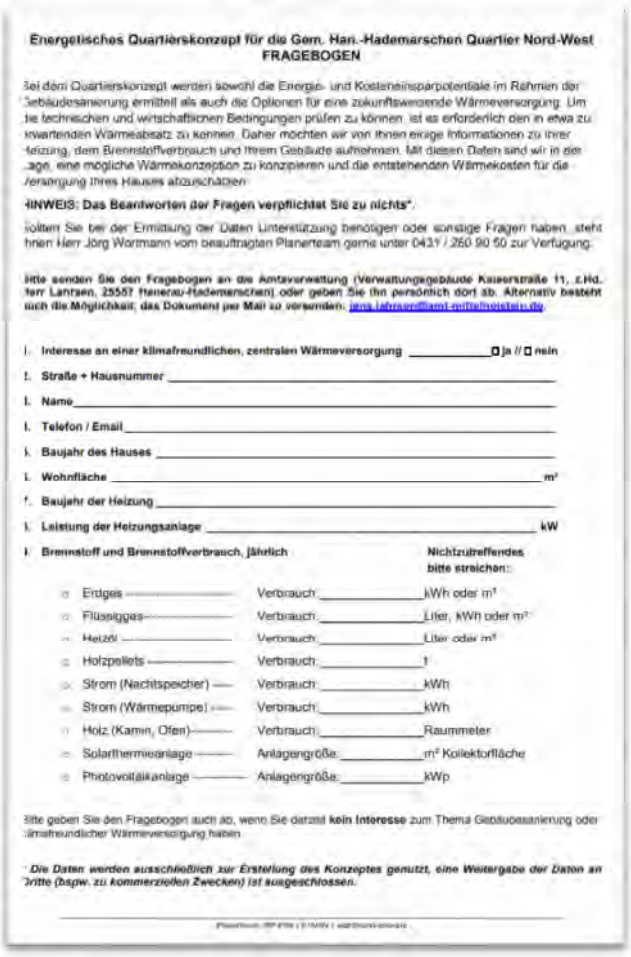
Bei den im Quartier installierten Erdgaskesseln und -thermen sind 66 Anlagen bzw. ca. 28 % älter als 20 Jahre und damit ersatzbedürftig. Bei den Heizölkesseln ist der Anteil mit fast 50 % deutlich höher. Hier besteht ein beträchtliches Energieeffizienzpotenzial.

Auf Grundlage der Schornsteinfegerdaten und der Daten der SH-Netz lässt sich eine fast siebzigprozentige Anschlussquote an die Erdgasversorgung im Quartier nachweisen.

9.1.3 ERGEBNISSE DER FRAGEBOGENAKTION UND DER ENERGIEBERATUNG VOR ORT

9.1.3.1 FRAGEBOGENAKTION

Um die Abschätzungen zum Wärmebedarf im Quartier sowie das Interesse an einer klimafreundlichen zentralen Wärmeversorgung abzufragen, wurde ein Fragebogen (Abbildung 9-5) entworfen, der auf der Auftaktveranstaltung verteilt und im Amtsgebäude sowie auf der Website der Gemeinde als Download verfügbar war.



Energetisches Quartierskonzept für die Gem. Han.-Hademarschen Quartier Nord-West
FRAGEBOGEN

Bei dem Quartierskonzept werden sowohl die Energie- und Kosteneinsparpotentiale im Rahmen der Gebäudesanierung ermittelt als auch die Optionen für eine zukunftsweisende Wärmeversorgung. Um die technischen und wirtschaftlichen Bedingungen prüfen zu können, ist es erforderlich den in etwa zu erwartenden Wärmeabsatz zu kennen. Daher möchten wir von Ihnen einige Informationen zu Ihrer Heizung, dem Brennstoffverbrauch und Ihrem Gebäude aufnehmen. Mit diesen Daten sind wir in die Lage, eine mögliche Wärmekonzeption zu konzipieren und die entstehenden Wärmekosten für die Versorgung Ihres Hauses abzuschätzen.

HINWEIS: Das Beantworten der Fragen verpflichtet Sie zu nichts*.

Sollten Sie bei der Ermittlung der Daten Unterstützung benötigen oder sonstige Fragen haben, steht Ihnen Herr Jörg Wortmann vom beauftragten Planerteam gerne unter 0431 / 260 90 50 zur Verfügung.

Bitte senden Sie den Fragebogen an die Amtsverwaltung (Verwaltungsgebäude Kaiserstraße 11, z.Hd. Herr Lahrsen, 25557 Hanerau-Hademarschen) oder geben Sie ihn persönlich dort ab. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, das Dokument per Mail zu versenden: jens.lahrsen@amt-mittelholstein.de.

1. **Interesse an einer klimafreundlichen, zentralen Wärmeversorgung** _____ ☐ ja // ☐ nein
2. **Straße + Hausnummer** _____
3. **Name** _____
4. **Telefon / Email** _____
5. **Baujahr des Hauses** _____
6. **Wohnfläche** _____ m²
7. **Baujahr der Heizung** _____
8. **Leistung der Heizungsanlage** _____ kW
9. **Brennstoff und Brennstoffverbrauch, jährlich** — **Nichtzutreffendes bitte streichen:**
   - ☐ Erdgas — Verbrauch: _____ kWh oder m³
   - ☐ Flüssiggas — Verbrauch: _____ Liter, kWh oder m³
   - ☐ Heizöl — Verbrauch: _____ Liter oder m³
   - ☐ Holzpellets — Verbrauch: _____ t
   - ☐ Strom (Nachtspeicher) — Verbrauch: _____ kWh
   - ☐ Strom (Wärmepumpe) — Verbrauch: _____ kWh
   - ☐ Holz (Kamin, Ofen) — Verbrauch: _____ Raummeter
   - ☐ Solarthermieanlage — Anlagengröße: _____ m² Kollektorfläche
   - ☐ Photovoltaikanlage — Anlagengröße: _____ kWp

Bitte geben Sie den Fragebogen auch ab, wenn Sie derzeit **kein Interesse** zum Thema Gebäudesanierung oder klimafreundlicher Wärmeversorgung haben.

Die Daten werden ausschließlich zur Erstellung des Konzeptes genutzt, eine Weitergabe der Daten an Dritte (bspw. zu kommerziellen Zwecken) ist ausgeschlossen.

Abbildung 9-5: Fragebogen zu den Liegenschaften des Quartiers

Der Rücklauf war leider recht spärlich; dies steht im Gegensatz zu der sonst sehr regen Beteiligung bei den öffentlichen Veranstaltungen und der Resonanz für die kostenfreien Energieberatungen. Die Auswertung der ausgefüllten und abgegebenen Fragebögen zeigt Tabelle 9-1.

Tabelle 9-1: Auswertung der Fragebögen zu den Liegenschaften des Quartiers

ANZAHL RÜCKGESENDETER FRAGEBÖGEN	5
davon auswertbar	5
Durchschnittliches Baujahr Gebäude	1950
Häufigste Baualtersklasse	Alle unterschiedlich
Durchschnittliches Baujahr Heizung	1996
Energieträger	Gas: 4
	Heizöl: 1
Interesse an einer zentralen Wärmeversorgung (Anzahl)	ja: 4
	k. A.: 1

9.1.3.2 ENERGIEBERATUNG VOR ORT

Auf der Auftaktveranstaltung (vgl. Kapitel 13.1) wurden drei kostenfreie Energieberatungen für insbesondere Wohngebäude auf dem Niveau einer BAFA-vor-Ort-Beratung angeboten. Wegen des großen Interesses wurden diese verlost; wer dabei nicht zum Zuge kam erhielt einen vergünstigten Gebäude-Check durch die Energieexperten der Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein.

Abbildung 9-6: Verlosung Energieberatung vor Ort, Gebäude-Check Verbraucherzentrale

Die drei per Los gezogenen Wohngebäude wurden für die konkreten Mustersanierungen herangezogen und das Einverständnis zur Kurzdokumentation von den Eigentümern eingeholt. Es handelte sich hierbei um

- ein Reihenendhaus Baujahr 1994,
- ein Einfamilienhaus Baujahr 1964 und
- ein Mehrfamilienhaus Baujahr 1960.

Die Einsparpotenziale und Sanierungsoptionen werden in Kap. 10.1 näher betrachtet.

9.1.4 BEBAUUNG, NICHT-WOHNGEBÄUDE, ÖFFENTLICHE LIEGENSCHAFTEN

Hanerau- Hademarschen verfügt über einige öffentliche Liegenschaften, wobei die Theodor-Storm-Dörfergemeinschaftsschule als größter Energieverbraucher deutlich hervorsticht. Die in Tabelle 9-2 aufgeführten Liegenschaften befinden sich im oder in der Nähe des Quartiers und wurden näher untersucht.

Tabelle 9-2: Liste der näher untersuchten öffentlichen Liegenschaften

Liegenschaft
Kita, Hauptgebäude + Container
Museum
Amtsgebäude
Schule, Hauptgebäude + Sporthalle
Schule, Mensa
Jugendtreff-Container
Feuerwehr

Diese Gebäude wurden begangen; dabei wurden insbesondere die Heizungssituation betrachtet sowie augenfällige Merkmale der Wärmeschutzcharakteristik der Gebäudehülle aufgenommen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse diese Begehungen steckbriefartig dokumentiert, die Gebäude einem Benchmark-Vergleich für die Heizenergie unterzogen und Hinweise auf energetische Sanierungsoptionen gegeben.

Die jeweiligen Hinweise zum energetischen Sanierungspotential müssen im Einzelnen detailliert geprüft werden und es sollte ein mittel- bis langfristiger Sanierungsfahrplan erarbeitet werden.

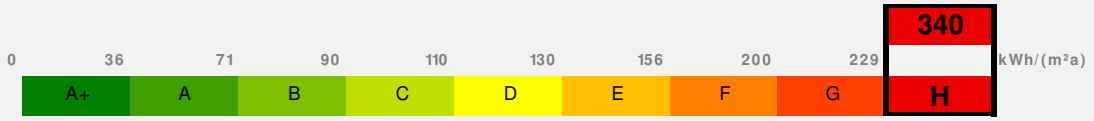
Unterstellt man die sukzessive Ertüchtigung abgängiger Bauteile bei den hier untersuchten Liegenschaften, wird eine Sanierungsrate bis 2040 ähnlich der Wohngebäude-Sanierung von ca. 1 % erreicht. Dies wird in erster Linie erreicht durch Austausch alter Heizkessel und hydraulische Optimierungen sowie kontinuierlichen Austausch abgängiger Fenster, nachträgliche Dämmung der Außenwand durch Kerndämmung bzw. Innendämmung (z. B. Museum) sowie Dämmung und Ertüchtigung abgängiger Flachdächer.

Die somit mögliche Entwicklung des zukünftigen Heizenergiebedarfs der hier untersuchten Liegenschaften zeigt Abbildung 9-7. Einen beträchtlichen Einfluss auf den zukünftigen Energieverbrauch hat die energetische Sanierung des Hauptgebäudes der Gemeinschaftsschule. Dies ist jedoch mit vergleichsweise sehr hohen Investitionen verbunden, da sinnvollerweise die gesamte Außenhülle saniert werden müsste. Hier eine Prognose abzugeben ist schwierig; die Sanierung wurde aber für den Zeitraum ab 2030 unterstellt.

Wird die Sanierung der Schule einbezogen, so wird bis 2040 eine Energieeinsparung von etwa 30 % erzielt, was einer Sanierungsrate von ca. 1,4 % p. a. entspricht.

Tabelle 9-3: Energetischer Steckbrief Kita

Kita (Hauptgeb. + Container)	
Gebäude, Baujahr:	1930er, Container 2014
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	715 m²
Wärmeerzeugung:	Erdgaskessel, 72 kW, 1995
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	245.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	340 kWh/m²



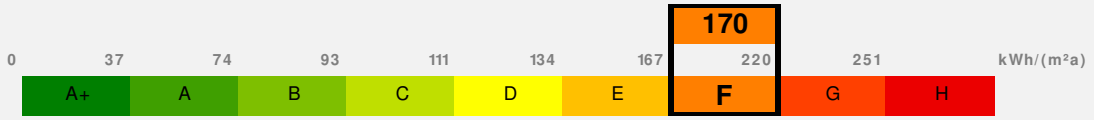
Merkmale:
- Massiver Rotsteinbau mit zweischaliger Außenwand; Spitzboden nicht ausgebaut
- Heizungskessel erneuerungsbedürftig, hydr. Abgleich, neue Hocheffizienzpumpen

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Prüfen, ob nachträgliche Kerndämmung Außenwand machbar ist: Luftspalt > 4 cm?
- Dämmung der obersten Geschossdecke > 200 mm?
- Erneuerung Kessel, hydr. Abgleich
- Lösungen finden für Ersatz der strombeheizten Container (temporärer Behelf!)

Tabelle 9-4: Energetischer Steckbrief Amtsgebäude

Amtsgebäude

Gebäude, Baujahr:	Ca. 1970, Anbau 1985
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	900 m²
Wärmeerzeugung:	Ölkessel, 80 kW, 1986
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	150.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	170 kWh/m²



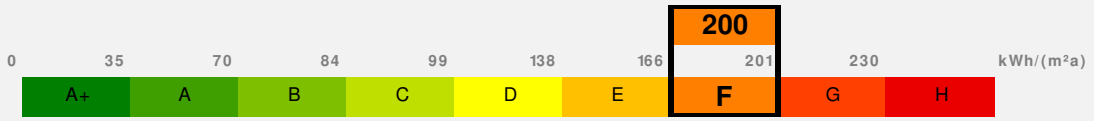
Merkmale:
- Zweischaliges Mauerwerk mit großer Süd-West-Fensterfassade
- Heizungskessel und hydraulische Anbindung mit Heizkreisverteiler abgängig

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Prüfen, ob nachträgliche Kerndämmung Außenwand machbar ist: Luftspalt > 4 cm?
- Wenn die Fenster älter als 30 Jahre sind, Austausch gegen 3-fach-wärmeschutzverglaste Elemente.
- Austausch Kessel und Verteilung gegen neue klimafreundliche Wärmeerzeugung: ggf. Nahwärme, Holzpelletkessel, Gas-Brennwerttherme.

Tabelle 9-5: Energetischer Steckbrief Museum

Museum

Gebäude, Baujahr:	1884
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	220 m²
Wärmeerzeugung:	Gastherme, 60 kW, 2016
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	45.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	200 kWh/m²

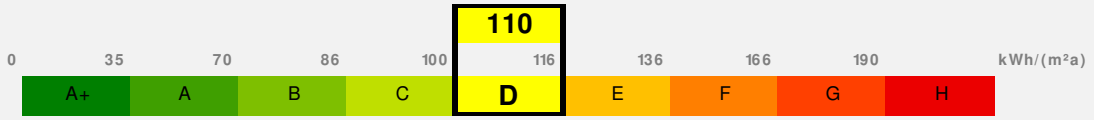


Merkmale:
- Erhaltenswerte Rotsteinfassade mit Zier- und Rollbändern
- Alte Fenster

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Prüfen, ob nachträgliche Kerndämmung Außenwand machbar ist: Luftspalt > 4 cm?
- Wenn die Fenster älter als 30 Jahre sind, Austausch gegen ensembleadäquate, stilsichernde neue Fenster als 3-fach-Wärmeschutzverglaste Elemente.
- Spitzbodendecke dämmen, wenn nicht 200 mm Dämmlage vorhanden ist.
- Überprüfen des hydraulischen Abgleichs und der Heizungsregelung, evtl. Optimierung.

Tabelle 9-6: Energetischer Steckbrief Schule - Hauptgebäude und Sporthalle

Schule, Hauptgebäude und Sporthalle	
Gebäude, Baujahr:	1970er
Bezugsfläche abgeschätzt)**:**	4.400 m² (ohne Mensa)
Wärmeerzeugung:	Gaskessel: I, 230 kW, 2001 II, 310 kW, 2001 BHKW: 22 kW_{th}, 2015
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	500.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	110 kWh/m²



Merkmale:

Hauptgebäude:

- Betonskelettbau „Kasseler Modell“; Große Fensterfassadenelemente
- Flachdach mit ca. 20 Oberlichtern
- Kesselanlage mit 18 Jahren am Ende der techn. Nutzungsdauer

Sporthalle:

- *Nicht näher untersucht*

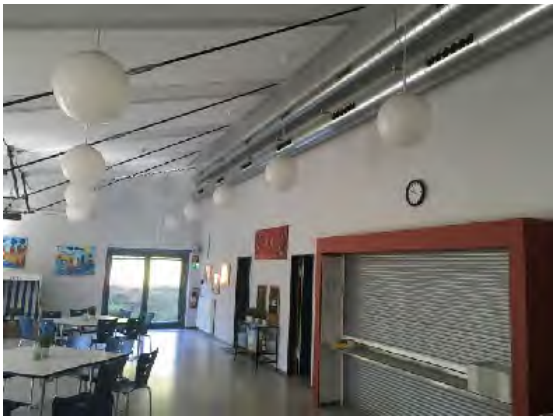
Hinweise zur energetischen Sanierung:

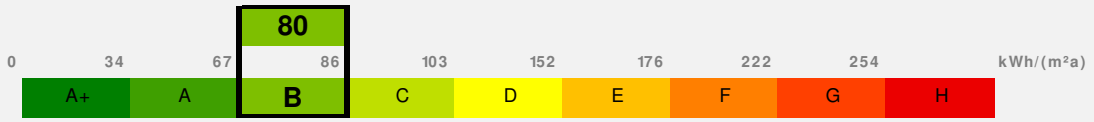
Hauptgebäude:

- Gebäudehülle kann (!) energetisch optimiert werden: bedeutet hohe Kosten, da die Fassadenelemente außerhalb der Wärmebrücken vollflächig neu gestaltet werden müssen.
- Überprüfen des hydraulischen Abgleichs und Optimierung der Heizungsregelung.
- Anschluss an klimafreundliche Nahwärme.
- Prüfen, ob Abdichtungen des Flachdachs und Oberlichter erneuerungsbedürftig sind: dann Neuaufbau mit Dämmlage > 200 mm; bei Feuchteproblemen Überprüfung ob eine Gefälledämmung sinnvoll ist.

Tabelle 9-7: Energetischer Steckbrief Schule - Mensa

Schule, Mensa	
Gebäude, Baujahr:	2008 / 2009
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	410 m²
Wärmeerzeugung:	El. Wärmepumpe 13 kW, 2008
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	33.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	80 kWh/m²



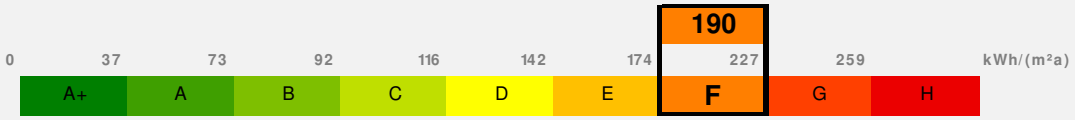


Merkmale:
- Neubauähnlich

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Überprüfung, ob Wärmepumpe die geplanten Jahresarbeitszahlen auch erreicht.
- Check, ob hydraulischer Abgleich und Regelung optimal eingestellt sind.

Tabelle 9-8: Energetischer Steckbrief Jugendtreff-Container

Jugendtreff-Container	
Gebäude, Baujahr:	k. A.
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	140 m²
Wärmeerzeugung:	k. A.
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	25.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	190 kWh/m²



Merkmale:

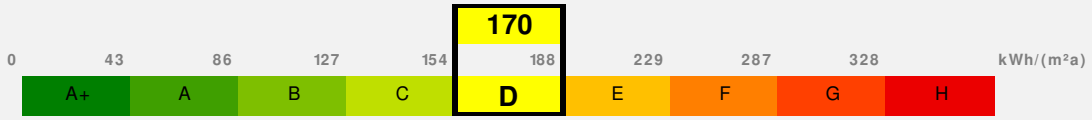
- Container

Hinweise zur energetischen Sanierung:

- Wenn dies zur Dauerlösung wird, Prüfen ob an dieser Stelle ein kostengünstiger Neubau als Holzständerbau errichtet werden kann. Ansonsten Kurzgutachten für eine detaillierte Sanierungsberatung erstellen lassen.

Tabelle 9-9: Energetischer Steckbrief Feuerwehrgebäude

Feuerwehr	
Gebäude, Baujahr:	ca. 1981
Bezugsfläche (abgeschätzt)**:**	600 m²
Wärmeerzeugung:	Gaskessel, 53 kW, 1985
Wärmeverbrauch (abgeschätzt)**:**	100.000 kWh
Spez. Verbrauch (abgeschätzt):	170 kWh/m²



Merkmale:
- Hallenbau mit 5 Toren und Rotsteinbau für Schulung, Einsatzplanung, Sozialräume

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Dacheindeckung abgängig; Neuaufbau mit erhöhter Dämmlage
- Austausch des ebenfalls abgängigen Gaskessels (34 Jahre alt), neue Verteilung, Hocheffizienzpumpen, hydraulischer Abgleich und optimierter Regelung

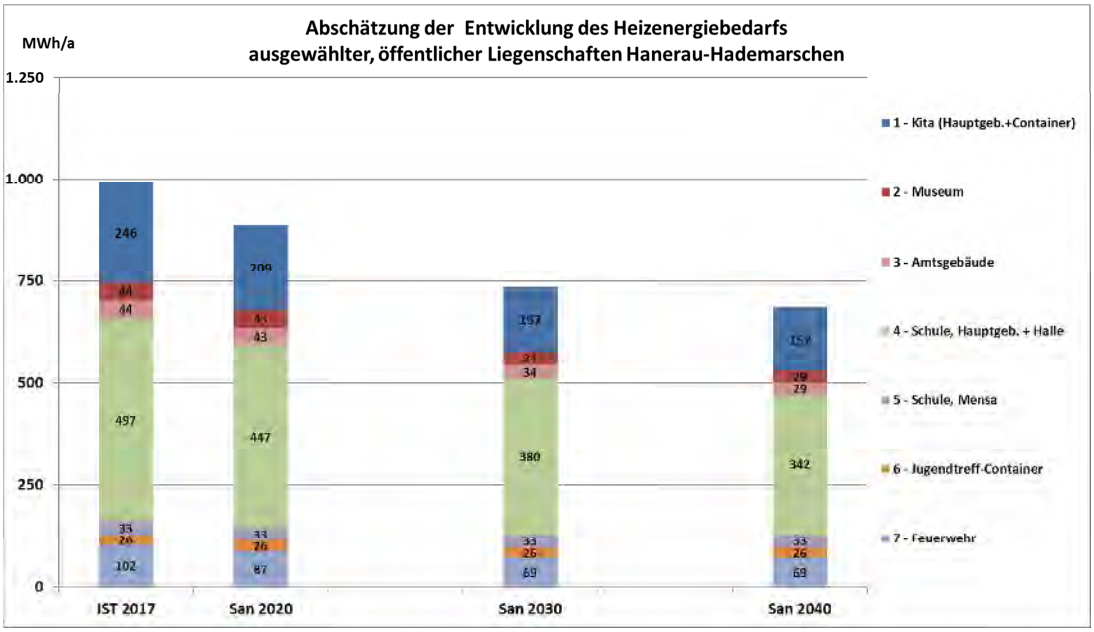


Abbildung 9-7: Mögliche Reduzierung des Heizenergiebedarfs öffentlicher Liegenschaften bis 2040

9.2 ENERGIE- UND CO_2-BILANZ IM QUARTIER

Auf Basis der gebäudebezogenen Wärmebedarfswerte und der ermittelten Energieträgerverteilung lassen sich die Energieverbrauchswerte für Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung ableiten und für das Quartier abschätzen (vgl. Abbildung 9-8).[2]

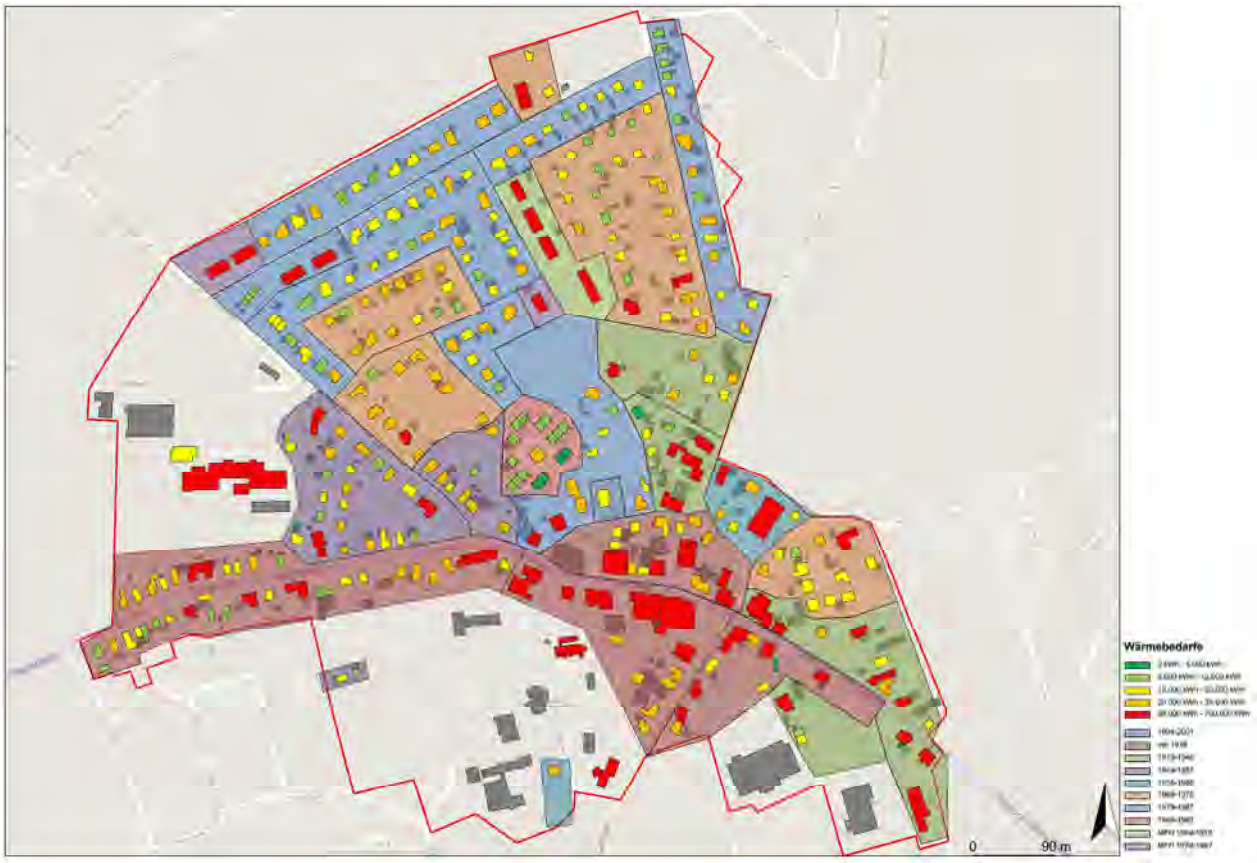


Abbildung 9-8: Wärmeatlas - Wärmebedarf & Baualtersklassen

[2] Die angegebenen Verbrauchswerte der privaten Liegenschaften wurden basierend auf den Flächen, dem üblichen Alter der Gebäude im jeweiligen Bauabschnitt u. ä. ermittelt. Es handelt sich also *nicht* um konkrete, personenbezogene Verbrauchsdaten. Die Werte führen für das *Gesamt*quartier zu realistischen Abschätzungen. Die *realen* Verbräuche *jedes einzelnen* Hauses hängen dagegen von individuellen Verbrauchsgewohnheiten (Anzahl der Personen, Intensität der Nutzung, gewünschte Raumtemperatur etc.) ab und können der Abbildung *nicht* entnommen werden.

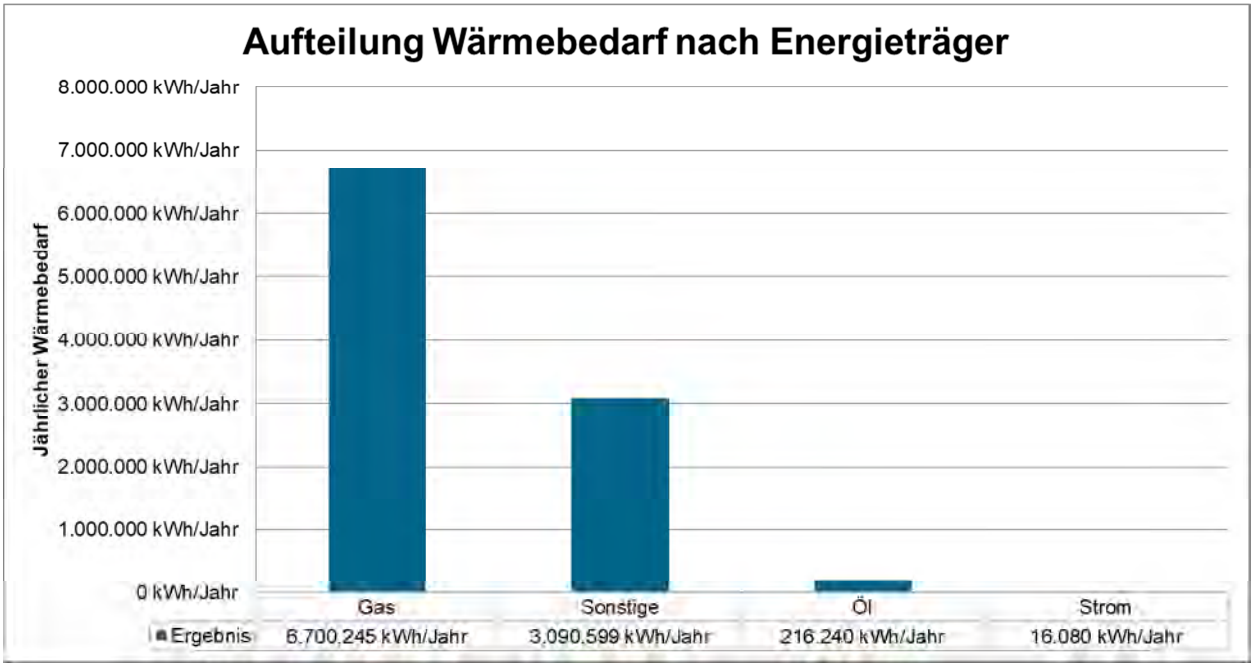


Abbildung 9-9: Aufteilung Wärmebedarf nach Energieträgern

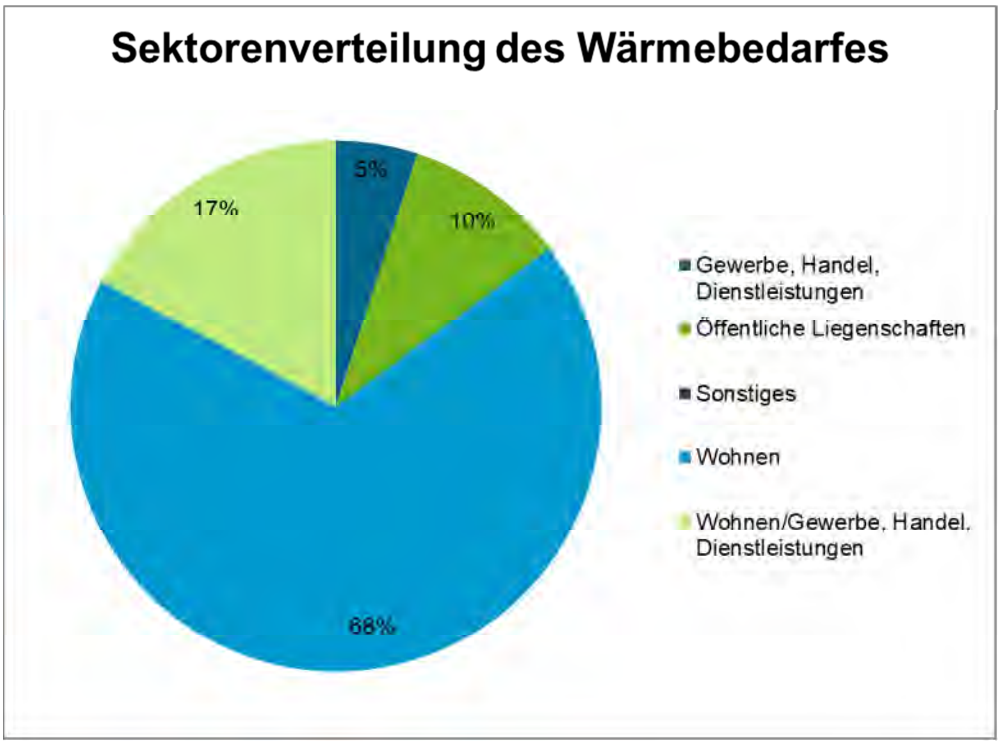


Abbildung 9-10: Sektorenverteilung des Wärmebedarfs

Die Bestimmung der CO_2-Emissionen des Quartiers erfolgt durch die Multiplikation der ermittelten Energieverbräuche mit den zugrunde gelegten spezifischen CO_2-Emissionsfaktoren. Tabelle 9-10 stellt die verwendeten CO_2-Emissionsfaktoren dar.

Tabelle 9-10: CO_2-Emissionsfaktoren

CO_2-EMISSIONSFAKTOREN	SPEZIFISCHE EMISSION	QUELLE
Erdgas	202 g/kWh	(DEHSt, 2006)
Heizöl	266 g/kWh	(DEHSt, 2006)
Strom (Strommix)	489 g/kWh	(UBA, Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2016, 2019)
Holzpellets	11 g/kWh	(UBA, Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger, 2018)

Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung [Mio. t]	CO_2-Emissions-faktor Strommix [g/kWh]	CO_2-Emissionsfaktor Strominlands-verbrauch [g/kWh]	Kohlendioxid-Emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelssaldo [Mio. t]
1990	366	764	763	367
1991	361	764	765	361
1992	345	730	738	341
1993	335	726	725	335
1994	335	722	718	337
1995	335	713	706	338
1996	336	685	692	332
1997	325	669	673	323
1998	329	671	672	329
1999	318	647	646	319
2000	327	644	640	329
2001	336	659	656	337
2002	338	654	646	342
2003	340	635	639	338
2004	334	615	618	332
2005	333	611	616	330
2006	340	604	623	329
2007	351	623	642	341
2008	330	584	605	318
2009	300	569	582	293
2010	315	559	574	307
2011	311	569	573	308
2012	322	574	596	310
2013	326	573	607	308
2014	313	559	595	294
2015	305	528	577	280
2016*	300	516	565	274
2017**	285	489	537	260

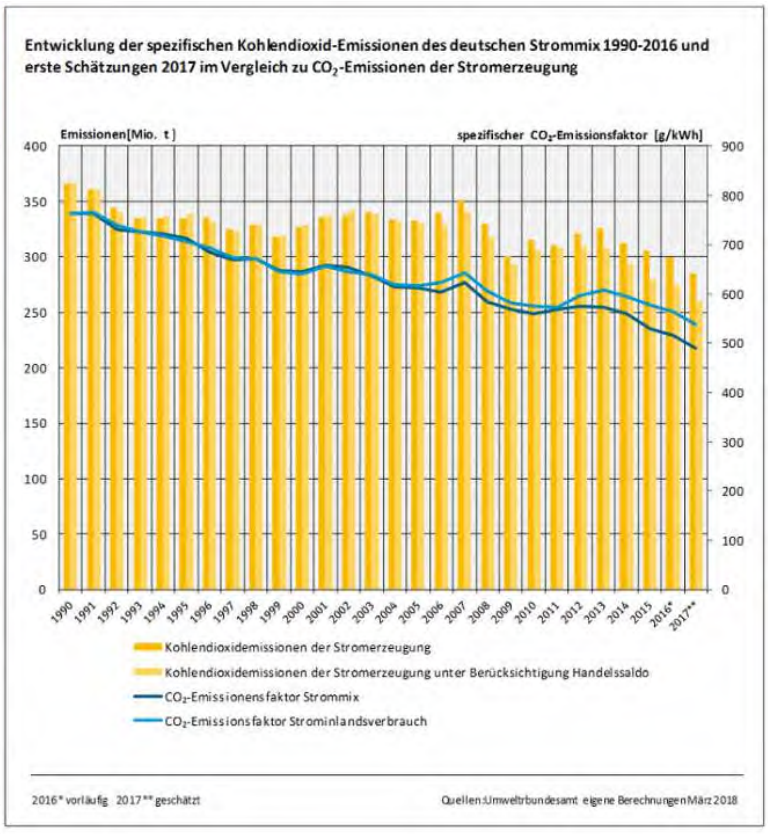


Abbildung 9-11: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes

Tabelle 9-11 stellt die aktuelle Bilanz des Endenergiebedarfs, der CO_2-Emissionen und des Primärenergiebedarfs des gesamten Quartiers dar.

Tabelle 9-11: Wärme-, Endenergie-, CO_2- und Primärenergiebilanz Gesamtquartier, Ist-Zustand

ENERGIETRÄGER	WÄRMEBEDARF [MWH]	ENDENERGIE-BEDARF [MWH]	CO_2-AUSSTOß [T]	PRIMÄRENERGIE-BEDARF [MWH]
Gas	6.700	7.445	1.504	8.189
Sonstige	3.091	3.636	967	4.000
Öl	216	254	68	280
Strom	16	34	17	61
Summe	**10.023**	**11.369**	**2.555**	**12.529**

9.3 ZUSAMMENFASSUNG BESTANDSAUFNAHME

Die Bestandsaufnahme hat gezeigt, dass trotz einer vollständigen Erschließung mit Erdgas noch ca. ein Drittel des Wärmebedarfs im Quartier mit Heizöl gedeckt wird. In der Schule werden, mit einer Wärmepumpe und einem Erdgas-BHKW, bereits innovative Wärmeerzeugungsanlagen eingesetzt. Der erstellte Wärmeatlas zeigt insbesondere entlang der (Haupt-) Straßen im Ortskern (Im Kloster) eine sehr hohe Wärmedichte, welche über eine zentrale Wärmeversorgungslösung gedeckt werden könnte.

Die energetische Untersuchung der öffentlichen Liegenschaften hat insbesondere bei der Schule, der Kita und dem Amtsgebäude ein hohes Sanierungspotential ergeben. Das Museum zeigt ebenfalls einen hohen Energiebedarf; hier ist auf Grund der erhaltenswerten Fassaden und Fenster Wert auf eine ensembleadäquate Umsetzung zu legen.

10 ENERGIE- UND CO_2-MINDERUNGSPOTENZIALE DURCH GEBÄUDESANIERUNG

Die energetische Gebäudesanierung bedient mehrere Zielstellungen zugleich: Einhergehend mit den notwendigen oder ohnehin stattfindenden Instandsetzungsmaßnahmen am und im Gebäude kann durch die Erfüllung neuester technischer Standards bei der Wärmedämmung oder Anlageneffizienz der Energieverbrauch und damit das Klimaschadgaspotenzial beträchtlich gesenkt werden.

Hierbei kann systematisch zwischen technischen und nutzerbezogenen Maßnahmen unterschieden werden:

- Technik:
  - Einsparung: Dämmung der Gebäudehülle, wärmeschützende Fenster und Türen
  - Effizienz: Verbessern der Anlagentechnik wie z. B. Einsatz effizienter Kessel, Pumpen, intelligente Regelung / Steuerung usw.
  - Erneuerbare Energie: Einsatz von Solarenergieanlagen, Wärmepumpen, Holzpelletkesseln etc.
- Nutzerverhalten:
  - Reduzieren der Raumtemperaturen
  - Optimiertes Lüftungsverhalten

Für den technischen Bereich bietet der Markt heute unzählige Produkte und verschiedenste Kombinationsmöglichkeiten, was dazu führt, dass dies für den Laien zunehmend unüberschaubar wird. Abhilfe ist hier dringend in Form umfassender und unabhängiger Beratung notwendig.

An dieser Stelle soll nicht versucht werden, einen auch nur kurzen Abriss über die technischen Optionen der Gebäudesanierung zu skizzieren; hierfür wurden auf den Veranstaltungen und in den bilateralen Beratungen die Fachbroschüre „Das Energie-Sparschein“ (UBA, Ratgeber: Das Energie-Sparschwein, 2013) verteilt sowie weitere Info-Flyer der Serie „Deutschland machts effizient“ zur Verfügung gestellt.

Im günstigsten Fall können umfassende Gebäudesanierungen z. B. bei Eigentümer- und Nutzungswechsel und bei vorliegendem Sanierungsstau wirtschaftlich umgesetzt werden. Hier greift insbesondere das KfW-Programm zur Erreichung eines Energieeffizienzhaus-Niveaus mit zinsgünstigen Darlehen und Tilgungszuschüssen bis zu 27,5 %.[3] Einzelmaßnahmen erhalten - wenn sie einen definierten technischen Mindeststandard erfüllen - einem Tilgungszuschuss von 7,5 %.

Im Folgenden werden anhand der durchgeführten Energieberatungen und daraus abgeleiteten Mustersanierungen konkrete Energie- und CO_2-Minderungspotenziale für Hanerau-Hademarschener Gebäude skizziert.

10.1 MUSTERSANIERUNGEN - ENERGIEBERATUNG VOR ORT

Der Schwerpunkt der Arbeiten zur Gebäudesanierung im privaten Wohngebäudebestand bestand in der Durchführung sowie Nachbereitung von drei kostenfreien Energieberatungen**.** Die

[3] KfW-Programm 151 Kredit: 0,75% eff. Zins, 10a Zinsbindung, bis zu 27,5% Tilgungszuschuss (KfW, Energieeffizient Sanieren - Kredit, 2018)

einzige Bedingung der kostenfreien Beratung, die mehrstündig im Objekt der Gewinnerinnen und Gewinner erfolgte, bestand in der Zusage, dass die Maßnahmen zur Gebäudesanierung sowie ein Ansichtsfoto und einige energierelevante Kenngrößen veröffentlicht werden dürfen.

Mit den realen Gebäudedaten und Energieverbräuchen konnten so typische Mustersanierungskonzepte im Hanerau-Hademarschener Quartier erstellt werden. Die Maßnahmen wurden anhand der Potentialanalyse bei der Gebäudebegehung und im Gespräch mit den Eigentümern ermittelt, diskutiert und ergebnisorientiert zusammengefasst und übergeben.

Es wurden drei Energieberatungen mit Gesprächen und Begehungen vor Ort durchgeführt. Die Sanierungsempfehlungen richten sich nach der Wärmeschutzqualität und dem Zustand der technischen Anlagen. Hierbei ergibt sich ein heterogenes Bild. Während ein Gebäude ein recht frühes Baujahr aufweist, besteht ein anderes Gebäude aus Altbau und ergänzenden Um- und Anbauten. Dementsprechend sind die energetischen Sanierungspotenzials recht unterschiedlich.

10.1.1.1 MUSTERSANIERUNGSKONZEPT GEBÄUDE A

Bei Gebäude A handelt es sich um ein Reihenendhaus in massiver Bauweise.

Gebäudetyp	EFH / RH
Baujahr	1994
Heizenergiebedarf	165 kWh/(m²·a)

Abbildung 10-1: Gebäude A, Ausgangsbasis

Die Sanierungsvorschläge wurden mit den Eigentümern besprochen und deren Wünsche und eigene Anregungen wurden aufgenommen. Eine schrittweise Sanierung wird in Tabelle 10-1 beschrieben. Mit diesen Maßnahmen lassen sich der Endenergiebedarf und die CO_2-Emissionen sukzessive um mehr als 50 % verringern (vgl. Abbildung 10-2).

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen zeigt auf, dass bei Betrachtung der energetischen Mehrkosten und einer unterstellten Energiepreissteigerung bei dem fossilen Energieträger Erdgas von 5 %/a eine Rentierlichkeit gegeben ist (Tabelle 10-2).

Tabelle 10-1: Gebäude A, Sanierungsvorschläge

SANIERUNGSVARIANTE	
1	nachträgliche Kerndämmung der Außenwand
2	Ersatz der Fenster durch 3-fach Wärmeschutzverglaste Fenster mit hochwärmedämmendem Rahmen
3	neue Brennwert-Therme plus solare Warmwasser-Bereitung auf Basis: erweiterbare Röhrenkollektoren
4	Dacheindeckung plus neue Dämmung, Aufdopplung des Giebels plus Dämmung
5	Erweiterung der Solaranlage zur Heizungsunterstützung

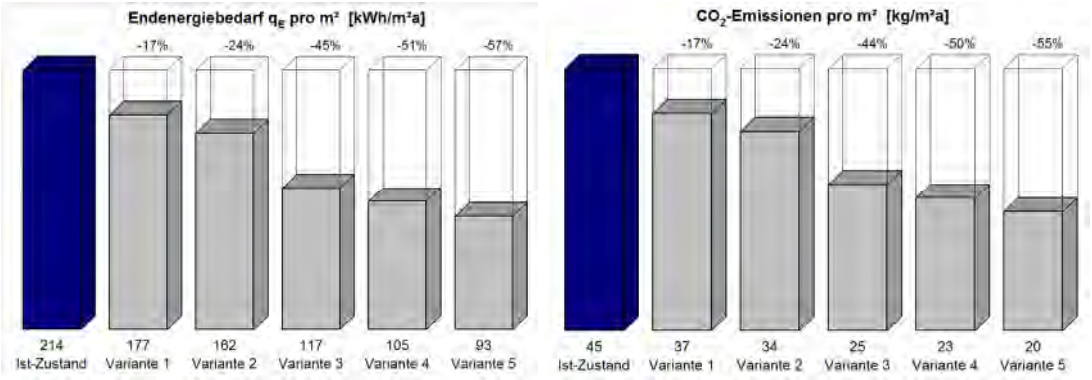


Abbildung 10-2: Gebäude A, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung

Ein Entscheidungskriterium für die Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen ist das Verhältnis von eingesparten Kosten und Investitionen; hier die energetischen Mehrkosten. Da der notwendige Instandsetzungsbedarf keine energetische Maßnahmen ist sondern eine ohnehin anstehende, werden lediglich die energetische Effekte auslösenden Zusatzkosten betrachtet.

Die Rentierlichkeit der einzelnen Varianten mit den jeweils erreichbaren CO_2-Minderungen zeigt Abbildung 10-3; hier wurden die kumulierten Energiekosteneinsparungen über 20 Jahre den energetischen Mehrkosten gegenübergestellt.

Tabelle 10-2: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude A, Sanierungsvorschläge

Kriterien		Sanierungsvariante 1	2	3	4	5
Endenergie-Einsparung (Heizenergie) [kWh/a]		3.900	5.400	10.100	11.300	12.600
CO_2-Einsparung [t/a]		0,9	1,3	2,4	2,7	3,0
Energiekosten-einsparung [€/a]	heute [1]	200	270	510	570	630
	gemittelt [2]	340	470	880	980	1.090
Investitionskosten [3] [€]		3.500	21.800	33.800	57.800	67.800
Energetische Mehrkosten [4] [€]		3.500	6.200	11.600	16.400	26.400
KfW: Tilg.-Zuschuss, Zinsvorteil, BAFA-Förderung) [5] [€]		470	3.000	5.100	8.300	11.700
Kapitalkosten [6] [€/a]		150	940	1.440	2.490	2.820
Kapitalwert [7] [€]	statisch	1.000	13.000	19.000	38.000	44.000
Amortisationszeit Voll-kosten [a]	statisch [8]	15	70	56	87	89
	dynamisch [9]	9	40	33	51	52
Amortisationszeit ener-getische Mehrkosten [a]	statisch [8]	15	12	13	14	23
	dynamisch [9]	9	7	7	8	14

1 Heutige Kosten, ohne Betrachtung der Energiepreissteigerung
2 Durchschnittliche jährliche Kosten bei der angesetzten Energiepreissteigerung (Betrachtungszeitraum: 20 Jahre)
3 Auf Basis spezifischer Kosten bezogen auf die Bauteilfläche, Anlagentechnik (Literatur, Typologien, eigene Annahmen)
4 Abzüglich sowieso anstehender Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen (Sowiesokosten, eigene Annahmen)
5 Förderzuschüsse: KfW-218: Tilgungszuschuss + barwertiger Zinsvorteil gegenüber Marktdarlehn (ca. 1%/a eff.), BAFA-Förderung
6 Kapitalzins: 0,05% (KfW-Kredit), Betrachtungszeitraum: 20 Jahre, Bezug: Investitionskosten abzügl. Förder-zuschuss
7 Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen
8 Investitionskosten abzüglich Förderzuschuss dividiert durch die Energiekosteneinsparung (heutige Kosten)
9 Inklusive Kapitalkostenbetrachtung und Energiepreissteigerung

In Anlehnung an die Energieberatung vor Ort gemäß (BAFA) wurde ein individueller Sanierungs-fahrplan erstellt (vgl. Abbildung 10-4).

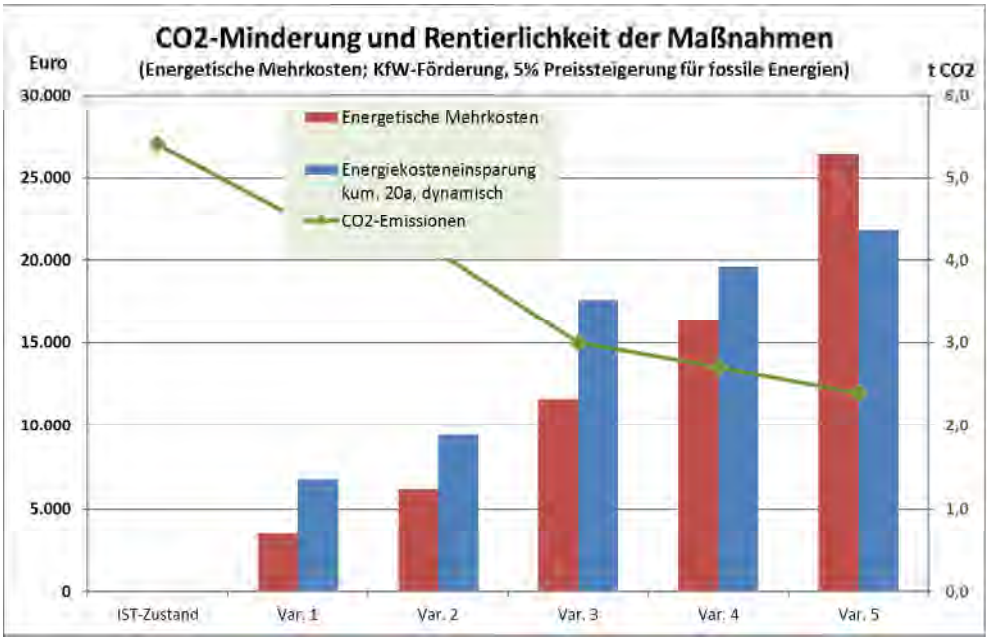


Abbildung 10-3: Gebäude A, Rentierlichkeit der Sanierungsvarianten und resultierende CO_2-Minderungen

Abbildung 10-4: Gebäude A, Übersicht individueller Sanierungsfahrplan

10.1.2 MUSTERSANIERUNGSKONZEPT GEBÄUDE B

Bei Gebäude B handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus den 60er Jahren in massiver Rotsteinbauweise mit einem neuen Anbau, der den Wohnraum im EG vergrößert.

Gebäudetyp	EFH
Baujahr	1964
Heizenergiebedarf	200 kWh/(m²·a)

Abbildung 10-5: Gebäude B, Ausgangsbasis

Die erarbeiteten Sanierungsvorschläge wurden mit der Eigentümerin und dem Eigentümer besprochen, Wünsche und eigene Anregungen wurden aufgenommen. Eine mögliche energetische und klimafreundliche Modernisierung beschreibt Tabelle 10-3.

Tabelle 10-3: Gebäude B, Sanierungsvorschläge

SANIERUNGSVARIANTE	
1	nachträgliche Kerndämmung der Außenwand des Haupthauses
2	Kellerdeckendämmung
3	Ersatz der bestehenden Erdgas-Brennwert-Therme durch einen Holzscheitkessel mit Anbindung der bestehenden Solarwärmeanlage
4	Neue Wärmeschutzverglaste Fenster im Hauptgebäude

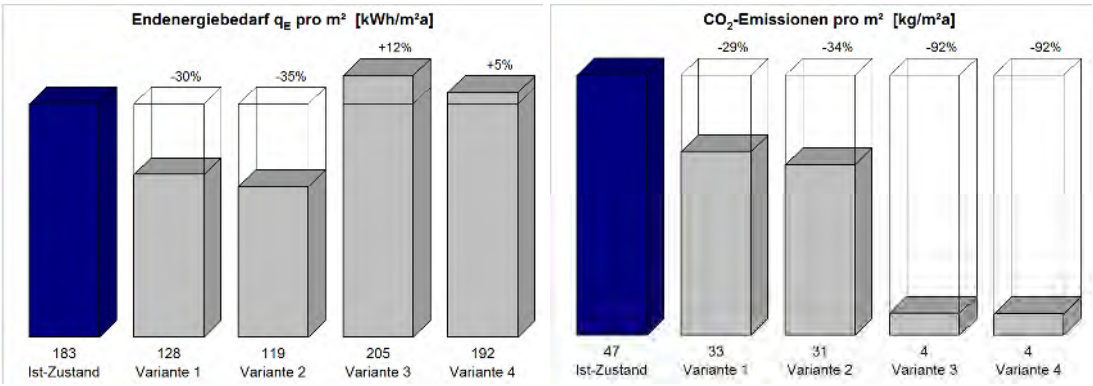


Abbildung 10-6: Gebäude B, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung

Mit diesen Maßnahmen lässt sich aufgrund des schlechteren Nutzungsgrades des Scheitholzkessels gegenüber dem bestehenden Brennwertkessel keine Endenergie einsparen, jedoch werden die CO_2-Emissionen drastisch reduziert. Da günstige Bezugsmöglichkeiten für den Scheitholzbedarf bestehen, können auch die Heizkosten gesenkt werden.

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen zeigt auf, dass bei Betrachtung der energetischen Mehrkosten und einer unterstellten Energiepreissteigerung bei dem fossilen Energieträger Erdgas von 5 %/a eine Rentierlichkeit gegeben ist.

Tabelle 10-4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude B, Sanierungsvorschläge

Kriterien		Sanierungsvariante 1	2	3	4	5
Endenergie-Einsparung (Heizenergie) [kWh/a]		6.500	7.600	-1.900	-300	
CO_2-Einsparung [t/a]		1,6	1,9	4,3	4,4	
Energiekosten-einsparung [€/a]	heute [1]	330	380	410	460	
	gemittelt [2]	560	660	1.010	1.070	
Investitionskosten [3] [€]		5.800	8.000	18.000	25.000	
Energetische Mehrkosten [4] [€]		5.800	8.000	13.000	20.000	
KfW: Tilg.-Zuschuss, Zinsvorteil, BAFA-Förderung) [5] [€]		780	1.100	4.400	5.400	
Kapitalkosten [6] [€/a]		250	350	680	990	
Kapitalwert [7] [€]	statisch	2.000	1.000	-5.000	-10.000	
Amortisationszeit Voll-kosten [a]	statisch [8]	15	18	33	43	
	dynamisch [9]	9	11	14	18	
Amortisationszeit ener-getische Mehrkosten [a]	statisch [8]	15	18	21	32	
	dynamisch [9]	9	11	9	14	

1 Heutige Kosten, ohne Betrachtung der Energiepreissteigerung
2 Durchschnittliche jährliche Kosten bei der angesetzten Energiepreissteigerung (Betrachtungszeitraum: 20 Jahre)
3 Auf Basis spezifischer Kosten bezogen auf die Bauteilfläche, Anlagentechnik (Literatur, Typologien, eigene Annahmen)
4 Abzüglich sowieso anstehender Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen (Sowiesokosten, eigene Annahmen)
5 Förderzuschüsse: KfW-218: Tilgungszuschuss + barwertiger Zinsvorteil gegenüber Marktdarlehn (ca. 1%/a eff.), BAFA-Förderung
6 Kapitalzins: 0,05% (KfW-Kredit), Betrachtungszeitraum: 20 Jahre, Bezug: Investitionskosten abzügl. Förder-zuschuss
7 Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen
8 Investitionskosten abzüglich Förderzuschuss dividiert durch die Energiekosteneinsparung (heutige Kosten)
9 Inklusive Kapitalkostenbetrachtung und Energiepreissteigerung

Die Rentierlichkeit der einzelnen Varianten mit den jeweils erreichbaren CO_2-Minderungen zeigt Abbildung 10-7; hier wurden die kumulierten Energiekosteneinsaprungen über 20 Jahre den energetischen Mehrkosten gegenübergestellt.

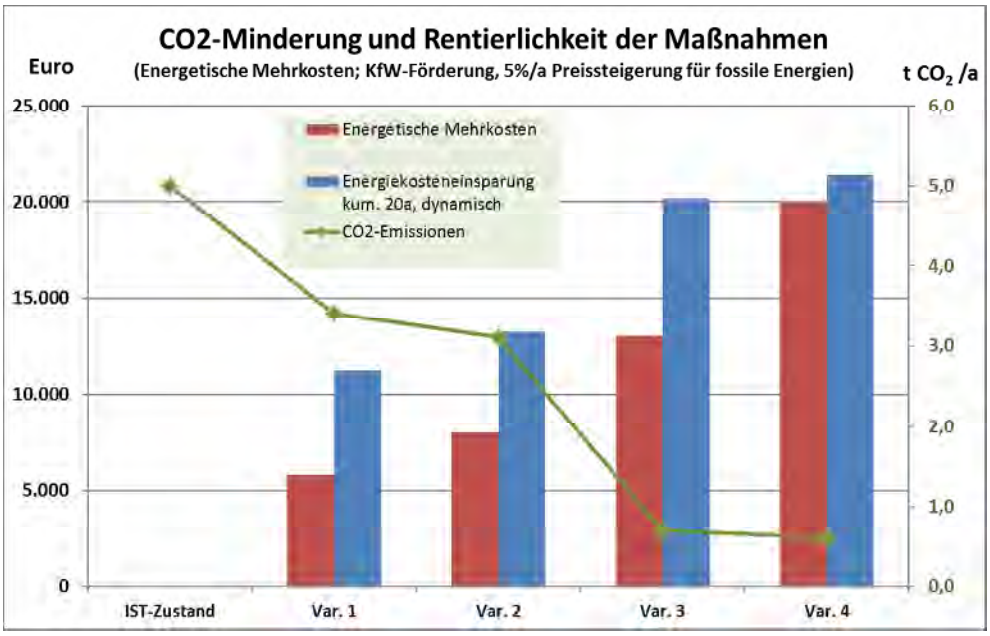


Abbildung 10-7: Gebäude B, Rentierlichkeit der Varianten und CO_2-Minderungen

10.1.3 MUSTERSANIERUNGSKONZEPT GEBÄUDE C

Bei Gebäude C handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus, welches als Haupthaus aus den 20er Jahren mit Erweiterungen in den 50er, 70er und 80er Jahren sukzessiver vergrößert wurde.

Abbildung 10-8: Gebäude C, Ausgangsbasis

Gebäudetyp	MFH
Baujahr	ursprgl. 1900, laufend umgebaut und erweitert bis 2004
Heizenergiebedarf	143 kWh/(m²·a)

Die möglichen Sanierungsvarianten wurden mit dem Eigentümer besprochen und dessen Wünsche und Anregungen aufgenommen. Eine schrittweise Sanierung beschreibt Tabelle 10-5.

Tabelle 10-5: Gebäude C, Sanierungsvorschläge

SANIERUNGSVARIANTE	
1	Sanierung des Flachdachs des Anbaus mit neuem Gefälledach und zusätzlicher Dämmung
2	Außenwand Haupthaus und Anbau: Dämmlage mit neuer Fassadeverkleidung
3	Erneuerung der Heizungsanlage und Einabu Holzpelletkessel

Mit den Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes am Flachdach des Anbaus und an der Außenwand des Haupthauses und des Anbaus lässt sich der Endenergiebedarf um ca. ein Viertel senken. Mit dem Einsatz der klimafreundlichen Wärmeversorgung auf Basis eines Holzpelletkessels kann der CO_2-Ausstoß um ca. 80 % vermindert werden.

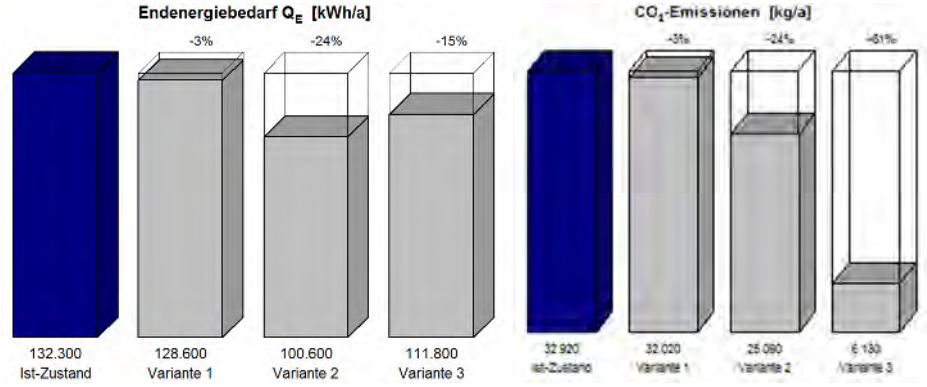


Abbildung 10-9: Gebäude C, Bilanzierungsergebnisse Mustersanierung

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen zeigt auf, dass bei Betrachtung der energetischen Mehrkosten und einer unterstellten Energiepreissteigerung bei dem fossilen Energieträger Erdgas von 5 %/a eine Rentierlichkeit kaum gegeben ist.

Die Gegenüberstellung von Aufwand (energetische Mehrkosten) und Nutzen (Energiekosteneinsparung) der einzelnen Varianten sowie die jeweils erreichbaren CO_2-Minderungen zeigt Abbildung 10-10; hier wurden die kumulierten Energiekosteneinsaprungen über 20 Jahre den energetischen Mehrkosten gegenübergestellt.

Hier wird deutlich, dass die Aufwendungen für die Fassadensanierung durch die Vorhangfassade mit erheblichen energetsichen Mehrkosten verbunden ist, die durch die 20-jährige Energiekosteneinsparung leider nicht vollständig refinanzierbar ist.

Tabelle 10-6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Gebäude C, Sanierungsvorschläge

Kriterien		Sanierungsvariante 1	2	3	4	5
Endenergie-Einsparung (Heizenergie) [kWh/a]		3.700	31.700	20.500		
CO_2-Einsparung [t/a]		0,9	7,8	27,7		
Energiekosten-einsparung [€/a]	heute [1]	190	1.590	1.030		
	gemittelt [2]	320	2.750	3.740		
Investitionskosten [3] [€]		54.500	169.600	204.600		
Energetische Mehrkosten [4] [€]		10.900	103.000	120.500		
KfW: Tilg.-Zuschuss, Zinsvorteil, BAFA-Förderung) [5] [€]		7.380	23.000	32.500		
Kapitalkosten [6] [€/a]		2.370	7.370	8.650		
Kapitalwert [7] [€]	statisch	-43.000	-115.000	-152.000		
Amortisationszeit Voll-kosten [a]	statisch [8]	248	92	167		
	dynamisch [9]	148	54	46		
Amortisationszeit ener-getische Mehrkosten [a]	statisch [8]	19	50	85		
	dynamisch [9]	11	29	24		

1 Heutige Kosten, ohne Betrachtung der Energiepreissteigerung
2 Durchschnittliche jährliche Kosten bei der angesetzten Energiepreissteigerung (Betrachtungszeitraum: 20 Jahre)
3 Auf Basis spezifischer Kosten bezogen auf die Bauteilfläche, Anlagentechnik (Literatur, Typologien, eigene Annahmen)
4 Abzüglich sowieso anstehender Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen (Sowiesokosten, eigene Annahmen)
5 Förderzuschüsse: KfW-218: Tilgungszuschuss + barwertiger Zinsvorteil gegenüber Marktdarlehn (ca. 1%/a eff.), BAFA-Förderung
6 Kapitalzins: 0,05% (KfW-Kredit), Betrachtungszeitraum: 20 Jahre, Bezug: Investitionskosten abzügl. Förder-zuschuss
7 Summe der Barwerte aller durch diese Investition verursachten Zahlungen
8 Investitionskosten abzüglich Förderzuschuss dividiert durch die Energiekosteneinsparung (heutige Kosten)
9 Inklusive Kapitalkostenbetrachtung und Energiepreissteigerung

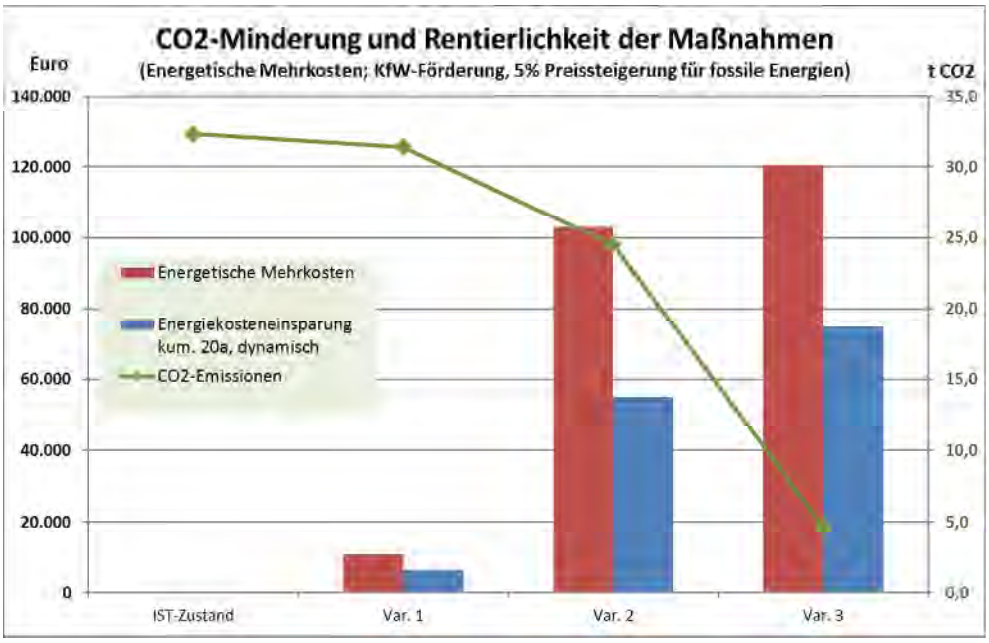
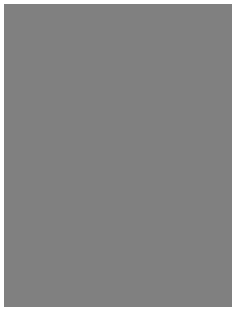
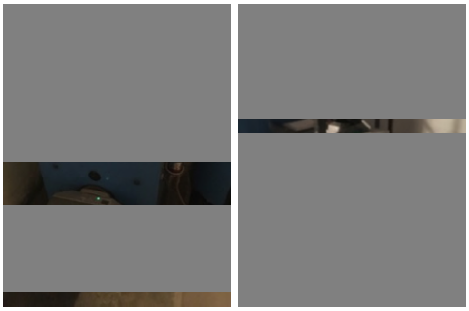


Abbildung 10-10: Gebäude C, Rentierlichkeit der Varianten und CO_2-Minderungen

10.1.4 KURZBERATUNGEN ZUR GEBÄUDESANIERUNG

Im Rahmen der prozesshaften Unterstützung der Akteure und Interessierten für eine umsetzungsorientierte Gebäudesanierung vor Ort wurden weitere Energieberatungen mit Begehungen durchgeführt, die nachfolgend kurz skizziert sind.

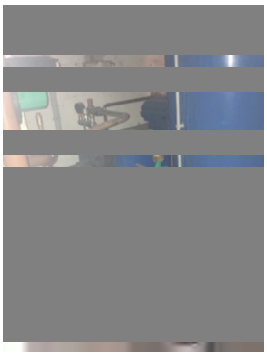
Tabelle 10-7: Kurzberatung Gebäudesanierung I

Mehrfamilienhaus Bussardweg; Geb. I		
		
Luftbild	Außenwand	Heizungstechnik

Merkmale:
- Massiver Rotsteinbau mit zweischaliger Außenwand; Spitzboden nicht ausgebaut.
- Fenster sind relativ neu saniert.
- Heizungskessel erneuerungsbedürftig, neue Hocheffizienzpumpe.

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Nachträgliche Kerndämmung Außenwand
- Zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke
- Dämmung Kellerdecke
- Hydraulischer Abgleich
- Evtl. Anschluss an zukünftiges klimafreundliches Nahwärmenetz, Alternativ: Holzpelletkessel-Objektverbund mit Nachbargebäude

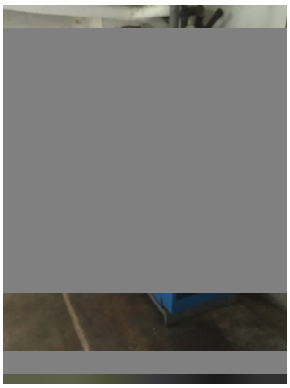
Tabelle 10-8: Kurzberatung Gebäudesanierung II

Mehrfamilienhaus Bussardweg; Geb. II	
	
Luftbild	Heizungstechnik

Merkmale:
- Gebäude baugleich zu Geb. I (zweischaliger Außenwand; Spitzboden nicht ausgebaut)
- Fenster sind relativ neu saniert
- Heizungskessel erneuerungsbedürftig

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Nachträgliche Kerndämmung Außenwand
- Zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke
- Dämmung Kellerdecke
- Hydraulischer Abgleich
- Evtl. Anschluss an zukünftiges klimafreundliches Nahwärmenetz, Alternativ: Holzpelletkessel-Objektverbund mit Nachbargebäude

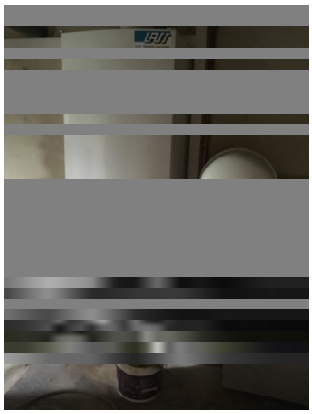
Tabelle 10-9: Kurzberatung Gebäudesanierung III

Mehrfamilienhaus Falkenweg; Geb. III		
		
Luftbild	Außenansicht	Heizungstechnik

Merkmale:
- Massiver Rotsteinbau aus den 70-er Jahren, Loggien, Dachboden nicht ausgebaut
- Fenster sind relativ neu saniert
- Heizungskessel erneuerungsbedürftig

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Nachträgliche Kerndämmung Außenwand
- Zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke
- Dämmung Kellerdecke
- Hydraulischer Abgleich
- Evtl. Anschluss an zukünftiges klimafreundliches Nahwärmenetz, Alternativ: Holzpelletkessel-Objektverbund mit Nachbargebäude oder Erdgas-Brennwerttherme

Tabelle 10-10: Kurzberatung Gebäudesanierung IV

Mehrfamilienhaus Sperberweg; Geb. IV		
		
Luftbild	Außenansicht	Heizungstechnik

Merkmale:
- Massiver Rotsteinbau aus den 60er Jahren, Dachboden nicht ausgebaut
- Fenster sind relativ neu saniert
- Heizungskessel ist erneuert; Bj. 2017

Hinweise zur energetischen Sanierung:
- Nachträgliche Kerndämmung Außenwand prüfen ob Luftspalt > 4cm ist. Alternativ: Außenwanddämmung mit Sparverblender
- Zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke
- Dämmung Kellerdecke
- Den bei Einbau der neuen Therme durchgeführten hydraulischer Abgleich überprüfen

Weitere Objekte wurden im Zentrum (Im Kloster) begangen und beraten. Hierbei handelte es sich um gemischt genutzte Objekte mit Wohnen und Einzelhandel.

Als Fazit kann für die Kurzberatungen festgehalten werden, dass großer Bedarf an Fachinformationen zur energetischen Gebäudesanierung besteht. Die Bereitschaft zu umfassenden Investitionen ist jedoch zurückhaltend und im Vordergrund stehen Erhaltungs- und notwendige Instandsetzungsmaßnahmen. Hier müsste zukünftig die Vermittlung der Sinnhaftigkeit einer Kopplung von sowieso anstehenden baulichen Aktivitäten mit energetischen Effizienz- und Sparmaßnahmen im Vordergrund der Beratung zur Umsetzung des Quartierskonzeptes im Rahmen des Sanierungsmanagements stehen.

10.1.5 ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISSE DER MUSTERSANIERUNGSKONZEPTE

Trotz umfassender energetischer Maßnahmen, die z. T. weit über die Wünsche und Ziele der Eigentümerinnen und Eigentümer hinausgingen, konnte kein Effizienzhaus-Niveau der KfW-Förderprogramms 151 erreicht werden. Die Ursache ist in der bautypischen, relativ schlechten Gebäudedämmqualität der Bestandsbauten zu sehen. Nicht unterkellerte Gebäude können mit vertretbarem Aufwand keine Verbesserung der Wärmeschutzqualität der Sohle erzielen. Dabei wurde der Aspekt der Wärmebrückenberechnung nicht differenziert verfolgt, sondern pauschal mit einem Aufschlag von 0,10 W/(m²·K) berücksichtigt. Weitere Hemmnisse sind z. B. die in den letzten Jahren erfolgte Ertüchtigung von Fenstern, die den heutigen energetischen Förderanfor-

derungen nicht entsprechen. Eine Erneuerung von Bauteilen, die erst einige Jahre alt sind, verbietet sich auch aus Gründen der Nachhaltigkeit.

Einige zentrale Aspekte wurden bei den Sanierungsgesprächen als Hemmnis bei der Umsetzung augenscheinlich sinnvoller Maßnahmen insbesondere an der Gebäudehülle fast immer genannt:

- Die Kosten für ambitionierte, über die EnEV hinausgehende Gebäudesanierungsmaßnahmen würden sich nicht rechnen.
- Die Gesamtkosten seien zu hoch; eine Differenzierung zwischen ohnehin anstehenden Instandsetzungsarbeiten und sogenannten energetischen Mehrkosten ist den Eigentümern nicht vertraut; es werden die Vollkosten durch die prognostizierten Energiekosteneinsparungen dividiert.
- Das Verständnis der kontinuierlichen Instandsetzung abgängiger Bauteile und die Bereitschaft, hierfür eine finanzielle Rücklage zu bilden, um die Liquidität bei der anstehenden Umsetzung zu schonen, bestehen nicht.

In den Energieberatungsgesprächen wurde auf die Problematik der „sowieso“-Kosten anhand eines Beispiels der Dachsanierung für ein Einfamilienhaus eingegangen und die „energetischen Mehrkosten“ dargestellt (vgl. Abbildung 10-11).

Abbildung 10-11: Unterscheidung Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

Das derzeitig niedrige Energiepreisniveau ist das größte Hemmnis bei der Sanierungsumsetzung. Auch die bereits erwähnten beträchtlichen Fördermöglichkeiten (insbesondere KfW-Programme 430 und 151) verhelfen nicht zu den Umsetzungsschritten, die ökologisch opportun wären.

Die Bereitschaft zur forcierten Gebäudesanierung angesichts derzeitiger günstiger Umstände, wie

- den sehr günstigen Kapitalmarktzinsen und den beträchtlichen Förderzuwendungen,
- dem Wissen, dass die Preise fossiler Energieträger früher oder später wieder steigen werden und
- der Entlastung durch geringere Energiekosten und damit langfristig mehr Liquidität,

ist leider nicht erkennbar.

Im Rahmen der Beratung und der Entwicklung der Mustersanierungskonzepte wurde auf diese Rahmenbedingungen verstärkt eingegangen: Ausweisen der energetischen Mehrkosten gegenüber den sowieso anstehenden Instandsetzungskosten sowie die Ermittlung des sogenannten Förderbarwertes aufgrund der Zinsvergünstigung und evtl. erreichbarer Tilgungszuschüsse. Dies wurde exemplarisch für die Verbesserung der Wärmeschutzgüte der Gebäudehülle abgeschätzt; weiterhin die Amortisationszeit als plakatives Instrument der Rentierlichkeit bestimmt.

Die möglichen Energieeinsparungen der drei untersuchten Gebäude reichen von ca. 35 % bis zu 55 %; die CO_2-Minderungen bis zu 90 % bei Einsatz von Solarenergie und Holzscheitkessel.

10.2 EINSPARPOTENTIAL UND SANIERUNGSRATE

Das Einsparpotential im Gebäudebestand für das Quartier lässt sich nur abschätzen; daher ist es sinnvoll, die Bandbreite der möglichen Entwicklung im Rahmen zweier unterschiedlicher Szenarien abzubilden. Das sogenannte Referenzszenario orientiert sich an der bundesdeutschen Entwicklung der allgemeinen Sanierungsrate von 1 % pro Jahr (vgl. Abbildung 10-12).[4]

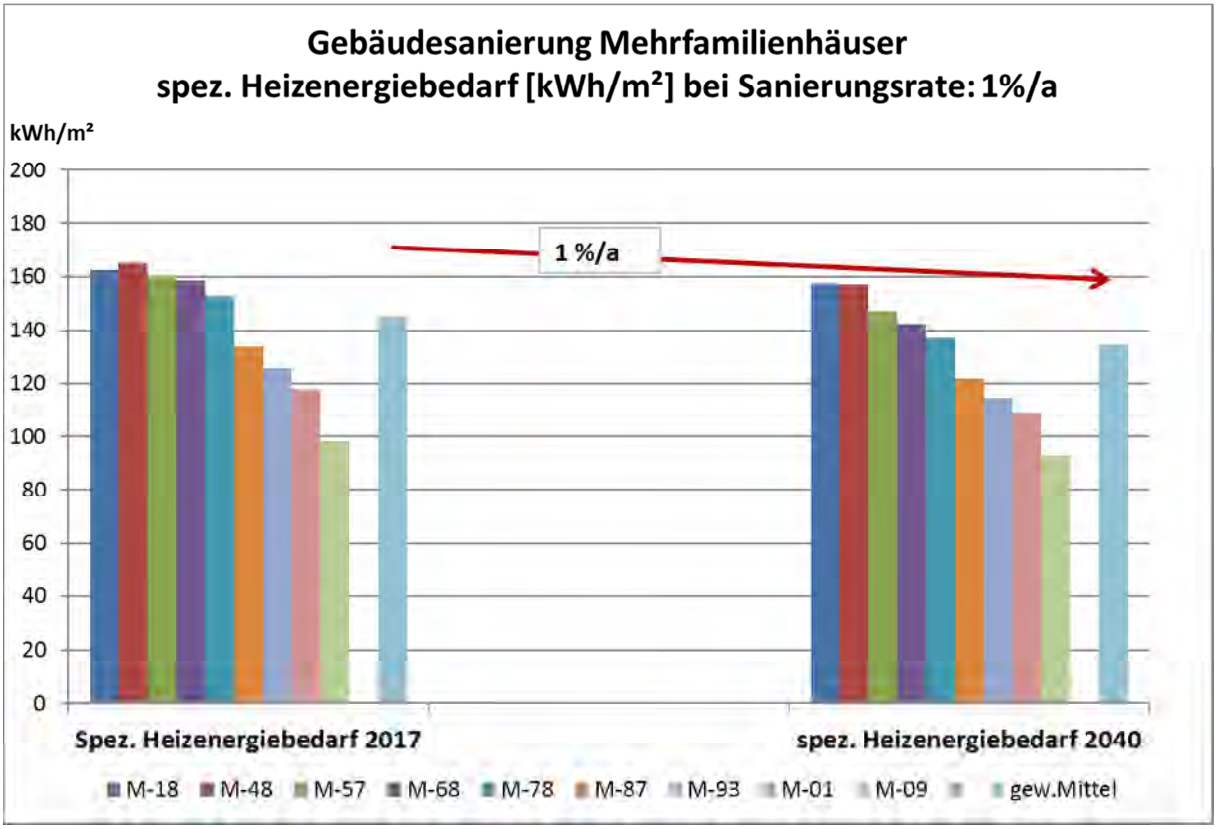


Abbildung 10-12: Sanierungsrate 1 % und zukünftiger Heizenergiebedarf 2040; Bsp. EFH

[4] Eine Sanierungsrate von mindestens 1,4 % ist laut dena notwendig, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen. Derzeit beträgt sie rund 1 %. Vgl. (dena, dena-Gebäudereport kompakt 2018, 2018).

Das klimafreundliche Szenario (vgl. Abbildung 10-13) setzt die 2%ige jährliche Sanierungsrate an, die als notwendig für eine wirksame Begrenzung der CO_2-Minderung im Bereich der Gebäudesanierung angesehen wird (BMWi, 2010).

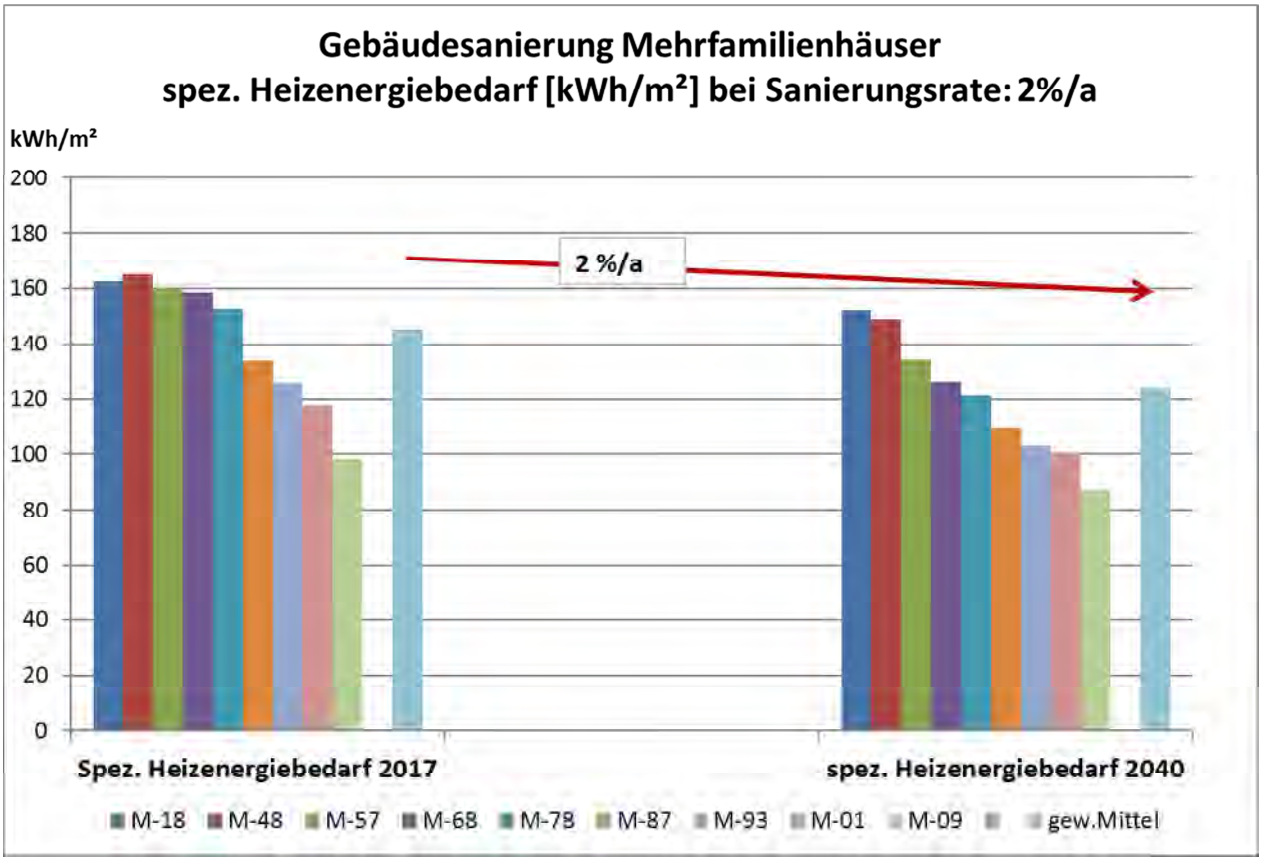


Abbildung 10-13: Sanierungsrate 2 % und zukünftiger Heizenergiebedarf 2040; Bsp. MFH

10.3 ZUKÜNFTIGER WÄRMEBEDARF IM QUARTIER

Tabelle 10-11 und Abbildung 10-14 zeigen das langfristige Einsparpotential bei „wirtschaftlicher Vollsanierung“ in zwei unterschiedlichen Sanierungsgraden gemäß (ARGE, 2012). In

Tabelle 10-11: Zukünftiger Wärmebedarf im Quartier [MWh]

BAUALTERSKLASSEN	IST-ZUSTAND	GERING MODERNISIERT	GRÖßTENTEILS MODERNISIERT
vor 1918	2.865	2.835	2.490
1919 - 1948	1.168	1.158	996
1949 - 1957	782	775	658
1958 - 1968	238	234	194
1969 - 1978	1.738	1.699	1.415
1979 - 1987	2.073	2.073	2.073
1988 - 1993	160	147	120
ab 1994	19	18	14
Summe	**9.202**	**8.986**	**7.664**

Tabelle 10-11 sind, anders als in Tabelle 9-11, nur die Gebäude berücksichtigt, die sich nach Baualtersklassen und Sanierungszustand bewerten ließen. Es ist zu erkennen, dass das Einsparpotential im Wärmebereich - und damit auch der CO_2-Emissionen - durch entsprechende Sanierung aller Gebäude im Quartier bei 15 % liegt.

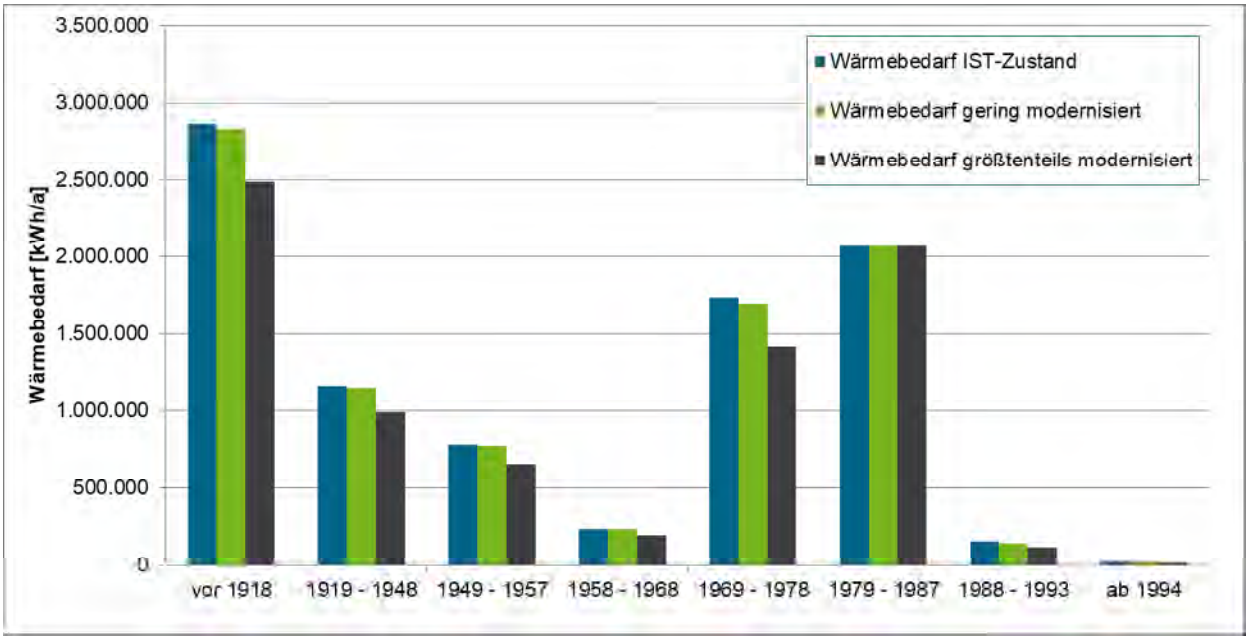


Abbildung 10-14: Einsparpotential durch Gebäudesanierung nach Baualtersklassen

11 VERSORGUNGSOPTIONEN UND -SZENARIEN

Die Reduzierung des Wärmebedarfs mithilfe energetischer Sanierung von Gebäuden ist ein erster Teilbereich des Quartierskonzeptes. Ein zweiter Bestandteil ist die Optimierung der Wärmeversorgung und ihre Anpassung an den zukünftig geringeren Verbrauch. Nach der Betrachtung der Sanierungspotenziale folgt in diesem Kapitel die ganzheitliche Untersuchung der Versorgungsoptionen des Quartiers. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Diskussion einer zentralen Wärmeversorgung.

Man unterscheidet bei der Wärmeversorgung zwischen einer dezentralen, also gebäudeindividuellen Wärmeversorgung und einer zentralen Versorgung über netzgebundene Nah- und Fernwärme (Pfnür, Winiewska, Mailach, & Oschatz, 2016). Bei der dezentralen Versorgung, wie sie im Quartier aktuell üblich ist, wird im Gebäude selbst Wärme erzeugt; dies geschieht in im Quartier überwiegend auf Heizöl- oder Erdgasbasis.

Vor dem Hintergrund der klimabezogenen Ziele zur Senkung der CO_2-Emissionen wird eine Kombination aus einer ausbaufähigen zentralen Wärmeversorgung für ein Teilgebiet des Quartiers und dezentralen Einzellösungen für das restliche Quartier empfohlen.

11.1 ZENTRALE VERSORGUNGSOPTIONEN

Als Quelle einer zentralen Wärmeversorgung im Quartier wurden die zwei vorhandenen Biogasanlagen in Spann identifiziert. Die beiden Anlagen können zusammen eine Wärmeleistung von ca. 870 kW ganzjährig zur Verfügung stellen. Mit noch weiteren ca. 15 Jahren EEG-Förderung kann hier noch für einen sinnvollen Zeitraum Wärme kostengünstig und klimaneutral abgegeben werden. Zur Besicherung der Wärmeversorgung und zur Spitzenlastabdeckung wird im ersten Schritt mit einer Öl-Brennwertkesselanlage kalkuliert. Im Zuge der Umsetzung sind Erdgas und vor allem Holzpellets als Alternative zu prüfen (vgl. Tabelle 11-6).

11.1.1 WÄRMENETZSZENARIEN

Für eine zentrale Wärmeversorgung aus den Biogasanlagen wurden hinsichtlich möglicher Versorgungsgebiete drei Versorgungsszenarien untersucht. Diese bauen aufeinander auf.

Untersuchte Szenarien:

- Szenario 1: Versorgung der Schule
- Szenario 2: Versorgungsgebiet 1: Schule, Hafenstraße und Im Kloster
- Szenario 3: Versorgungsgebiet 2: Schule, Hafenstraße, Im Kloster, Schwalbenweg, Bussardweg und Falkenweg

Die Versorgungsgebiete 1 und 2 sind in Abbildung 11-1 und Abbildung 11-2 dargestellt (der zugrundeliegende Wärmeatlas entspricht Abbildung 9-8).

Abbildung 11-1: Versorgungsgebiet 1

Abbildung 11-2: Versorgungsgebiet 2

Das in der Schule befindliche Erdgas-BHKW soll auf bei Anschluss an ein Wärmenetz weiterbetrieben werden, so dass nur die „Kesselwärme“ substituiert wird.

Eine Ausweitung der zentralen Wärmeversorgung auf das gesamte Quartier ist in dieser Konstellation mit lediglich den Biogasanlagen als Hauptwärmelieferant nicht darstellbar. Hier wäre in einem zweiten Schritt die Netzerweiterung z. B. durch den Einsatz von Freiflächensolarthermieanlagen denkbar.

Die sofortige Ausweitung des Wärmenetzes auf die insbesondere durch Einfamilienhäuser geprägten weiteren Quartiersteile würde die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems deutlich verschlechtern:

- Die Wärmeliniendichte [kWh/Tr.m] würde sinken, da die anzuschließenden Liegenschaften im Verhältnis zum Wärmebedarf relativ lange Anschlussleitungen benötigen.
- Der zusätzliche Wärmebedarf kann nur noch zu einem geringen Anteil aus den Biogasanlagen bereitgestellt werden. Dadurch würde der Spitzenlastbedarf aus anderen Energiequellen“ steigen. Dieses hätte zur Folge, dass der anzusetzende Wärmepreis ebenfalls steigen würde: Würden bspw. dann Holzpellets eingesetzt werden, würden die Wärmegestehungsgrenzkosten ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Investitionen für Kesselanlage(n) und Lager durch die Pelletbeschaffung (ca. 50 Euro je MWh bzw. 250 Euro je Tonne) durch Kessel- und Netzverluste auf rund 66 Euro je MWh steigen (ca. 75 % Gesamtnutzungsgrad).

11.1.2 ENERGIEBILANZEN

Tabelle 11-1 stellt die Energiebilanzen der einzelnen Szenarien dar. Bei einer reinen Versorgung der Schule könnte der komplette Wärmebedarf aus den Biogasanlagen gedeckt werden. In den Versorgungsgebieten 1 und 2 können 85 % bzw. 75 % des Wärmebedarfs durch die Biogasanlagen gedeckt werden. Durch eine Spitzenleistung im Wärmebedarf von bis zu 2,6 MW wird ein Spitzenlastkessel notwendig, welcher zusätzlich die Versorgung bei Ausfall der Biogasanlagen sichert. Zusätzlich sollen durch den Einsatz eines Wärmepufferspeichers Lastspitzen vermieden werden.

Auf Grund der vergleichsweise langen Wärmeleitung bei der „Einzelversorgung“ der Schule entstehen hohe Wärmenetzverluste von ca. 50 %. In den Versorgungsgebieten 1 und 2 liegen die Netzverluste mit deutlich unter 20 % in einem normalen Bereich.

Abbildung 11-3 zeigt eine geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs im Versorgungsgebiet 1. Hier wurde der Wärmebedarf über das Jahr nach der Wärmeleistung sortiert, um die Verteilung von Biogaswärme und Spitzenlastkessel zu veranschaulichen. Es zeigt sich, dass der Spitzenlastkessel nur etwas über 1.000 Stunden im Jahr genutzt wird. Im Rest des Jahres können die Biogasanlagen die Wärmebereitstellung gewährleisten.

Eine Erhöhung des Nutzungsgrades der Biogasanlagen wäre bei einer saisonalen (Langzeit-) Speicherung der im Sommer anfallenden und nicht nutzbaren Wärme möglich, wie sie grundsätzlich z. B. in einem geologischen Wärmespeicher möglich wäre (vgl. Kapitel 18). Ob eine solche Speicherung im Quartier unter geologischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierbar wäre, bedarf ggf. vertiefender Untersuchungen bei oder nach Realisierung des Wärmenetzes. So könnte der Einsatz von Brennstoffen für den Spitzenlastkessel verringert

werden. Die Errichtung des Kessels bzw. seine Leistung ist davon nicht betroffen, da dieser gleichzeitig die Reservefunktion für den möglichen Ausfall einer Biogasanlage übernimmt.

Tabelle 11-1: Energiebilanzen Versorgungsszenarien

Bilanzen	BGA Wärme nur Schule	BGA Wärme Gebiet 1	BGA Wärme Gebiet 2	Dimension
Heizlast	400	2.054	2.597	kW_{th}
Länge FW-Netz	949	2.548	4.560	m
Netzverluste	24	64	114	kW_{th}
Netzverluste / a	189.788	509.536	911.966	kWh_{th}
Wärmebedarf Gebäude	400.000	3.574.015	5.185.390	kWh_{th}
Netzwärmebedarf	589.788	4.083.551	6.097.356	kWh_{th}
Vollbenutzungsstunden	1.474	1.989	2.348	Std.
Strombedarf Wärmeversorgung	8.847	61.253	91.460	kWh_{el}
kWh/Jahr und Trassenmeter	622	1.603	1.337	
BGA				
thermische Leistung	850	850	850	kW
Vollbenutzungsstunden	694	4.080	5.394	Std.
gesamte erzeugte thermische Arbeit	589.788	3.468.000	4.584.900	kWh_{th}
Wärmeabdeckung	100%	85%	75%	
Größe Pufferspeicher	25	25	25	m^3
Spitzenlastkessel				
thermische Leistung	500	2000	2600	kW_{th}
zusätzlich erforderliche thermische Arbeit	0	615.551	1.512.456	kWh_{th}
Wirkungsgrad	90%	90%	90%	
Brennstoffbedarf	0	683.945	1.680.507	kWh_{Hi}

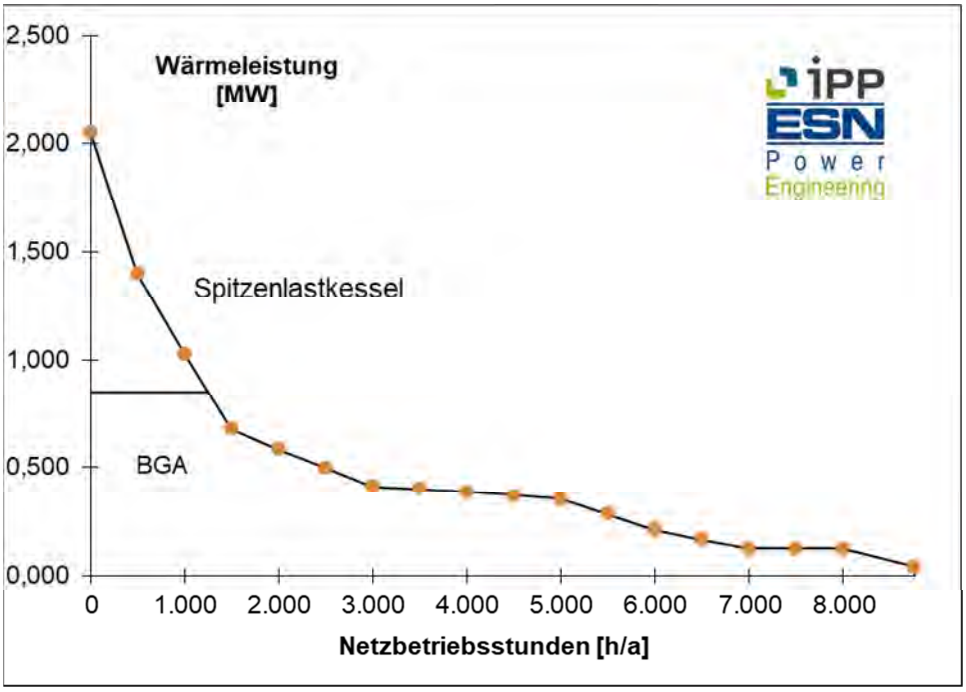


Abbildung 11-3: Geordnete Jahresdauerlinie Wärmebedarf Versorgungsgebiet 1

11.1.3 INVESTITIONEN

Tabelle 11-2 enthält eine grobe Investitionsschätzung für die verschiedenen Varianten. Hier sind bereits mögliche Förderungen, wie für das Wärmenetz und die Übergabestationen, berücksichtigt.

Tabelle 11-2: Investitionen Versorgungsszenarien

Investitionen		BGA Wärme nur Schule	BGA Wärme Gebiet 1	BGA Wärme Gebiet 2	Dimension
Auskopplung aus BGA					
Auskopplung aus BGA	ca.	**25.000**	**25.000**	**25.000**	€
Pufferspeicher	ca.	25.000	25.000	25.000	€
Zwischensumme	**ca.**	**50.000**	**50.000**	**50.000**	**€**
Unvorhergesehenes	20%	10.000	10.000	10.000	€
Planung, Gutachten etc.	15%	9.000	9.000	9.000	€
Gesamte Investitionen BHKW-Anlage	**ca.**	**69.000**	**69.000**	**69.000**	**€**
Kesselanlage					
Leistung	ca.	500	2.000	2.600	kW_{th}
Kessel 100 % redundant	ca.	40.000	130.000	80.000	€
Regelungstechnik	ca.	30.000	30.000	30.000	€
Container	ca.	20.000	20.000	20.000	€
Heizöltank	ca.	15.000	35.000	35.000	€
Zwischensumme	**ca.**	**105.000**	**215.000**	**165.000**	**€**
Unvorhergesehenes	20%	21.000	43.000	33.000	€
Planung, Gutachten etc.	15%	18.900	38.700	29.700	€
Gesamte Investitionen Kesselanlage	**ca.**	**144.900**	**296.700**	**227.700**	**€**
Wärmenetz & Übergabestationen					
Wärmeversorgungsnetz	350 €/m	332.129	891.688	1.595.941	€
Übergabestationen	ca.	20.000	271.500	466.500	€
Druckhaltung	ca.	13.000	17.000	20.000	€
Netzpumpen	ca.	15.000	20.000	25.000	€
Wärmenetzförderung	ca.	-56.936	-152.861	-273.590	€
Förderung Übergabestation	ca.	-1.800	-108.000	-225.000	€
Zwischensumme	**ca.**	**321.393**	**939.327**	**1.608.851**	**€**
Unvorhergesehenes	20%	76.026	187.865	321.770	€
Planung, Gutachten etc.	15%	68.423	208.208	364.382	€
Gesamte Investitionen Bau- und Anlagentechnik	**ca.**	**465.842**	**1.335.401**	**2.295.002**	**€**
Gesamte Investitonen (Netto)	**ca.**	**679.742**	**1.701.101**	**2.591.702**	**€**

11.1.4 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG

Auf Basis der erarbeiteten Energiebilanzen und Investitionen wurde eine statische Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Für diese Berechnung wurden in Tabelle 11-3 energiewirtschaftlich relevante Rahmenparameter definiert.

Tabelle 11-3: Energiewirtschaftliche Ansätze

Energiewirtschaftliche Ansätze				
Zinssatz			2,00%	
Wartung/Reparatur/Versicherung/Betrieb				
Kesselanlage		ca.	1,00%	/Invest/a
Bau- und Anlagentechnik		ca.	1,00%	/Invest/a
Versicherung/Sonstiges		ca.	0,50%	/Invest/a
Energiekosten				
Wärmepreis aus BGA		ca.	2,0000	ct/kWh$_{th}$
Strom Arbeitspreis		ca.	20,0000	ct/kWh$_{el}$
Heizölpreis		ca.	70,0000	€/100Liter
		ca.	7,0000	ct/kWh$_{Hs}$
Fördermittel				
Wärmenetzförderung	*KfW 271*		60	€/Trassenmeter
Förderung Übergabestationen	*KfW 271*		1800	€/Station

Tabelle 11-4 zeigt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Eine Versorgung ausschließlich von der Schule lässt sich nicht wirtschaftlich darstellen. Mit den Versorgungsgebieten 1 und 2 ergeben sich bei einer hundertprozentigen Anschlussquote attraktive Wärmepreise.

Als Besonderheit ist dabei herauszustellen, dass sämtliche Investitionen auf die verbleibende Förderlaufzeit der Biogasanlagen von 15 Jahren umgelegt werden. Das heißt, danach steht ein bezahltes Wärmenetz zur Verfügung und es sind optimale Bedingungen für den Weiterbetrieb des Wärmenetzes und erforderlichenfalls auch für Investitionen in dann andere Erzeugungsanlagen gegeben.

Abbildung 11-4 stellt grafisch die Aufteilung der einzelnen Kostenbestandteile in den untersuchten Szenarien dar. Es zeigt sich, dass neben einem günstigen Wärmepreis auch eine hohe Preisstabilität erreicht werden kann, da in den Versorgungsgebieten 1 und 2 die variablen Energiekosten weniger als 50 % der Wärmekosten ausmachen.

Tabelle 11-4: Wirtschaftlichkeitsberechnung zentrale Wärmeversorgungsszenarien

Wirtschaftlichkeit		BGA Wärme nur Schule	BGA Wärme Gebiet 1	BGA Wärme Gebiet 2	Dimension
Wärmebedarf	ca.	400.000	3.574.015	5.185.390	kWh_{th}
Investitionen					
Auskopplung BGA	ca.	69.000	69.000	69.000	€
Kesselanlage	ca.	144.900	296.700	227.700	€
Wärmenetz und Übergabestationen	ca.	465.842	1.335.401	2.295.002	€
Summe Investitionen	**ca.**	**679.742**	**1.701.101**	**2.591.702**	€
Kapitaldienst					
Auskopplung BGA	15 Jahre	5.370	5.370	5.370	€/a
Kesselanlage	15 Jahre	11.277	23.091	17.721	€/a
Wärmenetz und Übergabestationen	15 Jahre	36.254	103.928	178.610	€/a
Summe Investitionen	**ca.**	**52.901**	**132.389**	**201.700**	**€/a**
Wartung und Instandhaltung					
Kesselanlage	ca.	800	2.500	2.500	€/a
Bau- und Anlagentechnik	ca.	500	1.000	2.000	€/a
Wärmenetz und Übergabestationen	ca.	4.658	13.354	22.950	€/a
Versicherung/Sonstiges	ca.	3.399	8.506	12.959	€/a
Verwaltung und Abrechnung	ca.	2.000	15.000	20.000	€/a
jährliche Kosten für Wartung	**ca.**	**11.357**	**40.360**	**60.409**	**€/a**
Energiebezugskosten					
Wärmebedarf aus BGA	ca.	8.000	59.169	73.459	€/a
Heizölbedarf	ca.	0	47.876	117.635	€/a
Strombedarf	ca.	1.769	12.251	18.292	€/a
jährliche Energiebezugskosten	**ca.**	**9.769**	**119.296**	**209.386**	**€/a**
Jahreskosten (Netto)	**ca.**	**74.028**	**292.045**	**471.495**	**€**
		185,07	**81,71**	**90,93**	**€/MWh**
Fixkosten	**ca.**	**64.258**	**172.748**	**262.109**	**€/a**
Grundpreis	**ca.**	**161**	**84**	**101**	**€/kW**
Variable Kosten	**ca.**	**9.769**	**119.296**	**209.386**	**€/a**
Arbeitspreis	**ca.**	**24**	**33**	**40**	**€/MWh**

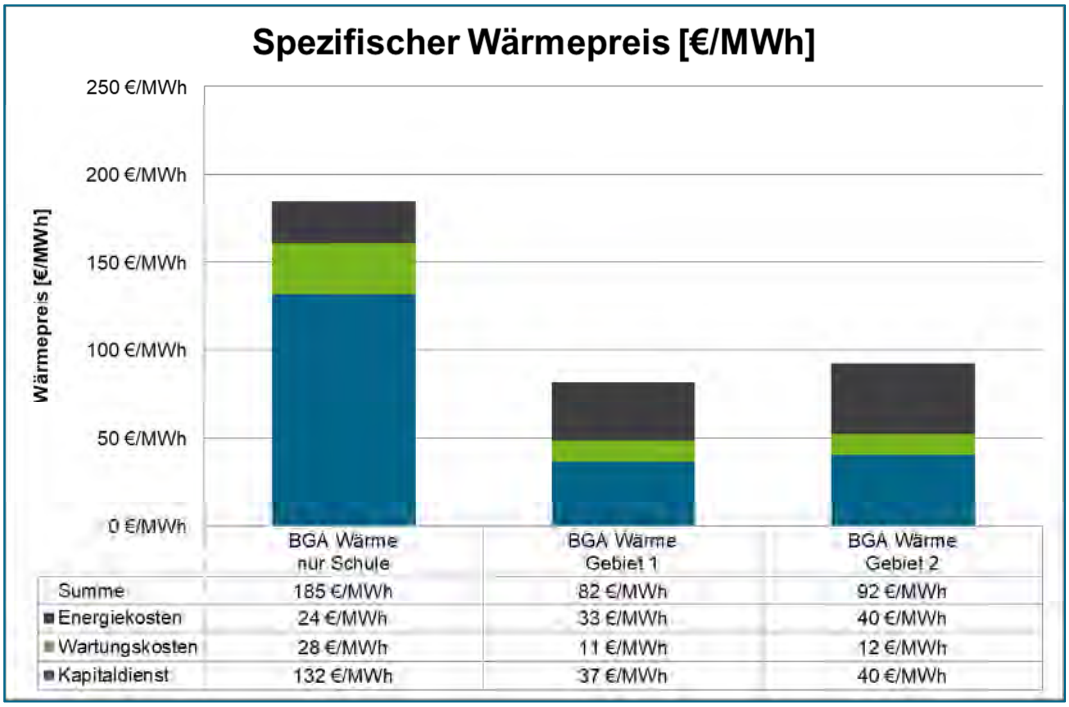


Abbildung 11-4: Wärmepreis bei zentralen Versorgungsszenarien

11.1.5 CO_2-BILANZ

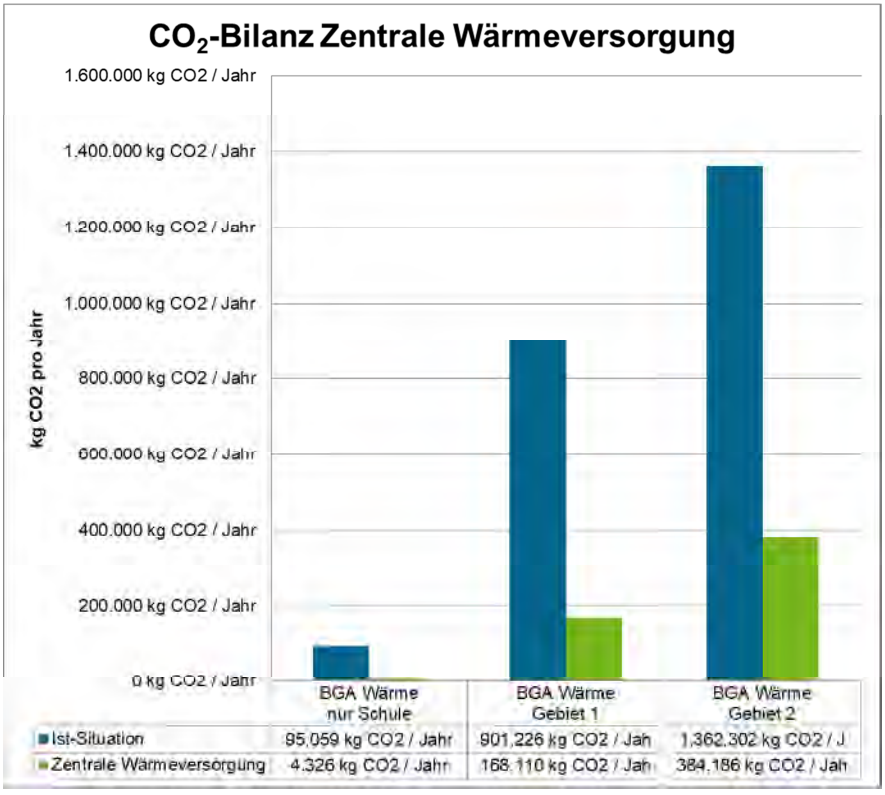


Abbildung 11-5: CO_2-Bilanz der zentralen Wärmeversorgung

Die Berechnung der CO_2-Bilanz für die zentrale Wärmeversorgung zeigt, dass für die Versorgungsgebiete 1 und 2 eine CO_2-Reduzierung von 70 bis 80 % möglich ist (Abbildung 11-5).

11.1.6 ENERGETISCHE EINSPARUNGEN GEGENÜBER DEM IST-ZUSTAND

In Tabelle 11-5 sind die Einsparungen des Endenergiebedarfs, Primärenergiebedarfs und CO_2-Ausstoßes der einzelnen Versorgungsvarianten dargestellt. Eine Einsparung des Endenergiebedarfs kann nicht erzielt werden, da hier keine Sanierungsmaßnahmen der Gebäude berücksichtigt sind, sondern nur eine Substitution der Wärmeversorgung vorgenommen wird.

Tabelle 11-5 Jährliche energetische Einsparungen gegenüber dem Ist-Zustand

EINSPARUNGEN GEGENÜBER IST-ZUSTAND	BGA WÄRME NUR SCHULE	BGA WÄRME GEBIET 1	BGA WÄRME GEBIET 2
Endenergie [kWh]	0	0	0
Primärenergie [kWh]	424.076	3.068.821	3.690.743
CO_2 [t]	91	733	978

11.1.7 SPITZENLASTKESSEL MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN

In den bisherigen Betrachtungen wurde für den Einsatz als Spitzenlastkessel eine Variante mit Heizöl betrachtet. Diese bietet im Vergleich zu einem Pellet-Kessel den Vorteil geringer Investitionen. Bei einem Erdgas-Kessel wäre zu beachten, dass bei einer hohen Spitzenlast entsprechend hohe Leistungspreise anfallen. Zudem könnte bei einem temporären Ausfall eines Blockheizkraftwerkes der Biogasanlagen mittels eines bivalenten Brenners das Bio-Rohgas direkt in einem Ölheizkessel eingesetzt werden.

Um die CO_2-Emissionen weiter zu senken wäre auch der Einsatz eines Pelletkessels zur Spitzenlastabdeckung denkbar. Neben der besseren Ökobilanz weist dieser auch den Vorteil der stabileren Brennstoffkosten im Vergleich zu Heizöl auf (siehe Abbildung 11-6).

Anhand des Versorgungsgebietes 1 wurden die Varianten Heizöl und Holzpellets wirtschaftlich gegenübergestellt. Tabelle 11-6 zeigt, dass die Variante mit Holzpellets als Spitzenlasttechnologie mit etwa einer Viertelmillion Euro Mehrinvestitionen und einem etwa 6 % höheren Wärmepreis zu Buche schlägt.

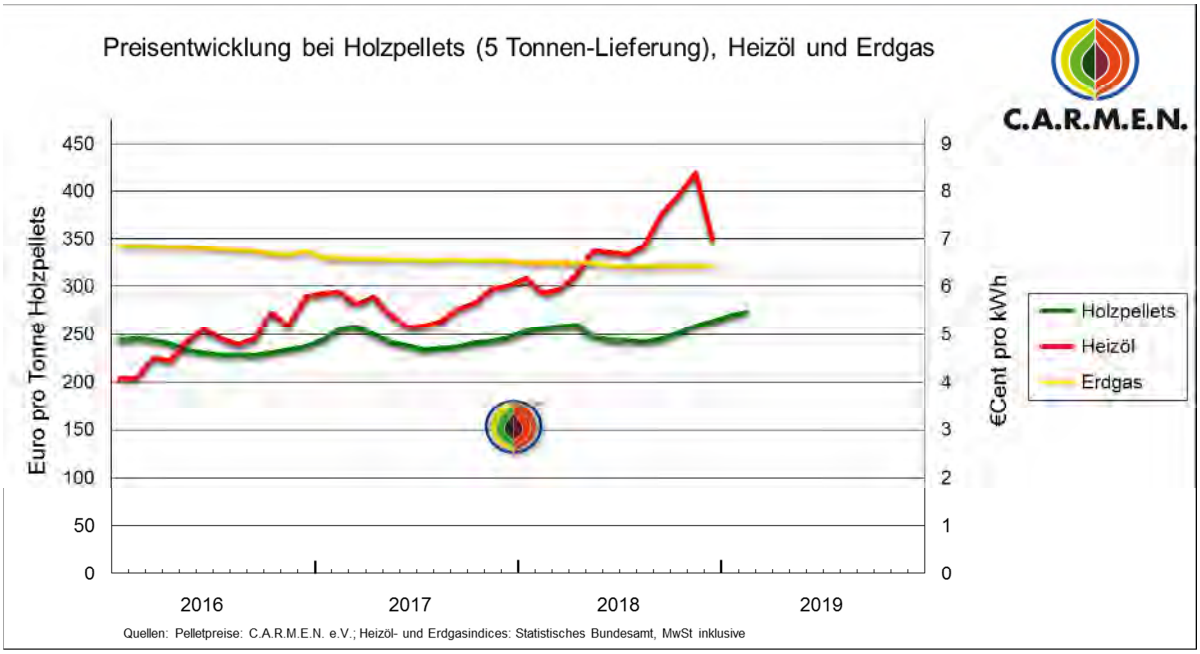


Abbildung 11-6: Preisentwicklung unterschiedlicher Energieträger (C.A.R.M.E.N., 2019)

Tabelle 11-6: Wirtschaftlichkeitsberechnung Heizöl gegen Holzpellets

Wirtschaftlichkeit		BGA Wärme Gebiet 1 Spitzenlast Heizöl	BGA Wärme Gebiet 1 Spitzenlast Pellet	Dimension
Wärmebedarf	ca.	3.574.015	3.574.015	kWh_{th}
Investitionen				
Auskopplung BGA	ca.	69.000	69.000	€
Kesselanlage	ca.	296.700	565.800	€
Wärmenetz und Übergabestationen	ca.	1.335.401	1.335.401	€
Summe Investitionen	**ca.**	**1.701.101**	**1.970.201**	€
Kapitaldienst				
Auskopplung BGA	15 Jahre	5.370	5.370	€/a
Kesselanlage	15 Jahre	23.091	44.034	€/a
Wärmenetz und Übergabestationen	15 Jahre	103.928	103.928	€/a
Summe Investitionen	**ca.**	**132.389**	**153.332**	**€/a**
Wartung und Instandhaltung				
Kesselanlage	ca.	2.500	7.500	€/a
Bau- und Anlagentechnik	ca.	1.000	1.000	€/a
Wärmenetz und Übergabestationen	ca.	13.354	13.354	€/a
Versicherung/Sonstiges	ca.	8.506	9.851	€/a
Verwaltung und Abrechnung	ca.	15.000	15.001	€/a
jährliche Kosten für Wartung	**ca.**	**40.360**	**46.706**	**€/a**
Energiebezugskosten				
Wärmebedarf aus BGA	ca.	59.169	59.169	€/a
Heizölbedarf / Pelletbedarf	ca.	47.876	37.628	€/a
Strombedarf	ca.	12.251	12.251	€/a
jährliche Energiebezugskosten	**ca.**	**119.296**	**109.048**	**€/a**
Jahreskosten (Netto)	**ca.**	**292.045**	**309.086**	**€**
		81,71	**86,48**	**€/MWh**

11.1.8 SENSITIVITÄTSANALYSEN

Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit ist unter anderem ein Kostenansatz für einen Wärmeabnahmepreis von den Biogasanlagen getroffen worden (2 ct/kWh). Des Weiteren basiert die Wirtschaftlichkeitsberechnung auf einer groben Investitionsschätzung und einer Anschlussdichte von 100 %.

Damit die Auswirkungen (Chancen / Risiken) wesentlicher Veränderungen dieser Ansätze abgeschätzt, interpretiert und bewertet werden können, wurde eine Sensitivitätsanalyse dieser Parameter durchgeführt.

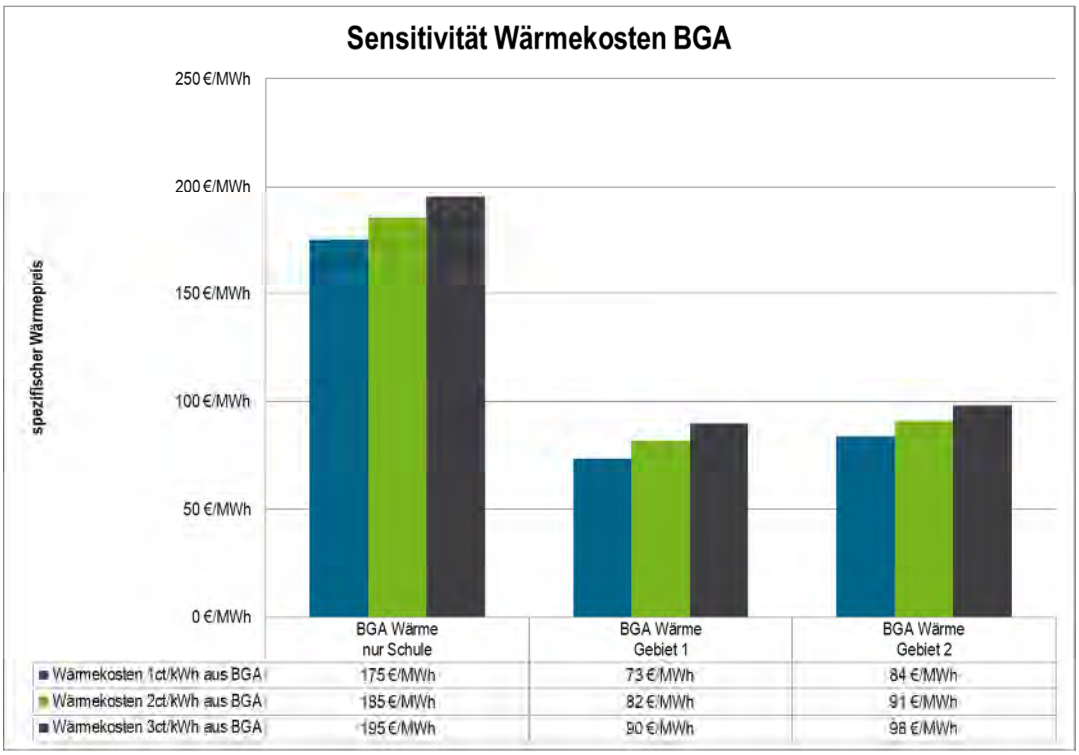


Abbildung 11-7: Sensitivitätsanalyse Wärmekosten Biogasanlagen

Die Sensitivitätsanalyse des Wärmeabnahmepreises von den Biogasanlagen zeigt, dass hier trotz des grundsätzlich niedrigen Preises für die Wärme von 1 bis 3 Cent pro kWh gewisse Chancen und Risiken liegen. Der resultierende Wärmepreis schwankt hier um bis zu etwa 20 €/MWh.

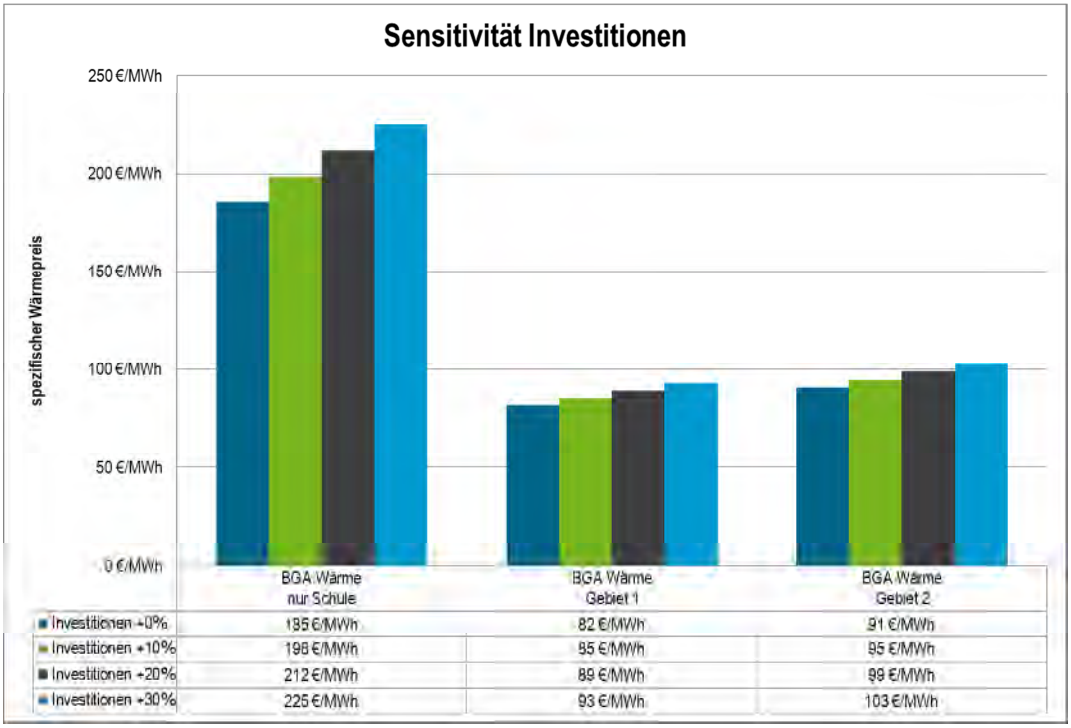


Abbildung 11-8: Sensitivitätsanalyse Investitionen

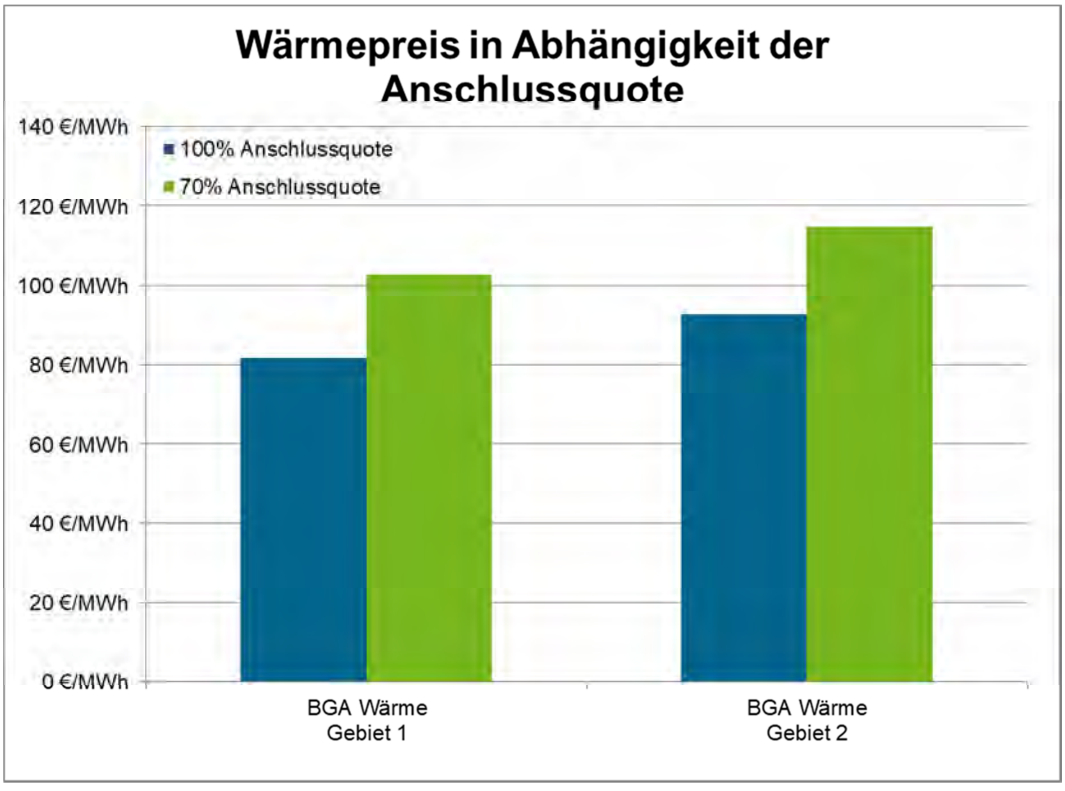


Abbildung 11-9: Sensitivitätsanalyse Anschlussquote

Die Sensitivitätsanalyse der notwendigen Investitionen zeigt für die Versorgungsgebiete 1 und 2 ein nur sehr geringes Kostenrisiko. Eine unplanmäßige Steigerung der Investitionen um 30 % würde den Wärmepreis um 13 % ansteigen lassen.

Die bisherigen Berechnungen gingen von einer hundertprozentigen Anschlussquote aus. Abbildung 11-9 zeigt, dass eine Verringerung der Anschlussquote und damit der Wärmeabnahme um 30 % den kostendeckenden Wärmepreis um ca. 25 % steigen lässt. Es ist somit vor einer Umsetzung zu gewährleisten, dass eine möglichst hohe Anschlussquote erreicht wird und insbesondere die energieintensiven Gebäude an das Netz angeschlossen werden.

11.1.9 BLICK IN DIE ZUKUNFT

Im bisher untersuchten Konzept dienen die vorhandenen Biogasanlagen als Wärmelieferant. Perspektivisch ist hier die Wärmelieferung noch für mindestens 15 Jahre gesichert. Da in den vorangegangenen Wirtschaftlichkeitsberechnungen alle Investitionen auf 15 Jahre umgelegt wurden, sind auch für die Zukunft optimale Bedingungen für einen Weiterbetrieb der Wärmeversorgung gegeben. Mit einem abbezahlten Wärmenetz können dann, wenn die Biogasanlagen nicht weiter betrieben werden, die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren und für die örtlichen Gegebenheiten am besten geeigneten regenerativen Wärmeerzeugungsanlagen finanziert und eingesetzt werden.

Insbesondere ist hier der Einsatz von Freiflächen-Solarthermieanlagen zu nennen. Diese können zu konstanten Konditionen langfristig CO_2-neutrale Wärme liefern. In Kombination mit einem oberirdischen saisonalen Großwärmespeicher (siehe Abbildung 11-10) können Deckungsraten von bis zu 50 % erreicht werden (MELUR, 2017). Alternativ wäre der Einsatz geologischer saisonaler Speicher, wie von der CAU beschrieben (vgl. Kapitel 18), zu betrachten.

Abbildung 11-10: Solarthermieanlage mit saisonalem Speicher in Dänemark

Für den restlichen Wärmebedarf ist z. B. der Einsatz von Holzhackschnitzeln sowie anderer Biomasse oder geothermischer Wärme denkbar. Auch könnte bei einer Änderung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen „Power to Heat“ zu einer interessanten Alternative werden, insbesondere wenn für die benachbarten Windparks die EEG-Förderung abläuft. Der Einsatz

dieser Technologien ist natürlich auch schon vor Ablauf der 15 Jahre denkbar, etwa um das Wärmenetz zu erweitern.

11.1.10 BETREIBERKONZEPT

Tabelle 11-7: Betreibermodelle

Modell	Vorteile	Nachteile
BGA-Betreiber	• Hohe Motivation zum Weiterbetrieb BGA nach Ende EEG-Förderung • Wertschöpfung verbleibt in Region	• Know-how / Infrastruktur VA • Offenheit für langfr. andere Erzeugung??? • 2 Betreiber, ggf. divergierende Interessen
Genossenschaft	• Wertschöpfung verbleibt in Region • Abnehmer als Miteigentümer	• Know-how / Infrastruktur EVA • Hohes Engagement „Treiber“ nötig
Zu gründendes kommunales EVU	• Wertschöpfung verbleibt in Region • Auch Option Stromversorgung etc. • Ggf. Betrieb Schwimmbad • Ggf. Kommunalkreditkonditionen	• Hoher organisatorischer Aufwand • Lohnt sich Infrastruktur???
Stadtwerke aus der Region	• Wertschöpfung verbleibt in (größerer) Region • Know-how / Infrastruktur EVA • Ggf. Kommunalkreditkonditionen	• Ggf. Interessenkonflikte (Gasverkauf) • Erfahrung mit Wärmenetzen nicht bei allen regionalen Stadtwerken vorhanden
Contractor	• Know-how / Infrastruktur EVA • Ggf. kostengünstiger Einkauf (Mengen!) • Umfangreichste Erfahrungen • Größte Angebotsvielfalt / Wettbewerb	• Interesse ohne eigene Erzeugung??? • Offenheit für langfr. andere Erzeugung??? • Gewinnmarge
EVA = Erzeugung, Verteilung, Abrechnung		

Im Rahmen der zweiten Projektlenkungsgruppensitzung wurden verschiedene Betreibermodelle mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt (siehe Tabelle 11-7). Für den Auftraggeber ist nach den bisherigen Aussagen in den Sitzungen der Lenkungsgruppe nur eine kommunale Lösung durch den Aufbau eigener Gemeindewerke denkbar.

11.2 DEZENTRALE WÄRMEVERSORGUNG

Da eine zentrale Versorgung des gesamten Quartiers über ein Wärmenetz unter den aktuellen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich darstellbar ist (siehe 11.1.1), wurden exemplarisch für ein typisches Einfamilienhaus (Bau in den 60er Jahren, unsaniert) verschiedene dezentrale Versorgungslösungen betrachtet.

Tabelle 11-8: Dezentrale Versorgungslösungen

Einfamilienhaus, BJ 1960, unsaniert									
Grundlagen									
Fläche	**ca.**	**130 m²**							
Heizwärmebedarf	ca.	26.000 kWh/Jahr							
Wärmebedarf für Warmwasser	ca.	1.625 kWh/Jahr							
Wärmebedarf gesamt	**ca.**	**27.625 kWh/Jahr**							
Zu installierende Leistung	**ca.**	**17 kW**							
Anlagenkonfiguration									
Technologie		**Investitionen inkl. Förderung**	**Jährliche Ausgaben**						**CO_2-Emissionen**
			Brennstoff-/Strombedarf	**Kapital-kosten**	**Wartungs-kosten**	**Brennstoff-/Stromkosten**	**Summe**	**spez. Preis**	
Gas-Brennwerttherme	ca.	8.000 €	28.776 kWh/Jahr	476 € / Jahr	300 € / Jahr	1.737 € / Jahr	**2.513 € / Jahr**	**172 € / MWh**	**7.194 kg/Jahr**
Öl-Brennwerttherme	ca.	8.000 €	28.776 kWh/Jahr	476 € / Jahr	350 € / Jahr	1.870 € / Jahr	**2.696 € / Jahr**	**184 € / MWh**	**9.180 kg/Jahr**
Pelletheizung	ca.	13.500 €	6.264 kWh/Jahr	881 € / Jahr	400 € / Jahr	1.568 € / Jahr	**2.849 € / Jahr**	**195 € / MWh**	**829 kg/Jahr**
Gas-Brennwerttherme mit solarer Trinkwassererwärmung	ca.	12.500 €	27.493 kWh/Jahr	769 € / Jahr	350 € / Jahr	1.667 € / Jahr	**2.786 € / Jahr**	**190 € / MWh**	**6.873 kg/Jahr**
Öl-Brennwerttherme mit solarer Trinkwassererwärmung	ca.	12.500 €	27.493 kWh/Jahr	769 € / Jahr	400 € / Jahr	1.787 € / Jahr	**2.956 € / Jahr**	**202 € / MWh**	**8.770 kg/Jahr**
Pelletheizung mit solarer Trinkwassererwärmung	ca.	17.500 €	5.985 kWh/Jahr	1.142 € / Jahr	450 € / Jahr	1.499 € / Jahr	**3.091 € / Jahr**	**211 € / MWh**	**792 kg/Jahr**

Tabelle 11-8 zeigt, dass bei den aktuellen Energiepreisen die klassische Gasheizung am wirtschaftlichsten ist. Mit einer Pelletheizung kann jedoch bei nur geringen Mehrkosten eine nahezu klimaneutrale Wärmeversorgung umgesetzt werden. Langfristig können auch hier Kostenvorteile generiert werden, da zum einen der Pelletpreis in der Vergangenheit deutlich kostenstabiler war als die fossilen Brennstoffe (vgl. Abbildung 11-11) und zum anderen ein höherer Anteil von fixen Kosten bei steigenden Energiepreisen von Vorteil ist.

Abbildung 11-11: Historische Preisentwicklung verschiedener Brennstoffe

12 UMSETZUNGSHEMMNISSE

Im folgenden Kapitel werden die Umsetzungshemmnisse näher betrachtet, die im Laufe der Projektbearbeitung deutlich geworden sind und die in der Projektrealisierung auftreten könnten. Die Hemmnisse können unter anderem aufgrund technischer, rechtlicher und zielgruppenspezifischer Herausforderungen entstehen.

12.1 GEBÄUDESANIERUNG

Die Gebäudesanierung ist klimapolitisch eine besondere Herausforderung: Ein großer, zusammenhängende Anteil der Energiebedarfsdeckung in Deutschland wird für die Raumwärmebereitstellung verwandt. Vom gesamten bundesdeutschen Endenergieverbrauch in 2016 betrug der Energieaufwand für die Beheizung der Gebäude ca. 28 %.

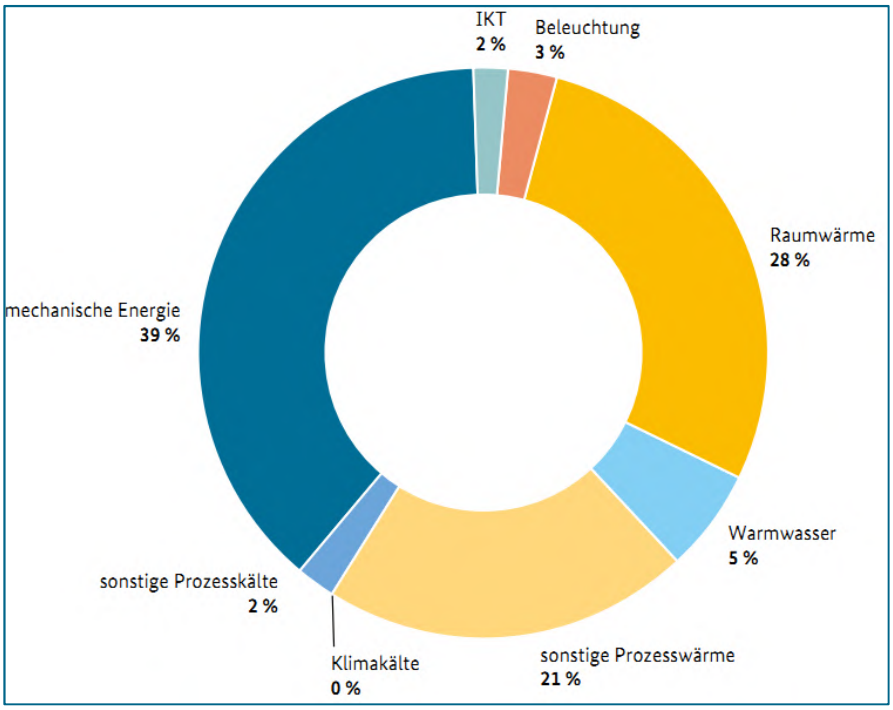


Abbildung 12-1: Endenergieverbrauch Raumwärme 2016 in Deutschland (BMWE, 2018)

Die Bundesrepublik hat auf die Herausforderung der Reduktion der Klimaschadgase im Gebäudebestand mit umfangreichen Förderprogrammen reagiert; das bedeutendste ist hierbei sicherlich das KfW-Gebäudesanierungsprogramm. Trotzdem bestehen zahlreiche Hemmnisse dagegen, dass die Gebäudesanierung die Fortschritte macht, die für das Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesrepublik - Klimaneutralität bis 20150 - notwendig wären.

Die in der Einstellung der handelnden Personen begründeten Hemmnisse gelten selbstverständlich auch für Hanerau-Hademarschen. Einige, die insbesondere in den bilateralen Gesprächen während der Energieberatungen vor Ort zu hören waren, sind:

- „Die Energiepreise sind zwar gestiegen, aber sie fallen auch wieder - wer weiß das schon.“
- „Die Förderprogramme sind zu unattraktiv und sehr kompliziert.“
- „Für eine Förderung benötigt man immer teure Experten.“
- „Für wen soll ich denn sanieren? Wir haben niemanden, der das übernehmen würde!“
- „Die Sanierungskosten sind einfach zu hoch, das rechnet sich nicht.“
- „Das Thema Gebäudesanierung ist mir zu komplex und jeder erzählt was Anderes.“

In der Tat bestehen zahlreiche Hemmnisse, die nicht leicht zu beheben sind bzw. wo nur ein Maßnahmenmix wirken kann: Verbesserte Informationen, zielgerichtete Ansprache bei Förder- und Finanzierungsfragen, eine starke Verordnungsseite, die auch den Vollzug (EnEV) kontrolliert, eine Besteuerung der fossilen Energieträger (z. B. CO_2-Steuer) um die notwendigen klimafreundlichen Maßnahmen auch ökonomisch vertreten zu können, Vereinfachung und Anhebung der Fördermöglichkeiten, um nur die wesentlichen zu nennen.

12.2 ENERGIEVERSORGUNG

12.2.1 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Mögliche technische Herausforderungen bei der Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung sind

- das Finden einer optimalen Trassenführung von den Biogasanlagen in den Ort, idealerweise „im Grünen“, also ohne Eingriff in befestigte Oberflächen;
- die Wärmeauskopplung an den Biogasanlagen und der Aufbau eines Regelkonzeptes, um eine faire Wärmeverteilung zwischen den einspeisenden Anlagen zu gewährleisten;
- die Optimierung der gebäudeseitigen Heizungsanlagenhydraulik („Hydraulischer Abgleich“), um einen möglichst niedrigen Vorlauftemperaturbedarf zu erreichen und um eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur für das Wärmenetz zu ermöglichen. Beide Maßnahmen dienen der Verringerung der Wärmenetzverluste und der Reduzierung des notwendigen Volumenstroms im Netz.

Grundsätzlich ist der Aufbau einer zentralen Wärmeversorgung auf Basis von Biogasanlagen eine erprobte Technik, die keine besonderen technischen Herausforderungen mit sich bringt.

12.2.2 RECHTLICHE UND ORGANISATORISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Folgende rechtliche Herausforderungen können bei der Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung auftreten:

- Der Aufbau von Gemeindewerken als Betreiber des Wärmenetzes inkl. notwendiger Vertragswerke wie Wärmelieferverträgen, technischen Anschlussbedingungen, Verträgen mit den Biogasanlagen etc.
- Einhaltung der Vergaberichtlinien bei der Versorgung von öffentlichen Gebäuden.
- Bei der Investition für den Spitzenlastkessel und dessen Betrieb ist zu klären, von wem diese Anlage betrieben werden soll und wer Eigentümer ist:
  - Möglichkeit A: Die Spitzenkesselanlage wird von den BGA-Betreibern (bzw. einem von ihnen) betrieben. Damit könnten die BGA-Betreiber (bzw. einer von ihnen) als „Vollversorger“ auftreten und würde/n für die Versorgung des Wärmenetzes und der Kunden

(voll)verantwortlich sein. Die bzw. der BGA-Betreiber wäre damit für die Versorgungssicherheit zuständig. Diese Verantwortung wird sich im Wärmepreis niederschlagen.

- Möglichkeit B: Der Spitzenlastkessel wird im Eigentum der Fernwärmenetzgesellschaft bzw. Gemeindewerke angesiedelt. Ggf. kann die Betriebsführung durch den oder die BGA-Betreiber erfolgen.

12.2.3 WEITERE HERAUSFORDERUNGEN

Die größte Herausforderung ist die Gewinnung einer möglichst hohen Anschlussquote an das Wärmenetz. Dies ist eine der zentralen Aufgaben des Sanierungsmanagements.

13 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Zur Realisierung der erarbeiteten Szenarien und Maßnahmenvorschläge ist die Einbindung der Öffentlichkeit von großer Bedeutung. Es wurden direkt betroffene Beteiligte (Mieter und Eigentümer von Wohnraum und gewerblich genutzten Liegenschaften) genauso wie andere Interessierte, auch aus nicht im Quartier liegenden anderen Teilen der Gemeinde, angesprochen und in den Projektverlauf eingebunden.

13.1 ALLGEMEINE ÖFFENTLICHKEIT

Die allgemeine Öffentlichkeit wurde u. a. über zwei Veranstaltungen in das energetische Quartierskonzept beteiligt.

Im Rahmen einer öffentlichen Auftaktveranstaltung am 27. September 2018 stellte der Klimaschutzmanager des Kreises Rendsburg-Eckernförde die Notwendigkeit von Klimaschutzmaßnahmen dar, es wurde die Vorgehensweise bei der Erstellung des Quartierskonzeptes erläutert, Hinweise der Beteiligten aufgenommen und erste Möglichkeiten für Energiesparmaßnahmen am eigenen Haus vorgestellt.

Im Vorprogramm zu der Veranstaltung wurde der Film „Von Bananenbäumen träumen“ gezeigt, der deutlich macht, wie viele Handlungsmöglichkeiten eine Kommune bei entsprechendem Engagement der Gemeindemitglieder hat.

Abbildung 13-1: öffentliche Präsentation der Ergebnisse

Im Rahmen des Quartierskonzeptes erfolgten drei exemplarische, kostenlose Sanierungsberatungen (vgl. Kapitel 10.1). Es zeigte sich ein großes Interesse von über 25 Immobilienbesitzern an diesen Beratungen, so dass sie letztlich verlost wurden. Die anderen Interessenten wurden auf die Energieberatungen der Verbraucherzentrale hingewiesen, die aufgrund der öffentlichen Förderung ohnehin günstig angeboten wird und für die hier Interessierten durch einen Zuschuss des Kreises Rendsburg-Eckernförde nochmals vergünstigt wurde.

Im Rahmen der öffentlichen Präsentation der Ergebnisse am 21. Februar 2019 wurden zum einen Ergebnisse der Mustersanierungen vorgestellt und daraus Schlussfolgerungen für Gebäudesanierungen im Allgemeinen abgeleitet. Zum anderen wurden die Möglichkeiten der Wärmeversorgung, die im Zuge des Quartierskonzeptes identifiziert wurden, dargestellt und wirtschaftlich sowie ökologisch bewertet. Auch mögliche Unsicherheiten, wie sie sich etwa aus höheren

Investitionskosten oder geringeren Anschlussquoten an ein Fernwärmenetz ergeben können, wurden transparent gemacht.

Im Anschluss an die Präsentationen wurde, in Anlehnung an das BarCamp-Format, in von den Teilnehmenden thematisch selbst bestimmten Kleingruppen über drei Themen vertiefend diskutiert:

- Fragen der Gebäudesanierung,
- Wärmenetze für Neubaugebiete und im Bestand sowie
- technische, wirtschaftliche und organisatorische Fragen der Wärmeerzeugung.

Vor der Veranstaltung hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, Einschätzungen zu den Kosten ihrer Wärmeversorgung abzugeben (vgl. Abbildung 13-2).

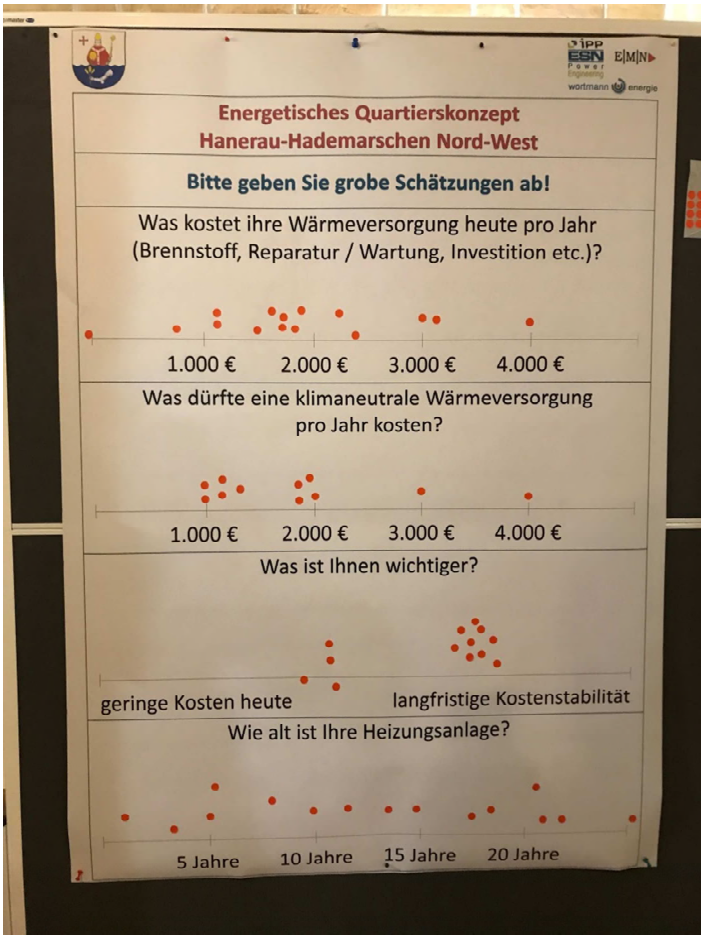


Abbildung 13-2: Einschätzungen zur Wärmeversorgung zu Beginn der öffentlichen Ergebnispräsentation

Zu beiden Veranstaltungen wurden alle Einwohner der Gemeinde, auch über das Quartier hinaus, brieflich eingeladen. Zudem wurde in Presseartikeln, auf der Website der Gemeinde, auf der Plattform MokWi.de sowie für die Ergebnispräsentation mit großflächigen Bannern an den Ortseingängen (vgl. Abbildung 13-3) geworben. Insofern fanden die Veranstaltungen mit etwa 80 (Auftakt) bzw. 30 (Ergebnisse) Personen einen regen Zulauf.

Abbildung 13-3: Banner an den Ortseingängen mit Hinweisen auf die öffentliche Ergebnisveranstaltung

Diese Maßnahmen wurden ergänzt durch weitere, teils schon angedeutete, Aktivitäten, teilweise auch der Verantwortungsträger der Kommune:

- Pressegespräche,
- Einrichtung einer eigenen Unterseite zum energetischen Quartierskonzept auf der Website der Gemeinde (Gemeinde Hanerau-Hademarschen),
- Einrichtung eines eigenen Projektes auf der norddeutschen Projekteplattform MokWi.de,
- Beteiligung an einer öffentlichen Veranstaltung des „Zukunftskonzeptes Daseinsvorsorge“, das zeitversetzt nach dem energetischen Quartierskonzept begonnen hat,
- ein Gespräch mit den örtlichen Heizungsbauern, um deren Erfahrungen und Einschätzungen in das Quartierskonzept einzubringen und sie über sich abzeichnende Entwicklungen zu informieren, die ggf. langfristig ein partiellen Anpassung ihrer Geschäftsmodelle erfordern könnten.

Zudem wurden eine Reihe von Gesprächen mit erzeugungs- und verbrauchsseitig relevanten Akteuren geführt, so etwa mit den beiden Betreibern der Biogasanlagen im benachbarten Ort Spann über Wärmelieferungen, mit den Betreibern der benachbarten Bürgerwindparks über Optionen für „Power to Heat“ oder mit dem Schulverband über die Nutzung von Fernwärme in der im Quartier gelegenen Theodor-Storm-Dörfergemeinschaftsschule als einem der größten potenziellen Wärmeabnehmer.

13.2 LENKUNGSGRUPPE

Die Lenkungsgruppe ist das Gremium der Gemeinde, das die Arbeit des Quartierskonzeptes steuert und mit dem alle maßgeblichen Abstimmungen über den Ablauf der Arbeiten erfolgen. Zudem erfolgt durch die Mitglieder der Lenkungsgruppe auch eine Kommunikation der Arbeit des Quartierskonzept in die Bevölkerung bzw. die verschiedenen gesellschaftlich relevanten Gruppen. Im vorliegenden Konzept waren in der Lenkungsgruppe folgende Institutionen vertreten:

- Der Bürgermeister der Gemeinde,
- je eine Person der drei in der Gemeindevertretung vertretenen Fraktionen,
- der Verein für Handel, Handwerk und Gewerbe,
- Haus & Grund,
- das Amt Mittelholstein,
- der Klimaschutzmanager des Kreises Rendsburg-Eckernförde sowie
- die Energieagentur der Investitionsbank Schleswig-Holstein.

Zudem waren die Auftragnehmer des Quartierskonzeptes, IPP ESN, wortmann-energie und E|M|N, „geschäftsführend“ an allen Sitzungen der Lenkungsgruppe beteiligt.

Abbildung 13-4: Lenkungsgruppensitzung (27.02.2019)

Über den Projektverlauf fanden nach einem Gespräch zur Auftragsklärung mit Teilen der Lenkungsgruppe vier weitere Abstimmungsrunden der Lenkungsgruppe statt. Die Arbeit der Lenkungsgruppe verlief ausgesprochen konstruktiv und war durch einen hohen Grad an Übereinstimmung und eine klare Ausrichtung der Beteiligten an den Interessen der Bürgerinnen und Bürger des Quartiers und der Gemeinde geprägt.

14 CONTROLLING-KONZEPT

Controlling-Konzepte als Kontroll-, Planungs- und Steuerungsinstrumente dienen der Verwirklichung und der hohen Wirksamkeit von Maßnahmen und somit einer effizienten Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele. Im Zusammenhang mit dem Quartierskonzept zählen folgende Elemente zum Controlling-Konzept:

- fortschreibbare Energie- und CO_2-Bilanz als zentrales Ergebnis des Controllings,
- verschiedene Bewertungsindikatoren,
- durchgehende Dokumentation.

Die im Rahmen des Quartierskonzepts erarbeiteten Ziele und Maßnahmen werden mithilfe dieser Elemente im Verlaufsprozess kontrolliert. Bei nicht zielführendem Verlauf kann durch eine Anpassung der Planung umgesteuert werden.

14.1 ENERGIE- UND CO_2-BILANZ

Die Energie- und CO_2-Bilanz ist in der Überprüfung der Erfolge einer energetischen Quartierssanierung der zentrale Baustein. Die Erfassung von Verbrauchs- und Emissionswerten ermöglicht eine eindeutige Beurteilung der IST-Situation anhand von vergangen Werten. Durch die Verwendung von Excel oder vergleichbaren Instrumenten ist eine problemlose Fortschreibung der Bilanz möglich.

Die Bilanz über den Ausgangszustand des Wärmebedarfs des Quartiers „Hanerau-Hademarschen“ (IST-Zustand) ist in Kapitel 0 zu finden. Der Fortschritt der energetischen Sanierung wird über die Differenz zwischen Start-Bilanz und der jeweils aktuellen Bilanz deutlich.

14.2 BEWERTUNGSINDIKATOREN

Bewertungsindikatoren geben die Möglichkeit, einen Sachverhalt messbar zu bewerten. Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Bewertung ist eine einfache Erfassbarkeit und gute Verfügbarkeit dieser Daten. Die Datenerfassung bei Projekten im kommunalen Gebäudebestand ist mit einem geringeren Aufwand verbunden als bei erweiterten Projekten mit mehreren, insbesondere privaten Akteuren.

Zur Erleichterung der Datenerfassung bei einer Beteiligung verschiedener Akteure empfehlen sich die Dokumentation der Sachstände, der Energieverbräuche und weitere Informationen zur Maßnahmenplanung. Festgehalten in Datenblättern sind die Informationen leicht zugänglich und gut nachzuvollziehbar.

Die Bestimmung der Parametereinheit wird abhängig vom jeweiligen Indikator gewählt. Sie variiert zwischen konkreten Werten und Pauschalansätzen für z. B. Energieeinsparungen, Reduzierungen des Schadstoffausstoßes oder die Anzahl von Erstberatungen.

Mögliche Indikatoren in Verbindung mit ihrer Einheit und Quelle werden für das Quartier „Hanerau-Hademarschen“ in Tabelle 14-1 dargestellt.

Tabelle 14-1: Indikatoren zum Controlling für die Umsetzung des Quartierskonzeptes

INDIKATOR	EINHEIT	DATENQUELLE
Anschlussnehmer am Wärmenetz	Stück	Wärmenetzbetreiber
Verkaufte Wärmemenge im Netz	kWh	Wärmenetzbetreiber
Verluste im Wärmenetz	kWh	Wärmenetzbetreiber
Einsatz dezentraler regenerativer Heizungen	Stück	Schornsteinfeger
Sanierte Gebäude	Stück	Begehungen
Vor Heizöl auf Erdgas umgestellte Heizungen	Stück	Schornsteinfeger / SH-Netz

14.3 DOKUMENTATION

Ein elementarer Teil der Erfolgskontrolle aller genannten Faktoren ist die fortlaufende Dokumentation der zu erfassenden Daten. Diese Dokumentation wird durch das Sanierungsmanagement übernommen und betreut. Die Dokumentation beinhaltet die Sammlung aller notwenigen Daten sowie deren abschließende Auswertung, die beispielsweise in einem jährlichen Bericht erfolgt. Auf Grundlage dieser Auswertung sind im Bedarfsfall Korrekturen der beschlossenen Inhalte des Quartierskonzepts abzuleiten und umzusetzen. Im Hinblick auf den Aufwand eines vollständigen Controllings und der Zeit, bis Maßnahmen verwirklicht sind, sollte eine Wirkungskontrolle frühestens nach einem Jahr erfolgen.

Weiterführend wird dieser Bericht allen beteiligten Akteuren, politischen Gremien und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

15 MAßNAHMENKATALOG

Auf Basis der voran gegangenen Untersuchungen ergeben sich die in Tabelle 15-1 dargestellten Haupt-Maßnahmenstränge, die teilweise in Kapitel 16 weiter ausdifferenziert werden.

Tabelle 15-1: Maßnahmenkatalog mit Priorisierung

AUFGABEN	PRIORITÄT
Beantragung und Einrichtung des Sanierungsmanagements als Koordinationsstelle der Maßnahmenumsetzung	Hoch
Gründung von Gemeindewerken, um die geplante zentrale Wärmeversorgung zu betreiben	Hoch
Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung aus den bestehenden Biogasanlagen zur langfristigen CO_2-Reduzierung	Hoch
Aufbau eines Energie-Controllings für die öffentlichen Liegenschaften	Hoch
Prüfung der Umsetzung einer energetischen Sanierung öffentlicher Liegenschaften gemäß der Gebäudesteckbriefe	Mittel
Prüfung von Angeboten für dezentrale Versorgungssysteme durch die geplanten Gemeindewerke für Liegenschaften, die außerhalb des Wärmenetzgebietes liegen (z. B. Contracting)	Niedrig

16 SANIERUNGSMANAGEMENT

Die auf das Quartierskonzept nach dem Förderprogramm 432 der KfW folgende Arbeit beinhaltet eine abschließende Betreuung durch ein umfangreiches Sanierungsmanagement. Dieses hat eine Vielzahl an Aufgaben auszuführen, um eine effektive und zeitnahe Verwirklichung der geplanten Maßnahmen zu realisieren.

Speziell wenn für die Umsetzung des Quartierskonzeptes die Errichtung von Gemeindewerken geplant ist, muss zusätzlich zu technischen und kommunikativen Fähigkeiten betriebswirtschaftliches, steuerliches und rechtliches Know-how vorhanden sein. Gerade wenn eine Einzelperson als Sanierungsmanager beschäftigt wird, kann kaum erwartet werden, dass alle diese Kompetenzbereiche im notwendigen Umfang vorhanden sind. Von daher sollte für das Sanierungsmanagement eine entsprechende Beauftragung externer Dritter eingeplant werden.

Das Sanierungsmanagement fungiert als Anlauf- und Koordinationsstelle. Es vermittelt zwischen privaten und öffentlichen Bauherren, unterstützt die Maßnahmenumsetzung in der Gemeinde, berät private Bauherren über Fördermöglichkeiten und führt die Öffentlichkeitsarbeit aus. Einen Überblick relevanter Aufgaben gibt Tabelle 16-1.

Tabelle 16-1: Aufgaben des Sanierungsmanagements

AUFGABEN DES SANIERUNGSMANAGEMENTS	PRIORITÄT
Planung des Umsetzungsprozesses und die Initiierung einzelner Prozessschritte	Hoch
Koordination und Controlling von Sanierungsmaßnahmen aller Akteure	Hoch
Öffentliche Anlaufstelle für eine energetische Erstberatung und das Quartier allgemein	Hoch
Organisation und Durchführung der Öffentlichkeitsarbeit zur Information von Immobilieneigentümern und -nutzern	Hoch
Einwerbung einer möglichst hohen Anschlussquote an die Fernwärme	Hoch
Organisation des Aufbaus von Gemeindewerken	Hoch
Betreuung der notwendigen Vertragswerke	Mittel
Durchführung einer Haus-zu-Haus-Beratung für Immobilieneigentümer	Mittel
Durchführung Controlling	Hoch
Organisation von Sammelbestellungen für Sanierungsmaßnahmen	Niedrig
Durchführung von Schulungen, u. a. für die Stadtverwaltung	Niedrig

Eine hervorzuheben Aktivität des Sanierungsmanagements ist die Initiierung einer Sanierungskampagne. Durch diese werden Potenziale optimal ausgeschöpft und Aktivitäten und Kompetenzen besser gebündelt und in die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen - z. B. des Aufbaus eines Wärmenetzes - optimiert.

17 LITERATURVERZEICHNIS

ARGE. (2012). *Gebäudetypologie Schleswig-Holstein.* Kiel.

BAFA. (kein Datum). *Energieberatung Wohngebäude.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieberatung/Energieberatung_Wohngebaeude/energieberatung_wohngebaeude_node.html

BMF. (24. Januar 1995). *AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig "Energie- und Wasserversorgung".* Abgerufen am 22. Februar 2019 von juris-Fachportal Steuerrecht: http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/1995-01-24-afa-24.pdf?__blob=publicationFile&v=1

BMWE. (August 2018). *Energiedaten: Gesamtausgabe.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=38

BMWi. (28. September 2010). *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.* Abgerufen am 15. März 2019 von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5

C.A.R.M.E.N. (2019). *Preisentwicklung bei Holzpellets - Der Holzpellet-Preis-Index*. Von https://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/holzpellets abgerufen

DEHSt. (2006). *Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte (Stoffliste 2006).* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.dehst.de/DE/service/archivsuche/archiv/SharedDocs/downloads/DE/Berichterstattung_2005-2007/EB2007_Stoffliste.html

dena. (2016). *dena-Gebäudereport 2016 - Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.* Berlin.

dena. (April 2018). *dena-Gebäudereport kompakt 2018.* Von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9254_Gebaeudereport_dena_kompakt_2018.pdf abgerufen

Gemeinde Hanerau-Hademarschen. (kein Datum). *Energetische Quartierssanierung*. Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.hanerau-hademarschen.de/gemeindeverwaltung/energetische-quartierssanierung/

KfW. (Dezember 2015). *Merkblatt Energetische Stadtsanierung - Zuschuss.* Abgerufen am 22. Februar 2019 von https://www.kfw.de/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000002110-M-Energetische-Stadtsanierung-432.pdf

KfW. (2018). *Energieeffizient Sanieren - Kredit.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-(151-152)/

Land Schleswig-Holstein. (11. Dezember 2017). *Förderrichtlinie Energetische Stadtsanierung, KfW 432.* Abgerufen am 22. Februar 2019 von Amtsblatt für Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/energieKlimaschutz_kt/Downloads/foerderRiLi.pdf?__blob=publicationFile&v=2

MELUR. (07. März 2017). *Solare Wärme für die Energiewende.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/energieKlimaschutz_kt/Downloads/broschuereSolareWaerme.html

Pfnür, A., Winiewska, B., Mailach, B., & Oschatz, B. (2016). *Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt.* Dresden.

QGIS. (kein Datum). *QGIS: Ein freies Open-Source-Geographisches-Informationssystem*. Abgerufen am 25. Februar 2029 von https://www.qgis.org/de/site/

UBA. (August 2013). *Ratgeber: Das Energie-Sparschwein.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ratgeber-energie-sparschwein

UBA. (Oktober 2018). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger

UBA. (Mai 2019). *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2016.* Abgerufen am 13. März 2019 von https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-3

18 ANHANG: VORSTUDIE DES KOMPETENZZENTRUMS FÜR GEO-ENERGIE DER CAU ZUM EINSATZ VON UNTERIRDISCHEN SAISONALEN WÄRMESPEICHERN IM QUARTIER

Siehe nachfolgende Seiten!

Vorstudie zum Einsatz von unterirdischen saisonalen Wärmespeichern
(ATES- und BTES-Systeme)
beim Umbau des Wärmeversorgungssystems am Standort Hanerau-Hademarschen

Berichts-Nr.: KomGHan-Had 01-2019

für: IPP ESN Power Engineering GmbH
Rendsburger Landstr. 196-198
24113 Kiel

durch: Kompetenzzentrum für Geo-Energie der CAU (in Gründung)

bearbeitet von: Martin Rehders, Jens-Olaf Delfs, Bo Wang, Dirk Schäfer, Sebastian Bauer, Andreas Dahmke

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Ludewig-Meyn-Str. 10
24118 Kiel

Kiel, den 08.03.2019

Prof. Dr. S. Bauer

Prof. Dr. A. Dahmke

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Inhalt

1. Veranlassung und Zielstellung **7**

2. Kurze Darstellung des potentiellen Einsatzes von saisonalen Wärmespeichern im zukünftigen Wärmeversorgungskonzept am Standort Hanerau-Hademarschen.....**8**

3. Kurze Darstellung der oberflächennahen geologischen Gegebenheit am Standort Hanerau-Hademarschen und Ableitung möglicher geologischer Wärmespeicher-typen **8**

4. Kurze Beschreibung der Wirkungsweise der zu betrachtenden geologischen Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen.....**9**

5. Beschreibung der verwendeten Simulationsansätze und der numerischen Simulation der möglichen Speicherbetriebsparameter von geologischen Wärmespeichern auf Basis einer vorgegebenen Lastkurve (Fa. IPP-ESN) **13**

6. Simulationsergebnisse für die „Option ATES-System“ **18**

7. Simulationsergebnisse für die „Option BTES-System“ **20**

8. Erste Kostenabschätzung für Bau und Betrieb der untersuchten Wärmespeicher-typen für das vorgegebene Lastszenario **21**

9. Diskussion der derzeitigen offenen allgemeinen und ortspezifischen Fragen zum Einsatz der untersuchten Wärmespeichertypen am Standort Hanerau-Hademarschen mit besonderer Berücksichtigung ihrer potenziellen Umweltauswirkungen **23**

10. Herleitung von Empfehlungen zum weiteren Vorgehen im Hinblick auf die Umsetzung geologischer Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen.....**24**

Abbildungen

Abb. 1: Bohrpunktkarte im Gebiet Hanerau-Hademarschen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit den Bohrstationen 1, 2 und 3 (in der Karte rot dargestellt), und Darstellung der drei geologischen Bohrprofile (von links nach rechts).....**9**

Abb. 2: A) Wärmeleistung über Netzbetriebsstunden (Prognose der Firma IPP-ESN). B) Daraus abgeleiteter zeitlicher Verlauf der Lastkurven am Standort Hanerau-Hademarschen. Dargestellt ist die geforderte Wärmeleistung im Netz (rote Linie), die konstante Wärmeproduktion der Biogasanlagen (orange Linie), die notwendige Ausspeicherleistung des Speichers, d.h. die Speicherentladung im Winter (blaue Linie), sowie die Beladung des Speichers im Sommer (grüne Linie).....**15**

Abb. 3: Erdwärmesondenspeicher: A) Detailmodell einer Erdwärmesonde mit umgebendem Untergrund und den Modellabmessungen. Die als „Isolation" bezeichnete Schicht entspricht eine wasserteilgesättigten Sandschicht. B) Abmessungen der im Modell angenommenen Erdwärmesonde und des Bohrlochs.....**17**

Abb. 4: Vertikaler Schnitt ATES-System: Simulation der Temperaturverteilung am warmen Brunnen nach 10 Betriebsjahren zum Ende einer Speicherbeladungsphase. Der Brunnen ist am linken Modellrand zwischen 40 und 50 m Tiefe im Aquifer lokalisiert, Temperaturerhöhungen werden aber auch für die tiefer liegenden (größer 50 m unter GOK) und die hangenden Geschiebemergelschichten (kleiner 40 m unter GOK) prognostiziert. Aufgrund des gewählten radialsymmetrischen Ansatzes ist der Brunnen am linken Bildrand abgebildet, modelltechnisch liegt dieser in der Mitte. **18**

Abb. 5: ATES-System: Oben: Zeitlicher Verlauf der Wärmeleistung (positiv = Speicherbeladung, negativ = Speicherentladung); Mitte: Zeitlicher Verlauf der Temperatur am warmen (rot) und am kalten (blau) Brunnen; Unten: Zeitlicher Verlauf der Pumprate (positiv = Einspeicherung am warmen Brunnen, negativ = Ausspeicherung am warmen Brunnen).....**19**

Abb. 6: Erdwärmesondenspeicher: Temperaturverlauf am Übergang zur Geländeoberkante (hier als Lokation für den Wärmeaustauscher angenommen) (links), in der Bohrung (Mitte) und zwischen den Erdwärmesonden (rechts) für einen Sondenabstand von 3 m (oben) und 5 m (unten). Die unterschiedlichen Temperaturen resultieren aus den Annahmen einer unterschiedlichen Anzahl an Erdwärmesonden, aus denen der Speicher jeweils aufgebaut ist.....**20**

1. Veranlassung und Zielstellung

Das in Gründung befindliche Kompetenzzentrum Geo-Energie an der Christian-Albrechts-Universität wird über EFRE-Mittel vom Land Schleswig-Holstein finanziert und soll u.a. die Einführung innovativer Technologien im Rahmen der „Energiewende“ in Kooperation mit schleswig-holsteinischen Firmen befördern.

In diesem Kontext trat die Fa. IPP-ESN an das in Gründung befindliche Kompetenzzentrum Geo-Energie heran und bat um die Erstellung einer ersten Vorstudie für den Einsatz geologischer Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen im Zuge der Entwicklung eines Wärmeversorgungskonzeptes. Nach einem Treffen am 8. Januar 2019 am Institut für Geowissenschaften sagte das Kompetenzzentrum, vertreten durch Prof. Dr. S. Bauer und Prof. Dr. A. Dahmke, die kostenfreie Erstellung einer entsprechenden ersten grundlegenden Vorstudie zum Einsatzpotential von geologischen Wärmespeichersystemen nach von der Fa. IPP-ESN vorgegebenen Betriebsplänen bzw. Lastkurven am Standort Hanerau-Hademarschen zu.

Ausdrücklich wurde bei der Besprechung und auch nochmal hier seitens des in Gründung befindlichen Kompetenzzentrums Geo-Energie deutlich gemacht, dass die Vorstudie zwar nach bestem Wissen und nach dem neuesten Stand der Technik erarbeitet wird, aber aufgrund der Datenlagen u.a. bei den geologischen Einheiten nur orientierenden Charakter besitzen kann. Rechtswirksame Konsequenzen, die aus dieser Machbarkeitsstudie abgeleitet werden, liegen allein in der Verantwortung des Auftraggebers wie IPP-ESN bzw. anderer Handelnder.

Unter dieser Voraussetzung wurden die folgenden Zielsetzungen für die vorliegende Vorstudie zwischen der Fa. IPP-ESN und dem Kompetenzzentrum Geo-Energie vereinbart:

- kurze Darstellung des potentiellen Einsatzes von saisonalen Wärmespeichern im zukünftigen Wärmeversorgungskonzept am Standort Hanerau-Hademarschen
- kurze Darstellung der oberflächennahen geologischen Gegebenheit am Standort Hanerau-Hademarschen und Ableitung möglicher geologischer Wärmespeichertypen
- kurze Beschreibung der Wirkungsweise der zu betrachtenden geologischen Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen
- Beschreibung der in dieser Studie verwendeten numerischen Simulationsansätze
- Simulation möglicher Speicherbetriebe für die in Frage kommenden geologischen Wärmespeichertypen anhand einer von der Firma IPP-ESN vorgegeben Lastkurve, die die wesentlichen Betriebsparameter der zukünftigen oberirdischen Wärmeversorgung charakterisiert
- erste Kostenabschätzung für Bau und Betrieb der untersuchten Wärmespeichertypen für das vorgegebene Lastszenario
- kritische Diskussion der derzeitigen offenen, allgemeinen und ortspezifischen Fragen zum Einsatz der untersuchten Wärmespeichertypen am Standort Hanerau-Hademarschen mit besonderer Berücksichtigung ihrer potenziellen Umweltauswirkungen
- Herleitung von Empfehlungen zum weiteren Vorgehen im Hinblick auf die Umsetzung geologischer Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen

2. Kurze Darstellung des potentiellen Einsatzes von saisonalen Wärmespeichern im zukünftigen Wärmeversorgungskonzept am Standort Hanerau-Hademarschen

Nach der Besprechung am 8. und 29. Januar 2019 und durch die Fa. IPP-ESN zur Verfügung gestellten ortspezifischen Daten zur Wärmeversorgung am Standort Hanerau-Hademarschen stellt sich die Situation wie folgt dar:

Am Standort existieren zwei Biogasanlagen nordwestlich des Gemeindezentrums, die eine über das Jahr konstante Wärmeleistung von 850 kW aufweisen. Die Wärme aus diesen Biogasanlagen beträgt in der Jahressumme bis zu 6,8 GWh und soll genutzt werden, um Gebäude im Gemeindezentrum, zu denen die Schule gehört, zu beheizen und mit Wärme zu versorgen. Der gesamte Wärmebedarf pro Jahr beträgt dabei ungefähr 4 GWh. Die erforderlichen Heizleistungen liegen dabei über einen erheblichen Teil des Jahres unter 0,5 MW und erreichen in der Spitze 2,1 MW.

Kurzfristig zu untersuchen ist dabei, welche Wärmespeicher kostengünstig und klimafreundlich geeignet sind, um im Sommer nicht benötigte Abwärme aus den stromgeführten Biogasanlagen in den Winter saisonal zu verschieben und dort als Ersatz für einen Spitzenlastkessel wieder zur Verfügung zu stellen.

Mittelfristig stellt sich die Frage, ob als Ersatz für die aus der Förderung auslaufenden Biogasanlagen, solarthermische Anlagen mit großen saisonalen Wärmespeichern und gegebenenfalls im Verbund mit Wärmepumpensystemen eingesetzt werden sollen. In der Machbarkeitsstudie wird diese Option nur qualitativ im Hinblick auf die Eignung der geologischen Speicher bewertet.

3. Kurze Darstellung der oberflächennahen geologischen Gegebenheit am Standort Hanerau-Hademarschen und Ableitung möglicher geologischer Wärmespeichertypen

Zur Geologie am Standort Hanerau-Hademarschen liegen aus frei zugänglichen Datensätzen, wie u.a. vom Landwirtschafts- und Umweltatlas SH des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung bereitgestellt, nur wenige Informationen vor, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

Hanerau-Hademarschen liegt im Bereich der Hohen Geest, direkt an der Gletscherrandlage der Saale-Eiszeit. Die schmelzenden Gletscher können die dort ursprünglich vorhandene Sedimentschichtung stark erodiert haben, andererseits sind auch Ablagerungen des von den Gletschern mittransportierten Geschiebes möglich. Dies führt dazu, dass auf relativ kleinen Entfernungen im Ortsgebiet die Mächtigkeit des obersten Grundwasserleiters zwischen 10 und 30 m variiert. Eine Abdeckung mit bindigen Sedimenten kann vorhanden sein oder sie wurde erodiert. Eiszeitliche Rinnen, die mehr als 100 m in den Untergrund einschneiden können, sind im näheren Umfeld von Hanerau-Hademarschen nicht vorhanden. Auch Wasserschutzgebiete sind im näheren Umfeld nicht ausgewiesen. Genauere Angaben zu den hydrogeologischen Verhältnissen wurden im Rahmen dieser Vorstudienrecherche nicht gefunden.

Die Bohrpunktkarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe stellt im Gebiet Hanerau-Hademarschen drei geologische Bohrungen mit einer Tiefe von mehr als 100 m zur

Verfügung (Abb. 1). Im Nordwesten liegen mächtige Wechsellagen unterschiedlicher und gut durchlässiger Sande vor, die von Tonen/Geschiebemergel unterbrochen werden. Die beiden geologischen Profile im Süden zeigen dagegen oberflächennah 70 bis 80 m mächtige gering durchlässige Ablagerungen von Ton/Tonmergel/Schluff (vermutlich Geschiebemergel), die von Sanden unterlagert sind. Für Aquiferwärmespeicher (ATES = Aquifer Thermal Energy Storage) und Erdwärmesondenspeicher (BTES = Borehole Thermal Energy Storage) liegen somit prinzipiell geologisch geeignete Bedingungen vor. Die durch die geologische Entstehung des Untergrunds bedingte hohe Variabilität der geologischen Verhältnisse erfordert weitere geologische Erkundungen vor dem eventuellen Bau eines geologischen Wärmespeichers.

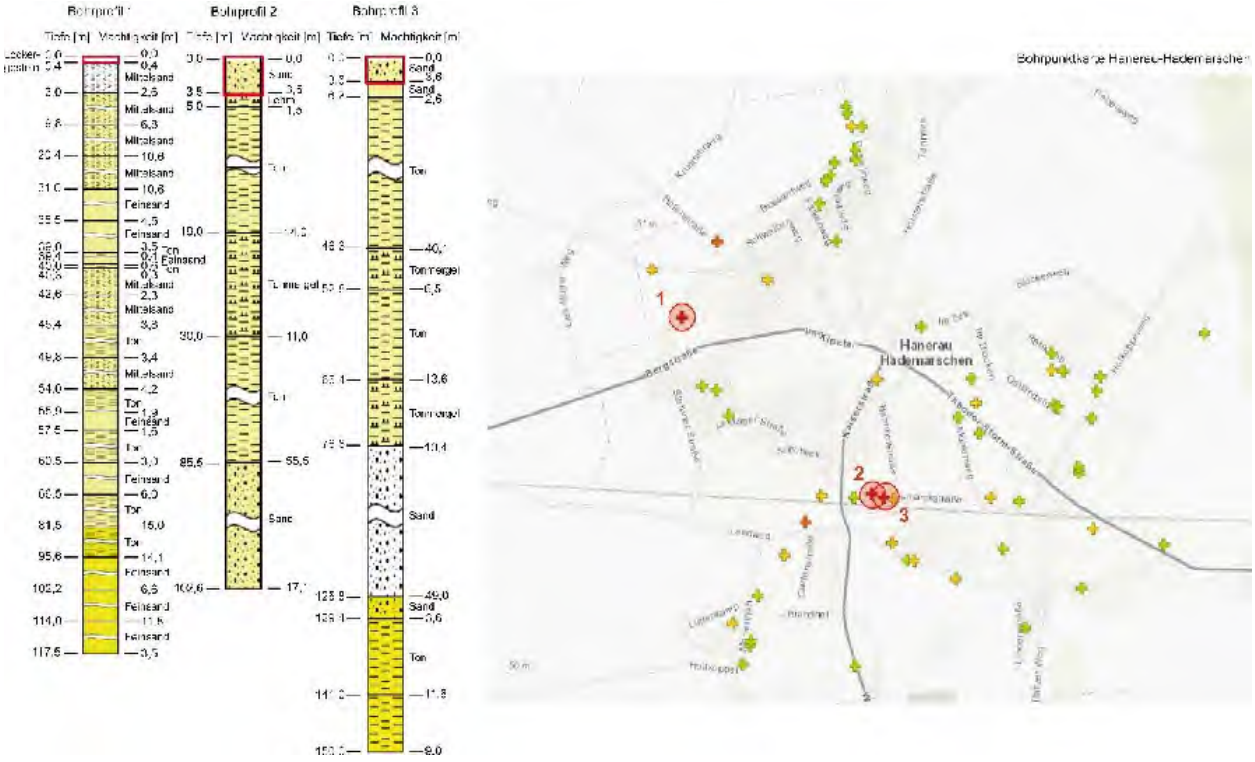


Abb. 1: Bohrpunktkarte im Gebiet Hanerau-Hademarschen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit den Bohrstationen 1, 2 und 3 (in der Karte rot dargestellt), und Darstellung der drei geologischen Bohrprofile (von links nach rechts).

4. Kurze Beschreibung der Wirkungsweise der zu betrachtenden geologischen Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen

Die skizzierten geologischen Gegebenheiten am Standort Hanerau-Hademarschen ermöglichen, wie dargestellt, prinzipiell als Wärmespeicheroptionen sogenannte Aquiferwärmespeicher (ATES) als auch Erdwärmesondenspeicher (BTES), die deshalb in dieser Machbarkeitsstudie vergleichend betrachtet werden. Beiden geologischen Wärmespeichersystemen ist gemeinsam, dass der Untergrund als sogenanntes „sensibles“ Wärmespeichermedium genutzt wird. Oberirdisch installiert werden nur die technischen Anlagen für den Wärmeaustausch mit dem Untergrund.

Der „Technology Readiness Level“ (TRL) für beide Wärmespeichersysteme liegt zwischen 7 (also „Prototypen im Einsatz (1-5 Jahre)“, dabei handelt es sich meist um Hochtemperaturwärmespeicher mit Temperaturen >40 °C) und 9 (also „Qualifiziertes System mit Nachweis der erfolgreichen Anwendung“, dabei handelt es sich i.d.R. um Niedertemperaturspeicher mit Temperaturen <40 °C). So sind Aquiferspeicher im Niedertemperaturbereich im größeren Maßstab von mehr als tausend Anlagen bereits in den Niederlanden und in weiteren Anlagen in Europa oder Nordamerika im Einsatz. Entsprechendes gilt für BTES-Systeme.

Trotz des derzeit noch geringeren TRL von geologischen Hochtemperaturspeichern sieht das Kompetenzzentrum Geo-Energie in deren Anwendung und Ausbau für viele Fragestellungen bei der Wärmeversorgung ein größeres Potenzial als bei Niedertemperaturspeichern. Die exergetischen Vorteile (Temperaturstatus für technische Nutzung) überwiegen bei den Hochtemperatursystemen, sowie deren zukünftig wahrscheinlich gut beherrschbaren technischen Herausforderungen, wie Ausfällungen am Austauscher. Ebenso erscheinen die Umweltauswirkungen gut prognostizierbar und kontrollierbar, wenn auch rechtliche Regelungen dazu ausstehen.

Die Funktionsweise der ATES- und BTES-Wärmespeichersysteme kann wie folgt beschrieben werden:

Aquiferwärmespeicher (ATES-Systeme)

Für Aquiferwärmespeicher werden gute durchlässige wasserführende Schichten im geologischen Untergrund als Wärmespeichermedium genutzt. Diese Schichten werden durch eine oder mehrere Brunnendoubletten erschlossen, die zur Be- und Entladung des Aquiferwärmespeichers durch direkte Zirkulation des Grundwassers dienen. Zur Beladung mit Wärme wird durch einen Brunnen (kalter Brunnen) Wasser gefördert, obertägig an einem Wärmetauscher durch Wärme aus der Biogasanalage erwärmt und an der zweiten Bohrung (warmer Brunnen) als warmes Wasser wieder zugegeben. Dadurch bildet sich am warmen Brunnen im Untergrund ein Bereich mit warmen Wasser im Aquifer aus. Für die Ausspeicherung wird die Fließrichtung umgedreht, das warme Wasser wird nun am warmen Brunnen zurückgefördert und, nachdem diesem am Wärmetauscher wieder Wärme entzogen wurde, abgekühlt am kalten Brunnen in den Untergrund eingespeist. Die im Untergrund erschlossene Wärmekapazität wird durch die vorliegenden Aquifereigenschaften sowie die Pumprate und die Anzahl der Brunnendoubletten bestimmt.

Geologische Voraussetzung für ATES-Systeme ist idealerweise das Vorhandensein eines Porenaquifers, der nach oben und unten durch hydraulische Stauschichten wie beispielsweise Tone abgeschlossen ist, eine Mächtigkeit im Bereich von einigen Metern bis wenigen zehner Metern, sowie eine mittlere hydraulische Durchlässigkeit mit k_f-Werten im Bereich von ca. 10^{-4} m/s und eine möglichst hohe Porosität aufweist. Die natürliche Grundwasserfließgeschwindigkeit sollte möglichst gering sein und idealerweise im Bereich von kleiner ca. 10 m/a liegen, um einen Abtransport der Wärme weg von der Brunnendoublette zu verhindern. Die lokal am Standort vorliegenden geologischen Bedingungen werden bei der Planung und Dimensionierung des Speichers berücksichtigt und können bei Abweichungen von den genannten „idealen“ Bedingungen zu Mehrkosten im Betrieb oder bei der Speichererrichtung führen.

Die thermische Leistung des ATES-Systems kann durch Variation der Pumprate angepasst werden. Bei der Ausspeicherung ergibt sich typischerweise eine mit der Zeit abnehmende Temperatur des zurückgeförderten Wassers, sodass der nutzbare Wärmeinhalt während einer

Ausspeicherphase mit der Zeit sinkt. Grund hierfür sind die natürlichen Wärmetransportprozesse im Untergrund und die Wärmeverluste bei der Speicherung. Da die Wärmeleistung von Aquiferwärmespeichern durch die geologisch möglichen Pumpraten limitiert ist, werden in der Regel obertägige Pufferspeicher in das Wärmesystem integriert, um kurzfristige Leistungsspitzen über Zeiträume von Stunden oder einzelnen Tagen abzupuffern. Diese haben deutlich geringere Speicherkapazitäten als die saisonal ausgelegten Aquiferspeicher und führen zu einer Vergleichmäßigung der Speicherraten und somit zu einem effizienteren Betrieb.

Die Umweltauswirkungen des ATES-Systems lassen sich wie folgt skizzieren: da mit der Brunnendoublette ein hydraulisch geschlossener Wasserkreislauf erreicht wird, also keine Netto-Entnahme oder Zugabe von Grundwasser erfolgt, werden keine großräumigen Änderungen der Grundwasserbewegung oder des hydrostatischen Drucks induziert. Entsprechende Veränderungen bleiben daher auf den direkten Nahbereich der Brunnen im Umkreis von wenigen hundert Metern beschränkt. Aufgrund von konduktivem Wärmetransport entlang der Temperaturgradienten im Untergrund wird Wärme aus dem Speicherbereich in die direkte Umgebung des genutzten Speicherbereichs im Aquifer geleitet, sodass sich die Speicherumgebung allseits langfristig erwärmt. In Abhängigkeit von den Betriebsparametern und den geologischen Gegebenheiten führt dies zu betrieblichen Wärmeverlusten. Typische Wärmerückgewinnungsgrade liegen für Aquiferwärmespeicher bei 50 bis 70 %, was für den langfristigen Betrieb eventuell Maßnahmen zur Vermeidung einer fortschreitenden Erwärmung in der Speicherumgebung notwendig machen kann.

Mit den Temperaturänderungen im Untergrund können geochemische Prozesse induziert werden und so zu einer Veränderung der Wasserzusammensetzung führen. Diese hydrochemischen Auswirkungen im Grundwasserleiter waren und sind dabei Gegenstand derzeit intensiver Laboruntersuchungen, die sich grob wie folgt zusammenfassen lassen. Die rein hydrochemischen Veränderungen in Laborsystemen bleiben bis zu einem Temperaturbereich von ca. 40 °C, sowohl für die gelösten Haupt- wie auch für die Spurkomponenten i.d.R. klein im Vergleich mit der natürlichen Variabilität der Grundwasserzusammensetzung an einem Standort. Im Hochtemperaturbereich >40 °C können initial insbesondere gelöster organischer Kohlenstoff (DOC = Dissolved Organic Carbon) und anionische Spurenstoffe freigesetzt werden, d.h. ins Grundwasser übergehen. Allerdings nimmt die Freisetzung in den Laborsystemen mit der Zeit nach wenigen ausgetauschten Porenvolumina ab und ist bei einer Temperaturabsenkung teilweise reversibel. Der Nachweis der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse aus Laborsystemen auf Feldstandorte steht noch aus, jedoch sind entsprechende Feldexperimente noch für dieses Jahr geplant. Technisch beherrschbare betriebliche Auswirkungen der hydrochemischen Veränderungen treten nach bisherigen Erfahrungen insbesondere bei Hochtemperaturwärmespeichern durch Lösungs- und Ausfällungsprozessen an den oberirdischen Wärmetauschern auf und sind von der hydrochemischen Grundwasserzusammensetzung abhängig. Auch am Zugabebrunnen kann es zu Ausfällungen kommen, die die hydraulische Durchlässigkeit reduzieren.

Die bisherigen Untersuchungen zu den mikrobiologischen Auswirkungen einer Temperaturerhöhung in Grundwasserleitern deuten darauf hin, dass eine langfristige Erhöhung der Keimzahlen oder die Vermehrung pathogener Bakterien, weder in den Niedrig-, noch in den Hochtemperatur-Wärmespeichersystemen aufgrund anderer limitierender Faktoren wie z.B. Nährstoffverfügbarkeit zu erwarten ist.

Geomechanisch auftretende Spannungen durch Temperaturveränderungen sind in einem Lockersediment, wie dem hier betrachteten, zumeist gering, da diese durch kleinräumige Umlagerungen der Bodenpartikel und Druckabbau durch Grundwassertransport gedämpft werden.

Erdwärmesondenspeicher (BTES-Systeme)

Für einen Erdwärmesondenspeicher werden in meist vertikalen Bohrungen Erdwärmesonden, deren Anwendung als Stand der Technik angesehen werden darf, als Wärmetauscher im Abstand von wenigen Metern zueinander in den Untergrund eingebracht. Diese Erdwärmesonden können als U, Doppel-U oder Koaxialsonden ausgebaut werden, wobei die Bohrungen anschließend mit Zement verfüllt werden, um den thermischen Anschluss an den Untergrund herzustellen. In den Sonden zirkuliert ein Wärmetauscherfluid und gibt durch konduktive Wärmeleitung Wärme in den Untergrund ab bzw. nimmt diese wieder auf. Da der Wärmeaustausch mit dem Untergrund konduktiv erfolgt, können prinzipiell alle geologischen Schichten genutzt werden, wenn diese eine geringe Grundwasserfließgeschwindigkeit von idealerweise kleiner ca. 1 m/a ausweisen. Damit können für Erdwärmesondenspeicher hydraulische Geringleiter, wie Geschiebemergel oder Tone, aber auch Feinsande, bei Vorliegen geringer hydraulischer Gradienten genutzt werden. Typische Längen der Erdwärmesonden betragen einige zehner bis über hundert Meter, die Anzahl der Erdwärmesonden variiert je nach Wärmebedarf von einigen zehner bis einige hundert Sonden. Die Wärmeleistung des Speichers ist durch die Wärmeleitfähigkeit der genutzten geologischen Formationen, sowie auch durch die Anzahl der Erdwärmesonden und deren Länge bestimmt.

Auch BTES-Systeme sind im niedrigen Temperaturbereich <40 °C bereits erprobt und u.a. zur Wärmeversorgung des CITTI-Parks in Kiel im technischen Einsatz.

Aus energetischen und exergetischen Gründen verfolgt das Kompetenzzentrum Geo-Energie allerdings auch bei diesem Speichertyp in dieser Vorstudie einen Hochtemperaturansatz, um u.a. für den Gebäudebestand höhere Vorlauftemperaturen generieren zu können.

Die Bewertung dieser Technologie unter Umweltaspekten entspricht qualitativ weitgehend der von ATES-Systemen. Aufgrund der Temperaturveränderungen im Untergrund ergeben sich so auch hydraulische, hydrochemische, mikrobiologische und geomechanische Umweltauswirkungen auf den geologischen Untergrund bzw. der Geländeoberfläche. Da keine oder nur sehr geringe Grundwasserbewegungen vorliegen sollten, sind diese Effekte lokal auf den direkten Speicherbereich und die nahe Umgebung im Bereich einiger Meter bis zehner Meter beschränkt. Wenn der Speicher in einem Geschiebemergel oder Ton errichtet wird, kann eine thermische Expansion der genutzten Schichten auftreten.

5. Beschreibung der verwendeten Simulationsansätze und der numerischen Simulation der möglichen Speicherbetriebsparameter von geologischen Wärmespeichern auf Basis einer vorgegebenen Lastkurve (Fa. IPP-ESN)

Für diese Vorstudie wurden vergleichend ein ATES- bzw. ein BTES-System im Hochtemperatur-Speicherbetrieb anhand der wissenschaftlichen frei verfügbaren OpenGeoSys-Programmplattform (Kolditz und andere 2012a; opengeosys.org) simuliert. Detaillierte Informationen und Anwendertutorials zum Programmsystem finden sich z.B. in Böttcher und andere (2016), Kolditz und andere (2015), Boockmeyer und Bauer (2014; 2016) und Kolditz und andere (2012). Die Programmplattform enthält:

- Durch Benchmarkstudien sowie an Labor- und Feldexperimenten verifizierten 3D Finite-Elemente-Code zur numerischen Simulation von Strömungs- und Transportprozessen im geologischen Untergrund
- Kopplung zwischen thermischen, hydraulischen, geochemischen und mechanischen Prozessen
- Flexibilität bei der Darstellung, sowohl des geometrisch komplexen als auch parametrisch heterogenen geologischen Untergrunds und von eingebrachten technischen Bauwerken
- vollständige 3D-Darstellung der Erdwärmesonden als Hochtemperatur-Wärmetauscher zur physikalisch konsistenten Simulation auch hochtransienter Wärmetransferprozesse im Wärmetauschernahbereich
- hochaufgelöste Abbildung der im Aquifer thermisch angetriebenen Strömungsprozesse

Die hier durchgeführten Simulationen bilden die Be- und Entladung der Speicher, sowie die Wärmeausbreitungsprozesse in den geologischen Schichten prozessgenau und zeitlich und räumlich aufgelöst ab. Dafür wurde eine räumliche Diskretisierung des geologischen Untergrundes (auf der Basis der vorhandenen Bohrprofile) vorgenommen, um die lokal unterschiedlichen hydraulischen und thermischen Untergrundeigenschaften und die Temperaturgradienten auflösen zu können. Im Fall des ATES-Systems wurde die gekoppelte Wärmetransport- und Grundwasserströmungsgleichung, im Fall des BTES-Systems die konduktive Wärmetransportgleichung im geologischen Untergrund genutzt, um die zeitlich und räumlich stark variablen Temperaturverteilungen im Untergrund, sowie die nutzbare Wärmekapazität und erreichbare Be- und Entladeraten der Wärmespeicher zu simulieren.

Sowohl für das ATES- als auch das BTES-System wurden in dieser Vorstudie mit hohen Vorlauftemperaturen bis ca. 80 °C gerechnet, um den Standortanforderungen entsprechend möglichst hohe Speicher- und Rücklauftemperaturen zu erreichen. Ziel ist es dabei, sowohl die nutzbare Wärmekapazität des geologischen Untergrunds zu steigern, als auch die Wärmebelade- und Wärmeentladeraten zu erhöhen, indem der Temperaturgradient zwischen Wärmeträgerfluid und geologischem Untergrund erhöht wird.

Die numerische Simulation von geologischen Hochtemperaturspeichern stellt besondere Anforderungen an die verwendete Methodik und das eingesetzte Simulationsmodell, die vom in der Vorstudie genutzten Programmsystem OpenGeoSys erfüllt werden. Zu nennen wären u.a. folgende Punkte:

- Durch die Verwendung hoher Vorlauftemperaturen bilden sich steile Temperaturgradienten um die Brunnen bzw. die Erdwärmesonden aus. Zur Prognose der Be- und Entladeraten und der Speicherverluste müssen diese, sowie die zugehörige räumliche Lage der technischen Systeme und deren geometrischer Aufbau räumlich genau aufgelöst werden. Dies ist in OpenGeoSys durch den finite-Elemente-Ansatz, sowie die Anzahl an zur Verfügung stehenden Elementtypen sehr flexibel möglich.
- Zudem ist es notwendig, die geologischen Schichten und die heterogenen Untergrundbedingungen in ihrer räumlichen Verteilung genau abzubilden, was zu einem hohen räumlichen Diskretisierungsaufwand und damit zu einer hohen Elementzahl führt. OpenGeoSys ermöglicht hierfür den Einsatz effizienter und robuster numerische Lösungsmethoden und Methoden des Hochleistungsrechnen.
- Im Fall von ATES-Systemen werden durch die hohen Temperaturgradienten Dichteunterschiede im Fluid induziert, die zu einem dichtegetriebenen Aufstieg von Grundwasser direkt am warmen Brunnen führen und die Leistung und Rücklauftemperatur maßgeblich beeinflussen können. Diese wird weiterhin von der räumlichen Verteilung und der Anisotropie der hydraulischen Permeabilität beeinflusst, sodass auch diese in ihrer räumlichen Verteilung berücksichtigt werden muss.
- Zur Prognose der Dimensionen und Leistungen solcher Speicher muss die Lastkurve, also der zeitlich aufgelöste Wärmebedarf und Wärmeüberschuss, berücksichtigt werden. OpenGeoSys kann die sich aus den schnellen zyklischen Wechseln zwischen Be- und Entladung ergebenden Effekte aufgrund einer flexiblen und robusten automatischen Zeitschrittsteuerung abbilden.
- Da bereits in dieser orientierenden Vorstudie das Programm OpenGeoSys eingesetzt wird, ist für die im nächsten Schritt erforderliche Machbarkeits- und Dimensionierungsanalysen eine konsistente Weiterentwicklung der Modelle und Szenarien gesichert.

Lastkurve

Die zur Dimensionierung der geologischen Wärmespeicher notwendige Wärmelastkurve zur Beladung und Entladung des geologischen Wärmespeichers wurde aus den von IPP-ESN zur Verfügung gestellten Daten zur Wärmeleistung geordnet nach den jeweiligen Betriebsstunden der jeweiligen Wärmeleistung abgeleitet (Abb. 2A). Dazu wurde ein zeitlich saisonaler Verlauf der geforderten Wärmeleistung angenommen, der im Winter durch einen Heizlastpeak überlagert wird, der in diesem Szenario in den Februar fällt (Abb. 2B). Dieser zeitliche Verlauf ist mit den von IPP-ESN zur Verfügung gestellten Daten konsistent, stellt jedoch nur eine mögliche zeitliche Realisierung der Basisdaten dar. Für eine detailliertere und belastbarere Machbarkeitsstudie der Wärmespeicher muss daher diese Lastkurve in Übereinstimmung mit dem Auftraggeber genauer definiert werden.

Die Simulation der Wärmeentnahme erfolgt daher für einen Zeitraum von ca. zwei Monaten im Winter, um das Defizit zwischen der Wärmeleistung der Biogasanalagen und der vom Wärmenetz geforderten Leistung zu schließen. In diesem Szenario variiert die geforderte Ausspeicherleistung zwischen 0,25 MW und in der Spitze 1,25 MW, wobei die Simulation mit einer zeitlichen Auflösung von Wochenschritten gerechnet wurde, da auch die Wärmelastdaten in dieser Auflösung zur

Verfügung stehen. Für diese Vorstudie wird weiterhin angenommen, dass das simulierte Wärmespeichersystem in den Sommermonaten gleichmäßig mit einer Wärmeleistung von 400 kW beladen werden kann, da in diesem Zeitraum die thermische Leistung der Biogasanalagen im Wärmenetz nicht gefordert wird und bisher ungenutzt ist. Die Länge der Einspeicherzeit wurde in den numerischen Simulationen so gewählt, dass die eingespeicherte Wärmemenge in etwa der ausgespeicherten Wärmemenge zuzüglich der Wärmeverluste entspricht, um eine über das Jahr ausgeglichene Wärmebilanz im Wärmespeicher zu erreichen. Diese zeitliche Strukturierung der Lastkurve lässt sich auch für höhere geforderte Wärmeleistungen im Netz, d.h. bei einem weiteren Ausbau des Netzes, übertragen.

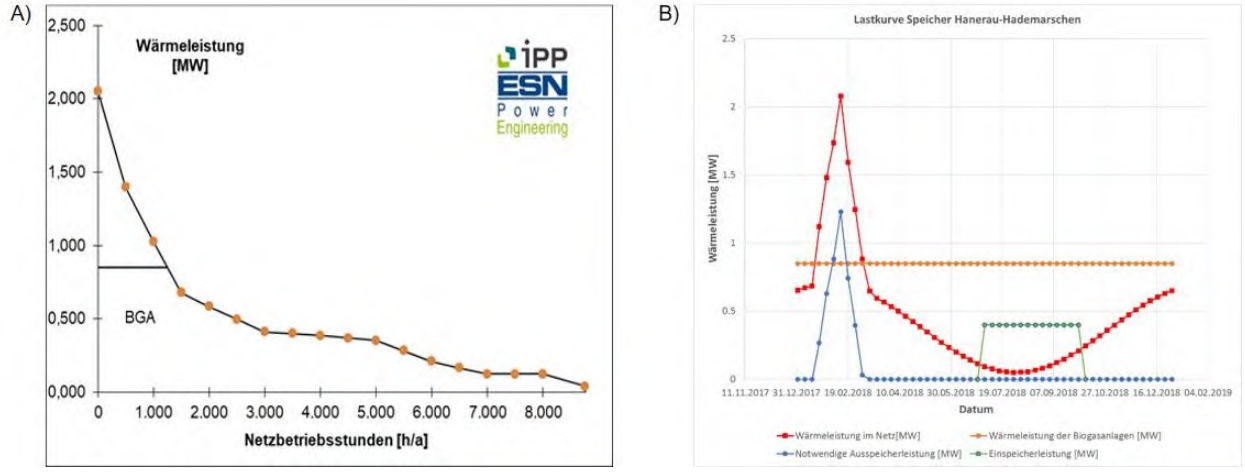


Abb. 2: A) Wärmeleistung über Netzbetriebsstunden (Prognose der Firma IPP-ESN). B) Daraus abgeleiteter zeitlicher Verlauf der Lastkurven am Standort Hanerau-Hademarschen. Dargestellt ist die geforderte Wärmeleistung im Netz (rote Linie), die konstante Wärmeproduktion der Biogasanlagen (orange Linie), die notwendige Ausspeicherleistung des Speichers, d.h. die Speicherentladung im Winter (blaue Linie), sowie die Beladung des Speichers im Sommer (grüne Linie).

Annahmen zur Simulation des ATES-Systems

Für die Simulation des Betriebsverhaltens des ATES-Systems wurden folgende Annahmen getroffen:

Geologische Gegebenheiten:

Im Rahmen der Vorstudie wurden die geologischen Gegebenheiten wie folgt idealisiert und ohne genauere Differenzierung aus den oben dargestellten Bohrprofilen abgeleitet (Abb.1). Die Parameter werden dabei alle als räumlich konstant angenommen und variieren nicht mit der Temperatur.

• Aquifermächtigkeit (m):	10
• Aquifertiefe (m unter GOK):	40-50
• hydraulischer Gradient Aquifer:	0 (keine natürliche Hintergrundströmung)
• natürliche Aquifertemperatur (°C):	10
• hangende / liegende Schicht:	Geschiebemergel (GM)

Material	Wärmekapazität [MJ/m³/K]	Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]	Permeabilität * [m²]	Porosität [-]
Aquifer	2,7	1,8	$1{,}3*10^{-11}$ / $1{,}3*10^{-12}$	0,35
Geschiebemergel	2,4	1,8	0	0,35

*** horizontal / vertikal**

Kennziffern des ATES-Systems:

• Brunnenanzahl:	2 als eine Doublette, im Aquifer voll verfiltert
• Brunnenanströmung:	Radialsymmetrisch
• räumliche Modellsystemgröße:	0-90 m u. GOK (vertikal) / 300 m (horizontal)
• Diskretisierung:	unstrukturiertes Finite-Elemente-Gitter
• Wärmeflüsse über Systemgrenzen:	0* (vertikal)/ 0** (horizontal)
• simulierte Grundwasserströmungsprozesse:	Advektion und dichtegetriebene Konvektion
• simulierte Wärmetransportprozesse:	Wärmekonvektion, Wärmeleitung, Wärmedispersion
• Erstbeladungszeit (Jahre):	2
• Beladetemperatur (°C):	60
• Entladetemperatur (°C):	10, nach Wärmetauscher an Oberfläche
• Betrieb:	gemäß Lastkurve; Vorgabe von Wärmelast und Temperaturanforderungen, Bestimmung der notwendigen Pumprate
• simulierte Betriebszeit (Jahre):	10
• zeitliche Auflösung (Wochen):	1

*** Vertikale Wärmeflüsse über die Modellsystemgrenzen, wie der zwischen Geländeoberkante und dem geologischen Untergrund existierenden saisonale/wetterbedingte Temperaturgang oder der geothermische Gradient, müssen in der simulierten Wärmespeichertiefe nicht berücksichtigt werden. Beide führen in dieser Tiefe zu keiner merklichen Temperaturzunahme bzw. Änderung der Wärmebilanz.**

**** Das Modellgebiet ist so groß gewählt, dass horizontale Wärmeflüsse über die Modellsystemgrenzen keinen Einfluss auf das Modellergebnis haben.**

Annahmen zur Simulation des BTES-Systems

Für die Simulation des Betriebsverhaltens des BTES-Systems wurden folgende Annahmen getroffen:

Geologische Gegebenheiten:

Im Rahmen der Vorstudie wurden die geologischen Gegebenheiten wie folgt idealisiert und ohne genauere Differenzierung aus den oben dargestellten Bohrprofilen abgeleitet (Abb. 1). Grundwassergeringleiter werden grob vereinfachend als Geschiebemergel (GM) bezeichnet, was in diesem Kontext nicht als sedimentologische Charakterisierung zu verstehen ist. Die Parameter werden dabei alle als räumlich konstant angenommen und variieren nicht mit der Temperatur.

• Geschiebemergelmächtigkeit (m):	> 70
• genutzte GM-Tiefe (m unter GOK):	1-71, siehe Abb. 3
• hydraulischer Gradient:	0
• natürliche GM-Temperatur (°C):	10
• hangende Schicht:	wasserteilgesättigter Sand (wtgS)
• liegende Schicht:	Geschiebemergel
• wtgS-Mächtigkeit (m):	1
• wtgS-Tiefe (unter GOK) (m):	0-1

Material	Wärmekapazität [MJ/m³/K]	Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]	Permeabilität * [m²]	Porosität [-]
Wärmeträgerfluid	4,2	0,65	-	1
Verrohrung	1,8	0,4	0	0
Bohrlochverfüllung	2,0	2,4	0	0
Geschiebemergel	2,3	1,8	0	0,35
wasserteilgesättigter Sand	1,5	0,5	0	0,35

Kennziffern des BTES-Systems:

- simulierte Erdwärmesondenanzahl: 50, 100, 150, 200, 300
- Ausbau der Erdwärmesonden: 70 m lang; Doppel-U-Rohr mit Zementhinterfüllung des Bohrlochs
- Erdwärmesondenabstand (m): 3 und 5
- Modellsystemgröße (m): 3 und 5
- Diskretisierung: unstrukturiertes Finite-Elemente-Gitter
- Wärmeflüsse über Systemgrenzen: vertikal: unten 0, oben Wärmeaustrag in die Atmosphäre aufgrund der Jahresmitteltemperatur; horizontal: 0
- simulierte Grundwasserströmung: keine
- simulierte Wärmetransportprozesse: Wärmekonvektion, Wärmeleitung und Wärmedispersion in der Erdwärmesonde, Wärmeleistung im geologischen Untergrund und der Isolationsschicht
- Erstbeladungszeit (Jahre): 1 bis 2; je nach Sondenkonfiguration
- Beladetemperatur (°C): 60
- Entladetemperatur (°C): 10; nach Wärmetauscher an Oberfläche
- Betrieb: Alle Erdwärmesonden im Parallelbetrieb gemäß der Lastkurve
- simulierte Betriebszeit (Jahre): 3
- zeitliche Auflösung (Woche): 1

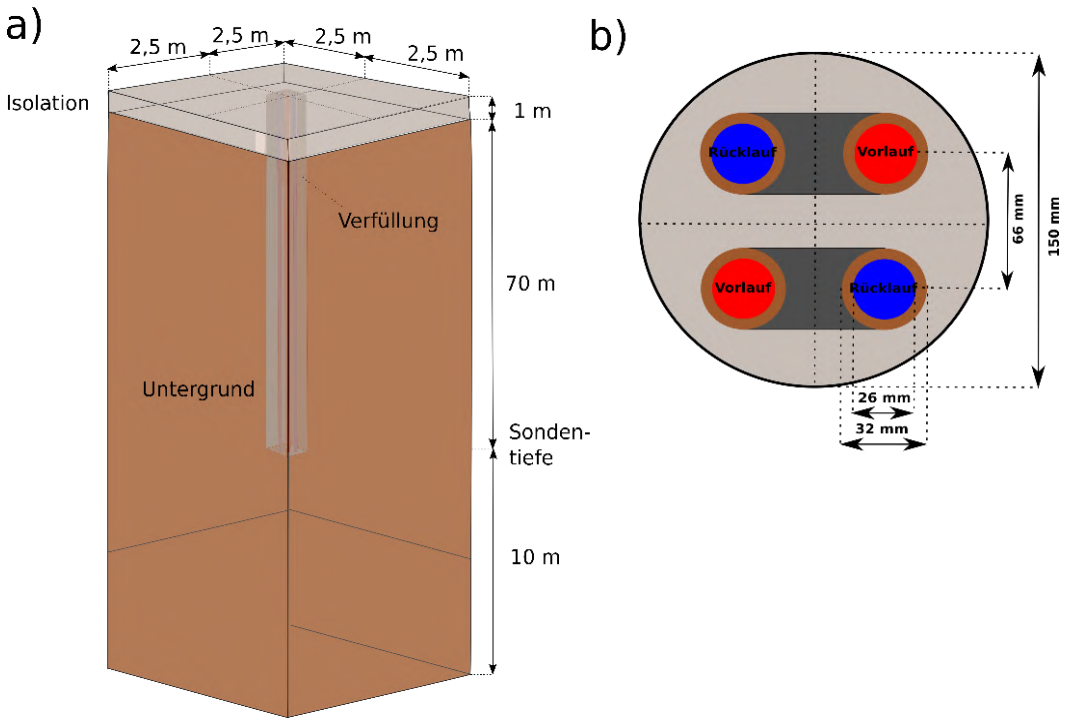


Abb. 3: Erdwärmesondenspeicher: A) Detailmodell einer Erdwärmesonde mit umgebendem Untergrund und den Modellabmessungen. Die als „Isolation" bezeichnete Schicht entspricht eine wasserteilgesättigten Sandschicht. B) Abmessungen der im Modell angenommenen Erdwärmesonde und des Bohrlochs.

6. Simulationsergebnisse für die „Option ATES-System“

Die Simulationsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die geforderten Entladeraten zur Abdeckung des „winterlichen“ Wärmebedarfs lassen sich im angenommenen Szenario mit einem ATES-System gewährleisten.
- Die angenommene Wärmeeinspeicherung über 21 Wochen bei konstant 0,4 MW ist ausreichend, um die benötigten Energiemengen zur Verfügung zu stellen und die geforderten Wärmeleistungen zu unterstützen.
- Der direkt im zyklischen Betrieb genutzte Speicherbereich erreicht einen „quasistationären“ radialen Abstand zum „warmen“ Brunnen von ca. 25 m, in Abb. 4 durch die hohen Temperaturen im Aquifer erkennbar. Damit ergibt sich ein genutztes Speichervolumen von ca. 20000 m³. Der Auswirkungsbereich des Speichers, der durch erhöhte Temperaturen im Untergrund gekennzeichnet ist, ist dabei deutlich größer und erreicht eine vertikale Erstreckung von ca. 25 m im Hangenden und Liegenden des Aquifers und bis zu 80 m Abstand vom Brunnen (Abb. 4).

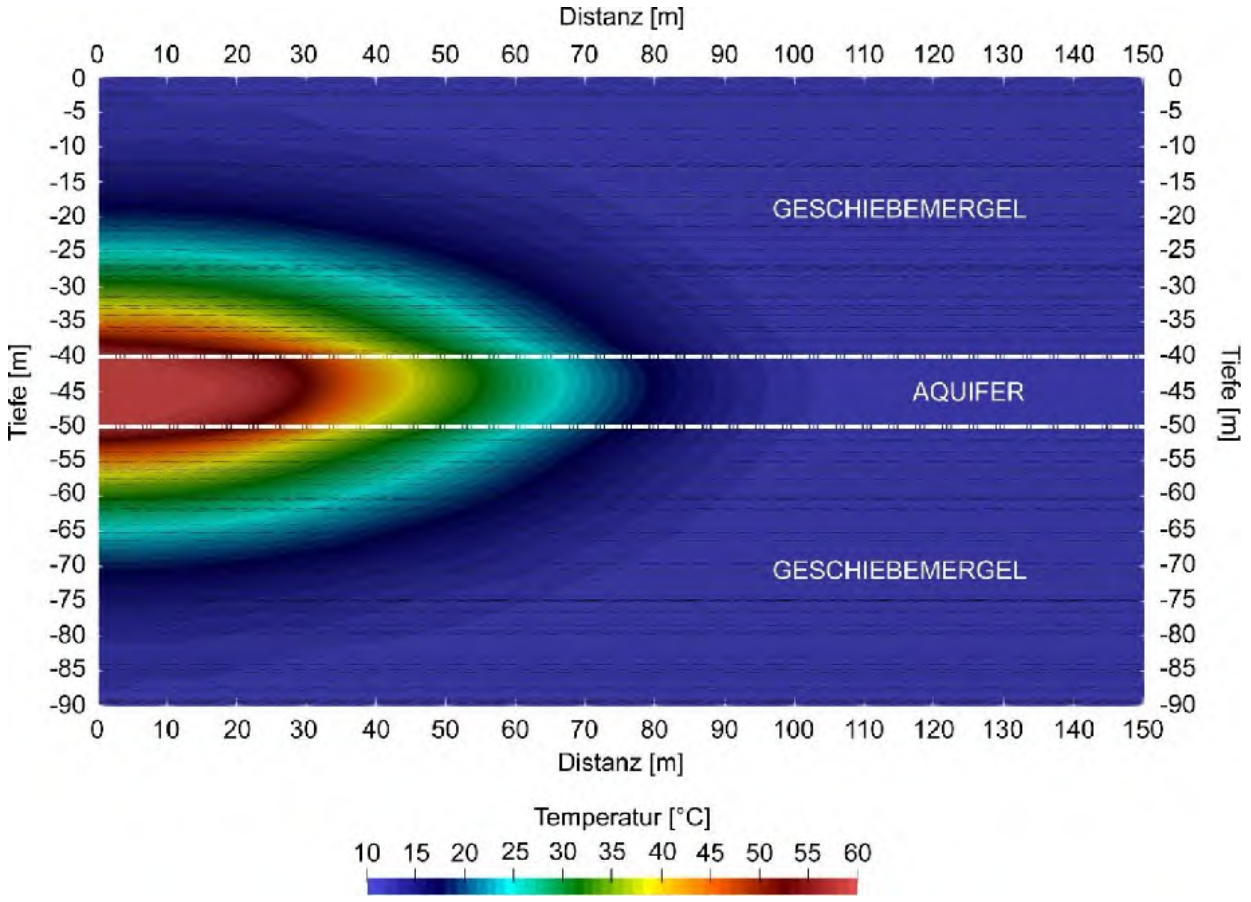


Abb. 4: Vertikaler Schnitt ATES-System: Simulation der Temperaturverteilung am warmen Brunnen nach 10 Betriebsjahren zum Ende einer Speicherbeladungsphase. Der Brunnen ist am linken Modellrand zwischen 40 und 50 m Tiefe im Aquifer lokalisiert, Temperaturerhöhungen werden aber auch für die tiefer liegenden (größer 50 m unter GOK) und die hangenden Geschiebemergelschichten (kleiner 40 m unter GOK) prognostiziert. Aufgrund des gewählten radialsymmetrischen Ansatzes ist der Brunnen am linken Bildrand abgebildet, modelltechnisch liegt dieser in der Mitte.

- Das Temperaturniveau bei der Wärmeausspeicherung liegt anfänglich bei ca. 60 °C und fällt mit fortschreitender Zeit auf ca. 50 °C ab (Abb. 5). Modelltechnisch wird dabei die abnehmende Temperatur bei der Ausspeicherung durch eine erhöhte Pumpleistung automatisch kompensiert, um die vorgegebene Wärmeleistung zu erreichen.
- Die zur Wärmeeinspeicherung benötigten Pumpraten betragen ca. 2 l/s (bzw. 7,2 m^3/h), für die Wärmeausspeicherung liegen die benötigten Pumpraten zwischen ca. 2 l/s bis ca. 7 l/s (7,2 m^3/h bis 25,2 m^3/h), je nach Leistungsanforderung und Temperatur des geförderten Wassers (Abb. 5).
- Die Effizienz des simulierten ATES-Systems, hier betrachtet als der Anteil der rückholbaren Wärme an der Wärmeeinspeicherung, liegt bei ca. 50 bis 60 % und kann sich im Langzeitbetrieb noch um 5-10 % erhöhen. Die restliche Wärme verbleibt im Untergrund in Form der Wärmeverluste in die angenommenen Geschiebemergelschichten ober- und unterhalb des Aquifers bzw. im Aquifer selbst (Abb. 4 und Punkt weiter oben). Dabei liegt diese Wärme typischerweise bei geringeren bis niedrigen Temperaturen vor. Die den in Abb. 4 gezeigten hohen Temperaturen entsprechende Wärme wird während der nächsten Entladephase wieder entnommen, sodass dort die Temperaturen auf ca. 40 °C zurückgehen.

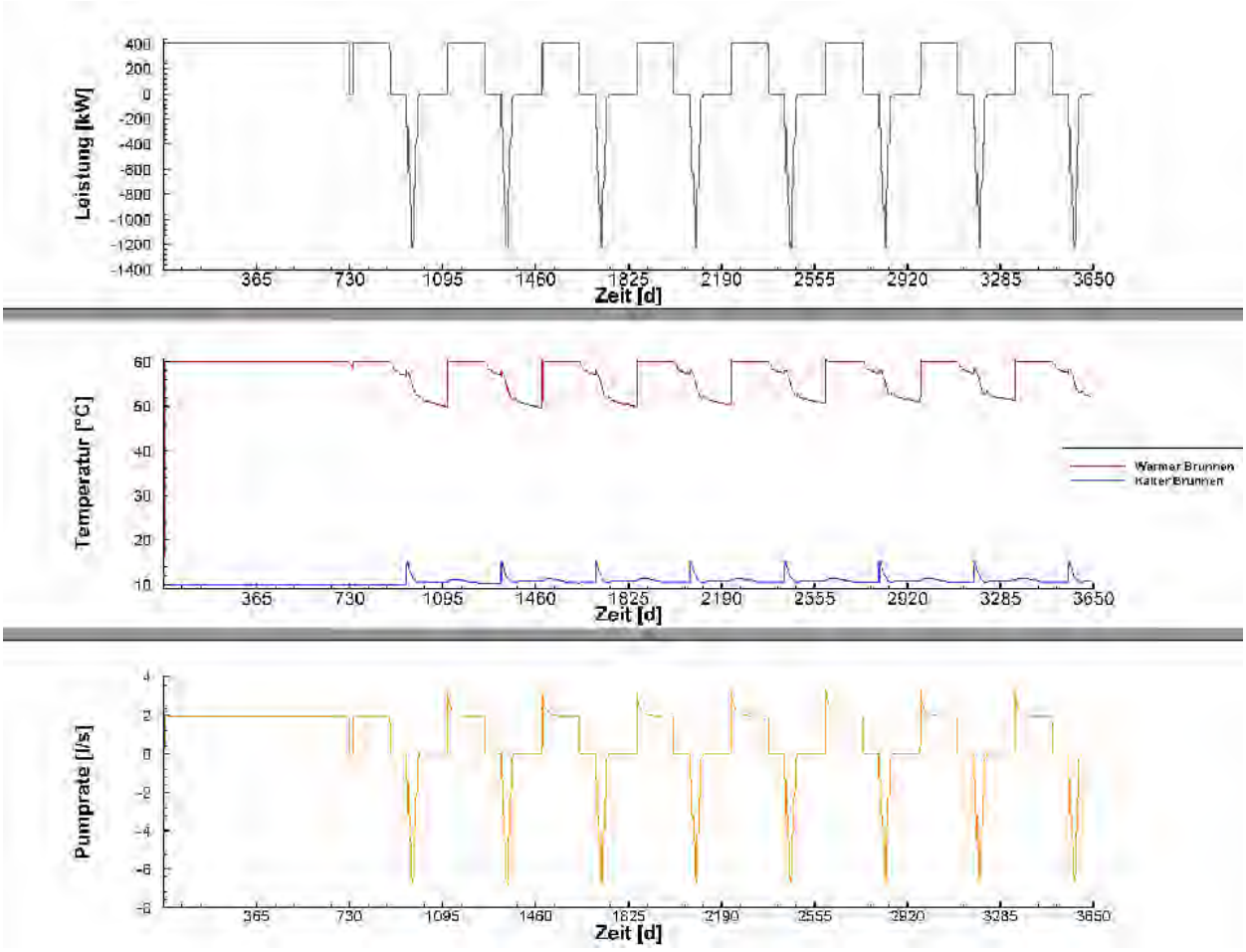


Abb. 5: ATES-System: Oben: Zeitlicher Verlauf der Wärmeleistung (positiv = Speicherbeladung, negativ = Speicherentladung); Mitte: Zeitlicher Verlauf der Temperatur am warmen (rot) und am kalten (blau) Brunnen; Unten: Zeitlicher Verlauf der Pumprate (positiv = Einspeicherung am warmen Brunnen, negativ = Ausspeicherung am warmen Brunnen).

7. Simulationsergebnisse für die „Option BTES-System“

Die Simulationsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die geforderten Entladeraten zur Abdeckung des „winterlichen“ Wärmebedarfs lassen sich im angenommenen Szenario auch mit einem BTES-System gewährleisten.
- Die Anzahl der benötigten Erdwärmesonden (und damit auch ein wesentlicher Teil der Investitionskosten eines BTES-Systems) wird neben den thermischen Untergrundeigenschaften durch die Temperaturspreizung zwischen Be- und Entladungsphasen, sowie durch den Abstand der Erdwärmesonden bestimmt. Sensitivitätsberechnungen zeigen (Abb. 6), dass zum Erreichen der Spitzenleistung von 1,25 MW mindestens 150 Erdwärmesonden benötigt werden, um noch eine nutzbare Temperaturdifferenz von 30-40 °C zu erhalten. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der Erdwärmesonden ist dies im gezeigten Fall durch einen geringeren Abstand der Erdwärmesonden von 3 m besser zu erreichen als für größere Abstände, da dabei die höheren Speichertemperaturen vorliegen.
- Die Temperaturen im zirkulierenden Wärmeträgerfluid variieren in diesem Szenario zwischen ca. 75-85 °C bei Beladung (hier über 14 Wochen im „Sommer“ mit 0,4 MW) und sinken auf ca. 35 °C in der Ausspeicherungsspitze ab (Abb. 6).
- Durch Installation zusätzlicher Erdwärmesonden kann diese Temperaturspreizung verringert werden. Die Temperaturmaxima und Minima betragen bei 200 Erdwärmesonden 75 °C bzw. 40 °C, bei 300 Sonden noch 70 °C bzw. 50 °C (Abb.6).

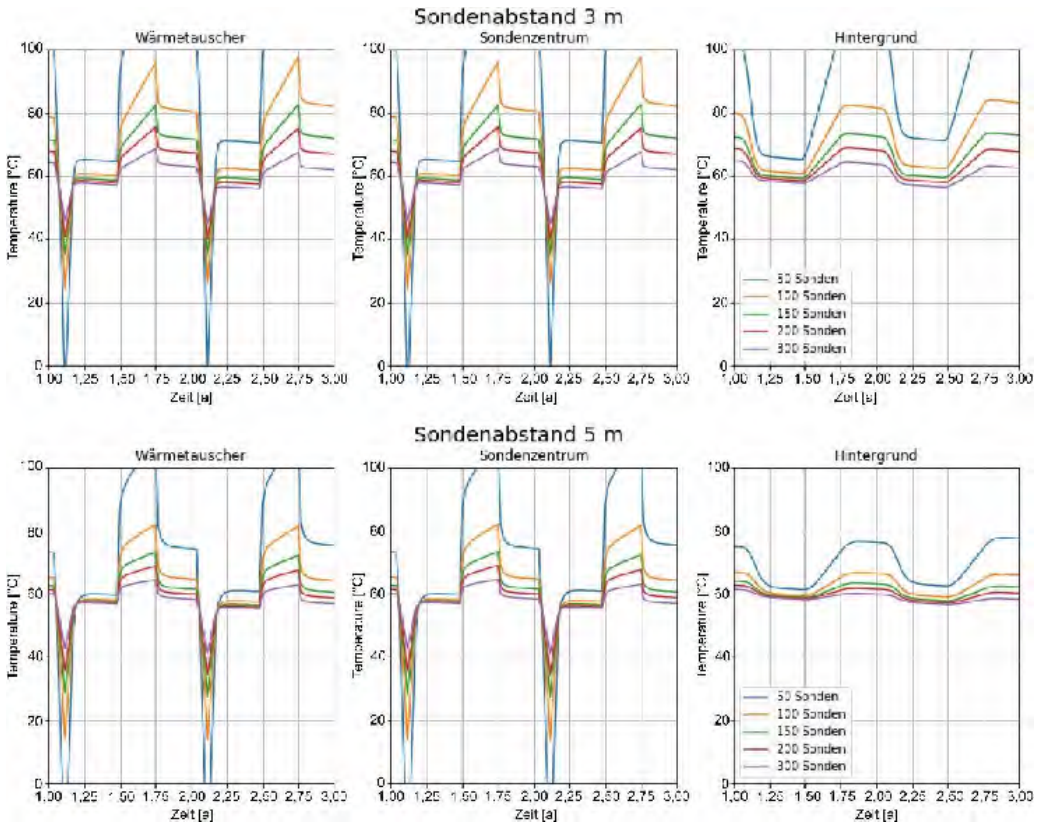


Abb. 6: Erdwärmesondenspeicher: Temperaturverlauf am Übergang zur Geländeoberkante (hier als Lokation für den Wärmeaustauscher angenommen) (links), in der Bohrung (Mitte) und zwischen den Erdwärmesonden (rechts) für einen Sondenabstand von 3 m (oben) und 5 m (unten). Die unterschiedlichen Temperaturen resultieren aus den Annahmen einer unterschiedlichen Anzahl an Erdwärmesonden, aus denen der Speicher jeweils aufgebaut ist.

- Die Effizienz des simulierten BTES-Systems, hier betrachtet als der Anteil der rückholbaren Wärme an der Wärmeeinspeicherung, liegt bei ca. 60-65 %.
- Der Durchmesser des BTES-Systems an der Erdoberfläche beträgt bei 150 Sonden ca. 45 m, bei 300 Sonden ca. 60 m. Dies entspricht Speichergrößen von ca. 27000 m^3 bzw. 50000 m^3 im Untergrund.

8. Erste Kostenabschätzung für Bau und Betrieb der untersuchten Wärmespeichertypen für das vorgegebene Lastszenario

Im Rahmen dieser Vorstudie wurden im Wesentlichen die Bohrkosten, die i.d.R. einen bedeutenden Teil der Investitionskosten ausmachen, betrachtet. **Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Kostenschätzung allenfalls orientierenden Charakter hat und gerade bei dem ATES-System die tatsächlichen Investitionskosten und insbesondere Betriebskosten systematisch unterschätzt.**

Ergänzend sind in einer detaillierteren Machbarkeitsstudie daher noch die weiteren bedeutenden investiven Anlagenkosten wie u.a.:

- Kosten für geologische und hydrogeologische Erkundung
- Kosten für Hochtemperaturpumpen
- Kosten für Wärmetauscher und Filtersysteme
- Kosten für allgemeinen Anlagenbau
- Kosten für ein Monitoringsystem für die geologischen Hochtemperaturspeicher

zu erfassen. Beispielsweise können die Kosten für 2 geeignete Hochtemperaturpumpen die hier kalkulierten Bohrkosten übersteigen.

Entsprechend sind für die Betriebskosten u.a. noch folgende Positionen zu berücksichtigen:

- Wartung und Betrieb der Pumpensysteme
- Wartung und Betrieb der Wärmetauscher- und Filtersysteme
- Grundwasser-Monitoring für Betrieb der Hochtemperaturwärmespeicher

Abschätzung der Bohrkosten:

Zur Schätzung der Bohrkosten wurde ein Angebot der Firma Ivers Brunnenbau GmbH vom 21.12.2017 verwendet. Es wird empfohlen, nach genauerer Kenntnis für den Standort des Wärmespeichers und nach besserer Kenntnis der dort vorliegenden Geologie, ein aktuelles Angebot erstellen zu lassen.

ATES-System:

Entsprechend der Simulationen wird ein Grundwasserleiter in 50 m Tiefe mit einer Mächtigkeit von 10 m (Gesamttiefe 60 m) angenommen. Die vorgesehene Brunnendublette erfordert zwei Brunnen, die über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters (10 m) verfiltert sind. Als Bohrverfahren wird ein Trockenbohrverfahren empfohlen, da dieses Verfahren bei der vorgesehenen Tiefe etwas kostengünstiger als ein Spülbohrverfahren ist. Die Kosten für Bohrungen und Brunnenausbau werden auf rund 28.000,- € zzgl. Umsatzsteuer geschätzt (Tab. 1).

Tabelle 1: Kostenschätzung nach Angebot Ivers Brunnenbau GmbH vom 21.12.2017 für Bohrkosten und Brunnenausbau einer Brunnendublette.

		1 Bohrung				2 Bohrungen			
		Menge	Einheit	EP	Gesamtpreis	Menge	Einheit	EP	Gesamtpreis
1	**Baustelleneinrichtung**								
1.1	Baustelle einrichten, Gerätetransport	1	psch	1.855,00 €	1.855,00 €	1	psch	1.855,00 €	1.855,00 €
1.2	Baustellenräumung	1	psch	1.345,00 €	1.345,00 €	1	psch	1.345,00 €	1.345,00 €
1.4	Auf- Abbau Trockenbohranlage	1	Stk	100,00 €	100,00 €	2	Stk	100,00 €	200,00 €
					3.300,00 €				**3.400,00 €**
2	**Bohrung + Brunnenausbau**								
2.1	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 0-10m	10	m	145,00 €	1.450,00 €	20	m	145,00 €	2.900,00 €
2.2	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 10-20m	10	m	135,00 €	1.350,00 €	20	m	135,00 €	2.700,00 €
2.3	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 20-30m	10	m	125,00 €	1.250,00 €	20	m	125,00 €	2.500,00 €
2.4	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 30-40m	10	m	120,00 €	1.200,00 €	20	m	120,00 €	2.400,00 €
2.5	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 40-50m	10	m	115,00 €	1.150,00 €	20	m	115,00 €	2.300,00 €
2.5	Abteufen Trockenbohrverfahren DN219mm 50-60m	10	m	110,00 €	1.100,00 €	20	m	110,00 €	2.200,00 €
2.9	Lieferung & Einbau PVC Vollrohre DN100	50	m	27,00 €	1.350,00 €	100	m	27,00 €	2.700,00 €
2.10	Lieferung & Einbau PVC Filterrohre DN100	10	m	36,00 €	360,00 €	20	m	36,00 €	720,00 €
2.11	Lieferung & Einbau Filterkiesschüttung	10	m	28,00 €	280,00 €	20	m	28,00 €	560,00 €
2.12	Lieferung & Einbau Tonabdichtung	50	m	33,00 €	1.650,00 €	100	m	33,00 €	3.300,00 €
2.14	Klarpumpen	1	Stk	250,00 €	250,00 €	2	Stk	250,00 €	500,00 €
2.15	Unterflurkappe	1	Stk	750,00 €	750,00 €	2	Stk	750,00 €	1.500,00 €
					12.140,00 €				**24.280,00 €**
	Summe				***15.440,00 €***				***27.680,00 €***
			zzgl. 19% USt.		2.933,60 €		zzgl. 19% USt.		5.259,20 €
					18.373,60 €				***32.939,20 €***

BTES-System:

Angenommen werden 150 Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 70 m. Hier wird das für diesen Fall etwas kostengünstigere Spülbohrverfahren vorgesehen. Aufgrund der großen Anzahl erforderlicher Erdwärmesonden sind die Investitionskosten für eine BTES-Anlage mit mehr als 1.300.000,- € zzgl. Umsatzsteuer (Tab. 2) deutlich höher als für eine ATES-Anlage, auch wenn sicherlich noch eine Kostenoptimierung möglich ist.

Tabelle 2: Kostenschätzung nach Angebot Ivers Brunnenbau GmbH vom 21.12.2017 für Bohrkosten Ausbau 150 Erdwärmesonden.

		1 Bohrung				150 Bohrungen			
		Menge	Einheit	EP	Gesamtpreis	Menge	Einheit	EP	Gesamtpreis
1	**Baustelleneinrichtung**								
1.1	Baustelle einrichten, Gerätetransport	1	psch	4.522,00 €	4.522,00 €	1	psch	4.522,00 €	4.522,00 €
1.2	Baustellenräumung	1	psch	3.850,00 €	3.850,00 €	1	psch	3.850,00 €	3.850,00 €
1.3	Auf- Abbau Bohranlage / Umsetzen	1	Stk	655,00 €	655,00 €	150	Stk	655,00 €	98.250,00 €
					9.027,00 €				**106.622,00 €**
2	**Bohrung + Brunnenausbau**								
2.1	Auf- Abbau Spülkontainer	1	psch	2.250,00 €	2.250,00 €	4	psch	2.250,00 €	9.000,00 €
2.2	Abteufen Spülbohrverfahren DN240mm 0-50m	50	m	55,00 €	2.750,00 €	7500	m	55,00 €	412.500,00 €
2.3	Abteufen Spülbohrverfahren DN240mm 50-100m	20	m	87,00 €	1.740,00 €	3000	m	87,00 €	261.000,00 €
2.4	Abteufen Spülbohrverfahren DN240mm 100-150m	0	m	125,00 €	0,00 €	0	m	125,00 €	0,00 €
2.5	Abteufen Spülbohrverfahren DN240mm 150-200m	0	m	145,00 €	0,00 €	0	m	145,00 €	0,00 €
2.9	Lieferung & Einbau Erdwärmesonde Doppel U-Rohr DA32 (50m)	1	Stk	460,00 €	460,00 €	150	Stk	460,00 €	69.000,00 €
2.10	Lieferung & Einbau wärmeleitende Verfüllung	70	m	42,00 €	2.940,00 €	10500	m	33,00 €	346.500,00 €
2.11	Spülungsmittel	100	kg	6,50 €	650,00 €	1500	kg	6,50 €	9.750,00 €
2.12	Entsorgung Spülflüssigkeit	5	m3	89,00 €	445,00 €	750	m3	89,00 €	66.750,00 €
2.13	Entsorgung Bohrgut	3	m3	71,00 €	213,00 €	450	m3	71,00 €	31.950,00 €
					11.448,00 €				**1.206.450,00 €**
	Summe				***20.475,00 €***				***1.313.072,00 €***
			zzgl. 19% USt.		3.890,25 €		zzgl. 19% USt.		249.483,68 €
					24.365,25 €				***1.562.555,68 €***

9. Diskussion der derzeitigen offenen allgemeinen und ortspezifischen Fragen zum Einsatz der untersuchten Wärmespeichertypen am Standort Hanerau-Hademarschen mit besonderer Berücksichtigung ihrer potenziellen Umweltauswirkungen

Dimensionierung und Betriebsverhalten der geologischen Wärmespeicher

Generell ist der Bau und Betrieb von ATES- und BTES-Anlagen heutzutage wie weiter oben skizziert fast bzw. als Stand der Technik anzusehen (TRL 7-9). Trotzdem sind folgende Punkte im Rahmen der Vorstudie zu berücksichtigen.

Ortsspezifisch:

Die in den numerischen Modellen angenommenen geologischen Schichtmächtigkeiten wurden für diese Vorstudie lediglich aus frei verfügbaren Bohraufschlüssen abgeleitet. Evtl. sind zusätzliche geologische Informationen auf Anfrage vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume erhältlich. Aufgrund der geologisch gegebenen Variabilität der Schichtmächtigkeiten am Standort Hanerau-Hademarschen sind weitere Erkundungsbohrungen unerlässlich, wenn die zukünftige Lokation eines geologischen Wärmespeichers von den Standorten der bisherigen Bohrungen über 100 m abweicht. Die Befunde einer entsprechenden Erkundungsbohrung machen letztendlich auch erst die substantiierte Auswahl zwischen den hier untersuchten geologischen Wärmespeichersystemen möglich.

Eine detaillierte Auswertung und Bewertung der vorhandenen und neu gewonnenen Bohrungsdaten und der abgeleiteten hydraulischen und thermischen Kenngrößen würde die Unsicherheit bei der Speicherlokalisierung und der Dimensionierung verringern. Dies gilt insbesondere für das ATES-System, da hier die hydraulische Durchlässigkeit, sowie deren Richtungsabhängigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des Speichers haben. Bisher wurden für diese Materialparameter typische Werte angenommen, sodass eine ortsspezifische Konkretisierung sinnvoll ist, um die Speicherdimensionen und beispielsweise die Sondenanzahl besser abschätzen zu können.

Ebenso besteht noch Untersuchungsbedarf hinsichtlich der großräumigeren hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort Hanerau-Hademarschen bezüglich der lateralen Verbreitung der Speicherschichten, als auch der angenommenen geringen vorliegenden Grundwasserfließgeschwindigkeit im Aquifer, um die dadurch verursachten Wärmeverluste in die Planung einbeziehen zu können.

Betriebsspezifisch:

Die Effektivität und Effizienz von i.d.R. „trägen“ geologischen Wärmespeichern, aber auch den vergleichbaren Erdbecken-Wärmespeichern, hängt ganz allgemein vom Anforderungsprofil der thermischen Lastkurven ab. Das in dieser Vorstudie verwendete Lastprofil mit relativ hohen thermischen Spitzenleistungen, verbunden mit einem relativ hohen Temperaturniveau, welches zur Einbindung in das Wärmenetz wünschenswert ist, illustriert, dass geologische Wärmespeicher idealerweise mit geringeren Leistungen bei großer Kapazität gefahren werden, wie dies im saisonalen Betrieb der Fall ist. Die Darstellung hoher Wärmeleistungen bedingt u.a. die hohen

Investitionskosten beim BTES-System, da die Gesamtwärmetauscherfläche entsprechend skaliert werden muss.

In einer Machbarkeitsstudie wäre daher zu überprüfen, ob die geforderten kurzfristigen thermischen Spitzenleistungen nicht durch technische Alternativen systemdienlicher zu erbringen sind. Perspektivisch sollten nachhaltige Wärmeversorgungskonzepte für den Standort entwickelt werden, die den Spezifika geologischer Wärmespeicher (hoher Wärmekapazität mit relativ geringer Leistung) eher entsprechen und die Wärmespeicher dabei eher im saisonalen Betrieb eingesetzt werden. Ein solches Szenario würde sich z.B. bei einem weiteren Ausbau des Wärmenetzes und dadurch einer höheren saisonalen Wärmelast automatisch ergeben. Ein Vergleich zwischen geologischen Hochtemperatur- und Niedertemperatur-Speichersystemen und Erdbeckenwärmespeichersystemen ist daher auch nur für ein entsprechend ausgearbeitetes Szenario sinnvoll.

Umweltauswirkungen:

Generell sind die thermischen, hydrochemischen, mikrobiologischen, hydraulischen und geomechanischen Umweltauswirkungen für die in Frage kommenden Temperaturbereiche bekannt, allerdings variieren diese ortspezifisch erheblich. Zumindest für den Hochtemperaturbereich (>40 °C) sind heute daher begleitende Erkundungs- und Monitoringmaßnahmen hinsichtlich des Aufbaus und Betriebs entsprechender geologischer Wärmespeicher unerlässlich.

Trotz der i.d.R. geringen hydraulischen, hydrochemischen, mikrobiologischen und geomechanischen Auswirkungen wird eine Prognose des unterirdischen Raumbedarfs des Wärmespeichers, d.h. des temperaturbeeinflussten Raums, auch in seiner zeitlichen Entwicklung empfohlen.

Genehmigungssituation:

Geologische Wärmespeichersysteme sind auch im Hochtemperaturbereich genehmigungsfähig, müssen jedoch gerade im Hinblick auf wasserrechtliche Aspekte gut abgesichert sein, was i.d.R. zu einem erhöhten Erkundungs- und Monitoringaufwand führt. Aufgrund der potentiellen Bedeutung entsprechender geologischer Wärmespeichersysteme für den Klimaschutz besteht zumindest in einigen kommunalen Verwaltungen ein hohes Interesse, hierzu Erfahrungen zu sammeln, um auch verwaltungsrechtlich Klimaschutz und Grundwasserschutz zu vereinbaren.

10. Herleitung von Empfehlungen zum weiteren Vorgehen im Hinblick auf die Umsetzung geologischer Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen

Als Fazit der Vorstudie lässt sich ziehen:

- Die geologische Situation in Hanerau-Hademarschen ist für den Betrieb saisonaler Wärmespeicher mit ATES- und BTES-Systemen nach jetzigem Kenntnisstand und für die nachgefragte simulierte Lastkurve grundsätzlich geeignet. Die Entscheidung

zwischen den beiden geologischen Wärmespeichersystemen wird auch davon abhängig sein, welche konkreten geologischen und hydrogeologischen Bedingungen an einem noch auszuwählenden Standort in der Gemeinde Hanerau-Hademarschen bei einer Erkundungsbohrung vorgefunden werden.

- Perspektivisch ist zu prüfen, inwieweit die Lastgänge gerade im Hinblick auf thermische Grund- und Spitzenlasten im Rahmen der Veränderung der Gebäudetechnik so modifiziert werden können, dass eine verbesserte Nutzung der thermischen Leistung der Biogasanlagen und möglicherweise zukünftiger Solarthermieanlagen den Eigenschaften geologischer Wärmespeicher (hohe Wärmekapazität, relativ geringe Leistung) entspricht. Davon wird auch abhängig sein, ob zukünftig mit Nieder- oder Hochtemperaturwärmespeichern am Standort gearbeitet werden soll.
- Nach den Ergebnissen der numerischen Modellierungen ist das ATES-Hochtemperatur-System für den Standort gegenüber dem BTES-Hochtemperatur-System zu präferieren, da das ATES-System höhere Wärmeleistungen erbringen kann. Zudem ist das ATES-System in der Dimensionierung flexibler und kann schneller und kostengünstiger aus- bzw. rückgebaut werden. Ohne dies in der Vorstudie explizit untersucht zu haben, gilt dies auch prinzipiell für den Niedertemperaturbereich.
- Der Vergleich der benötigten Bohrkosten zwischen dem ATES-System (ca. 28 T€ zzgl. Umsatzsteuer) und dem BTES-System (ca. 1300 T€ zzgl. Umsatzsteuer) ergibt zunächst klare Vorteile für das ATES-System. Allerdings sind hier noch andere bedeutende Kostenpositionen nicht berücksichtigt, die gerade für den Hochtemperaturbereich, sowohl bei den Investitionskosten (u.a. bei den Pumpen), als auch im Betrieb bedeutend sein können. Aufgrund der generell geringen Erfahrungen zu den Investitions- und Betriebskosten von ATES-Hochtemperatur-Systemen wird die Beteiligung von Firmen empfohlen, die bereits entsprechende Prototypen umgesetzt haben (z.B. Consulaqua mit dem Hochtemperatur-ATES-System in HH).
- Fragen zu Umweltaspekten sind insbesondere bei Bau und Betrieb von geologischen Wärmespeichersystemen im Hochtemperaturbereich zu beachten und bedürfen intensivierter Erkundungs- und Monitoringaktivitäten.

Aus diesem Fazit leiten sich folgende Empfehlungen bzw. Angebote ab:

- Falls auf Basis dieser Vorstudie geologische Wärmespeicher im Nieder- oder Hochtemperaturbereich seitens der Entscheidungsträger für den Standort Hanerau-Hademarschen als Bestandteil einer zukünftigen klimaneutralen Wärmeversorgung gesehen werden, steht das in Gründung befindliche Kompetenzzentrum Geo-Energie der CAU-Kiel im Rahmen seines Auftrags bei Anfragen bis zum 15. Mai 2019 für folgende Aufgaben zur Verfügung:
    - Einwerbung von Drittmitteln und Fördermitteln zur weiteren geologischen, hydrogeologischen, hydrochemischen und geomechanischen Erkundung, inkl. der Berichterstattung
    - Einwerbung von Drittmittel zur numerischen Modellierung des Speicherbetriebs von ATES- und BTES-Systemen gemäß detaillierter Lastkurvenszenarien

seitens der Gemeinde Hanerau-Hademarschen bzw. der damit beauftragten Firmen; Erstellung einer entsprechenden Machbarkeitsstudie

- Einwerbung von Drittmitteln zur Erarbeitung eines Betriebs- und Monitoring-konzeptes zur Überwachung und Optimierung der betrieblichen Funktion des gewählten geologischen Wärmespeichersystems (u.a. Minimierung von Fällungs- und Cloggingprozessen am Wärmetauscher) in enger Kooperation mit den zuständigen Genehmigungsbehörden
- Einwerbung von Drittmitteln zur Prüfung der thermischen Eignung von derzeit potentiell noch kritischen Systemkomponenten von Hochtemperaturspeichern (u.a. Pumpen, Filtersysteme, Stahllegierungen zur Vermeidung von Korrosion etc.)
- Einwerbung eines noch zu diskutierenden Drittmittelanteils zur Umsetzung eines entsprechenden Pilot- bzw. Demonstrationsvorhabens für einen geologischen Wärmespeicher am Standort Hanerau-Hademarschen

- Die Chancen für die Einwerbung entsprechender Drittmittel werden als hoch angesehen, wenn die Gemeinde Hanerau-Hademarschen einen geologischen Hochtemperatur-speicher favorisiert, da dieser dann einen nationalen und internationalen Referenzstand-ort für diese Technologie darstellen würde. Im Falle eines international schon wesentlich häufiger umgesetzten geologischen Niedertemperaturspeichers sollten vorrangig regionale bzw. kommunale Fördermittel adressiert werden.
- Neben der technologischen Bewertung und der Prüfung der Umweltverträglichkeit, der in Betracht kommenden geologischen Wärmespeicher, ist unbedingt die Akzeptanz der Bevölkerung für diese, national noch wenig bekannte, Wärmespeichertechnologie sicherzustellen. Das in Gründung befindliche Kompetenzzentrum Geo-Energie empfiehlt hierzu unbedingt im Vorfeld entsprechende Informationsveranstaltungen und steht dafür unentgeltlich zur Verfügung.

Literatur:

Bauer S, Pfeiffer T, Boockmeyer A, Dahmke A & Beyer C (2015): Quantifying Induced Effects of Subsurface Renewable Energy Storage. Energy Procedia, 76: 633–641.

Böttcher N, Watanabe N, Görke UJ, Kolditz O. (2016): Geoenergy Modeling I, Geothermal Processes in Fractured Porous Media. Springer.

Boockmeyer A & Bauer S (2014): High-temperature heat storage in geological media: high-resolution simulation of near-borehole processes. Géotechnique Letters 4: 151–156.

Boockmeyer A & Bauer S (2016): Efficient simulation of multiple borehole heat exchanger storage sites. Environmental Earth Science 75: 1–13. doi:10.1007/s12665-016-5773-4

Kolditz O, Bauer S, Bilke L, Böttcher N, Delfs J.-O, Fischer T, Görke U J, Kalbacher T, Kosakowski G, McDermott C I, Park C H, Radu F, Rink K, Shao H, Shao H B, Sun F, Sun YY, Singh A K, Taron J, Walther M, Wang W, Watanabe N, Wu Y, Xie M, Xu W & Zehner B (2012): OpenGeoSys: an open-source initiative for numerical simulation of thermo-hydro-mechanical/chemical (THM/C) processes in porous media. Environmental Earth Science 67: 589–599.

Kolditz O, Shao H, Wang W, Bauer S (Eds.) (2015) Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Fractured Porous Media: Modelling and Benchmarking, Closed-Form Solutions. Springer