

BERICHT ÜBER INGENIEUR- UND BERATUNGSLEISTUNGEN

Berichtsumfang

Machbarkeitsstudie: Regionale Nutzungsmöglichkeiten zur Integration sowie mögliche Verfahren zur Abführung prozessbedingter Abwärme aus Produktion und Großelektrolyse

Auftraggeber

Entwicklungsagentur Region Heide AöR

Hamburger Hof 3
25746 Heide

Auftragnehmer

IPP ESN POWER ENGINEERING GMBH

Rendsburger Landstraße 196 - 198
24113 Kiel

Ihr Ansprechpartner:

THOMAS LUTZ-KULAWIK

Tel.: +49 431 64959-815

E-Mail: t.lutz@ipp-esn.de

Auftraggeber: Entwicklungsagentur Region Heide AÖR
Hamburger Hof 3
25746 Heide

Ansprechpartner: Jana Rasch
Entwicklungsagentur Region Heide AÖR

Auftragnehmer: IPP ESN Power Engineering GmbH
Rendsburger Landstraße 196-198
24113 Kiel

Bearbeitung:

DIPL.-ING. THOMAS LUTZ-KULAWIK, MATS RICKERT M. A.,
JERRY BECKER B. ENG, PHILIPP JAHNEKE M.SC.

Stand: 20.04.2023

INHALTSVERZEICHNIS

1	Tabellenverzeichnis.....	1
2	Abbildungsverzeichnis	2
3	Abkürzungsverzeichnis.....	3
4	Gender-Aspekte	4
5	Einleitung.....	5
6	Bestandsaufnahme	6
6.1	Elektrolyse	6
6.2	Batteriefabrik.....	7
6.3	Lageplan.....	8
6.4	Abwärmemengen	9
6.5	Wärmeverbraucher	12
7	Möglichkeiten zur Abwärmenutzung.....	15
7.1	Wärmeinfrastruktur	15
7.1.1	Wärmenetz	15
7.1.2	Wärmepumpen.....	17
7.1.3	Wärmespeicher.....	17
7.2	Fernwärme.....	17
7.2.1	Wärmelastprofil	17
7.2.2	Wärmeabnehmer.....	18
7.2.3	Bewertung Fernwärme	20
7.3	Landwirtschaft	22
7.3.1	Gemüseanbau	22
7.3.2	Fishfarming (Wels-Farm)	24
7.3.3	Aquaponic.....	25
7.3.4	Algenfarm	26
7.3.5	Bewertung Landwirtschaft.....	26
7.4	Klärschlamm-trocknung	27
7.5	Kälte aus Abwärme	29
7.6	Verstromung aus Abwärme	29
7.7	Fazit der Möglichkeiten zur Abwärmenutzung.....	30
8	Lösungsvorschlag zur Abwärmenutzung.....	31

8.1	Konzept.....	31
8.2	Überschlägige Rohrnetzrechnung.....	34
8.3	Wärmespeicher.....	35
8.3.1	75/40°C Wärmespeicher.....	35
8.3.2	55/40°C Wärmespeicher.....	36
8.3.3	40/25°C Wärmespeicher.....	37
8.4	Wärmebilanzen der Netze	38
8.4.1	75/40°C-Netz	38
8.4.2	55/40°C-Netz	40
8.4.3	40/25°C-Netz	42
8.4.4	Zusammenfassung der Wärmebilanzen.....	44
8.5	Wirtschaftlichkeit des Lösungsvorschlags.....	45
8.6	Herausforderungen des Lösungsvorschlag	47
8.7	CO ₂ -Emmisionen.....	49
9	Möglichkeiten zur Kühlung der Abwärme.....	51
9.1	Ober- und Unterirdische Wasservorkommen.....	51
9.1.1	Elbe	51
9.1.2	Eider.....	52
9.1.3	NOK.....	52
9.1.4	Nordsee	52
9.1.5	Regenrückhaltebecken	53
9.1.6	Grundwasser	54
9.1.7	Fazit Ober- und Unterirdische Wasservorkommen.....	55
9.2	Kühltürme	57
9.2.1	Trockenkühlturm	57
9.2.2	Nasskühlturm.....	57
9.2.3	Hybridkühlturm.....	58
9.3	Fazit Kühlung.....	59
9.3.1	Grundsätzliche Eignung der Technologien bei Anwendung auf die betrachteten Abwärmern 60	
9.3.2	Lösungsvorschlag zur Kühlung der Abwärme	61
	Literaturverzeichnis	65

1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Datengrundlage.....	6
Tabelle 2 Nutzbare Abwärmemengen aus Elektrolyse und Batteriefabrik.....	9
Tabelle 3: Abwärmepotenzial der Elektrolyse und Batteriefabrik, gerundet	10
Tabelle 4: Daten Wärmekataster	14
Tabelle 5: Vergleich Wärmenetze	16
Tabelle 6: Wärmebedarf Heide und Umland	19
Tabelle 7: Wärmebedarf potenzielle Abnehmer.....	20
Tabelle 8: Vor- und Nachteile Fernwärme Heide und Umgebung	21
Tabelle 9: Daten einer Welsfarm in Deutschland.....	24
Tabelle 10: Daten Aquaponic.....	25
Tabelle 11: Vor- und Nachteile Landwirtschaft.....	26
Tabelle 12: Daten Klärschlamm-trocknung	28
Tabelle 13: Vor- und Nachteile Klärschlamm-trocknung.....	28
Tabelle 14: Vor- und Nachteile Kälte aus Abwärme.....	29
Tabelle 15: Vor- und Nachteile Verstromung der Abwärme.....	29
Tabelle 16: Zusammenfassung der Bewertung von betrachteten Wärmeabnehmern.....	30
Tabelle 17: überschlägige Rohrnetz-berechnung.....	34
Tabelle 18: Zusammenfassung Wärmenutzung.....	44
Tabelle 19: Kostenansätze	45
Tabelle 20: Investitionen.....	46
Tabelle 21: Operative Kosten.....	46
Tabelle 22: Überschlägige Rohleistungsdimensionierung zur Elbe	51
Tabelle 23: Berechnung Wärmeleistung Oberflächengewässer	55
Tabelle 24: Zusammenfassung Oberflächengewässer	55
Tabelle 25: Bewertung der Kühltürme.....	59
Tabelle 26: Einsatzbedingungen der Kühlsysteme	60
Tabelle 27: Ergebnisse der Simulation	62
Tabelle 28: Übersicht Nasskühlturm mit einem offenen Kreislauf.....	63

2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prozess Elektrolyse	7
Abbildung 2: Lageplan Batteriefabrik und Elektrolyse	8
Abbildung 3: Lastgang nutzbare Abwärme	11
Abbildung 4: Lageplan potenzielles Abwärmeverteilgebiet	12
Abbildung 5 Wärmeatlas/ -kataster Heide und Umland	13
Abbildung 6: Wärmelastgang Heide und Umland	18
Abbildung 7: Wärmelastgang Gemüseproduktion	22
Abbildung 8: Vergleich Wärmebedarf Gemüsesorten	23
Abbildung 9: Vergleich Wärmebedarf Landwirtschaft	27
Abbildung 10: Konzept Lösungsvorschlag	32
Abbildung 11: Konzept Wasser-/ Wasser-Wärmepumpe für Husum	33
Abbildung 12: Simulation Wärmespeicher 75°C-Netz	35
Abbildung 13: Simulation Wärmespeicher 55°C-Netz	36
Abbildung 14: Simulation Wärmespeicher 40°C-Netz	37
Abbildung 15: Jahresdauerlinie 75°C-Netz	38
Abbildung 16: Wärmebilanz 75°C-Netz	39
Abbildung 17: Jahresdauerlinie 55°C-Netz	40
Abbildung 18: Wärmebilanz 55°C-Netz	41
Abbildung 19: Jahresdauerlinie 40°C-Netz	42
Abbildung 20: Wärmebilanz 40°C-Netz	43
Abbildung 21: CO ₂ -Emmisionen Dithmarschen	49
Abbildung 22: Verlauf Grundwasserspiegel Dithmarschen	54
Abbildung 23: Auslegungstemperatur für den Nasskühlturm	62
Abbildung 24: Temperaturbedingungen für einen Luftkühler	64

3 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

SI-Einheiten und allgemeinsprachliche Abkürzungen sind nicht erläutert.

a	Jahr
AZV	Abwasserzweckverband
Batterie	Batteriefabrik
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
d	Tag
ELY	Elektrolyse
FFH	Flora Fauna Habitat
FW	Fernwärme
ges.	Gesamt
GW	Gigawatt
h	Stunde
HA	Hausanschluss
IPP ESN	IPP ESN Power Engineering GmbH
k. A.	keine Angaben verfügbar
K	Kelvin
kW	Kilowatt
MW _{el}	Elektrische Leistung in Megawatt
MW	Megawatt
NOK	Nord-Ostsee-Kanal
p.P	pro Person
RL	Rücklauf
SKL	SKL Engineering & Contracting GmbH
th	thermisch
Tm	Trassenmeter
V	Volumenstrom
Vbh	Vollbenutzungsstunden
VL	Vorlauf
WSA	Wasser- und Schifffahrtsamt
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
WP	(Groß-)Wärmepumpen

4 GENDER-ASPEKTE

Die Autor*innen 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 EINLEITUNG

In der Region Heide, an der Westküste Schleswig-Holsteins, sind zwei neue industrielle Großprojekte ange-
dacht. Ziel ist es, durch nachhaltige Energie- und Rohstoffversorgung, den CO₂ Ausstoß der Industrie deut-
lich zu reduzieren und beide Projekte mit grüner Energie zu versorgen. In beiden Projekten entstehen durch
verschiedene Prozesse sehr große Abwärmemengen und Kühlbedarfe, die insbesondere in Bezug auf Ent-
stehungsort und -zeitpunkt sowie Temperaturniveaus sehr heterogen sind. Diese bietet das Potential in der
Region weiter verwertet zu werden, sowohl unter energetischen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunk-
ten. Da entstehende Wärme aus den Betriebsprozessen kommt, muss die Wärmeabfuhr gewährleistet
werden. Im Sinne der Nachhaltigkeit und regionalen Kreislaufwirtschaft ist die weitere Verwendung der Ab-
wärme einer allgemeinen Wärmeabfuhr vorzuziehen.

Ziel dieser Studie ist es, die insgesamt ca. 1.200 MW Abwärme unter Berücksichtigung der vorhandenen
Rahmenbedingungen zu verwenden, indem bereits bestehende Wärmenachfragen gedeckt werden. Dar-
über hinaus wird das Potential zur Schaffung neuer Wärmebedarfe auf einem passenden Temperaturniveau
untersucht. Im ersten Schritt werden die Abwärmemengen aus den unterschiedlichen Projekten im zeitli-
chen Verlauf ermittelt und differenziert dargestellt. Anschließend werden vorhandene und potenzielle Wär-
mebedarfe recherchiert und technisch bewertet. Auf Basis der ermittelten Daten wird ein Lösungsvorschlag
zur Deckung der Wärmebedarfe durch die anfallenden Abwärmemengen erarbeitet und auf technische
Machbarkeit untersucht, sowie nach ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet.

Zur Abführung der Abwärme an die Umgebung werden die Möglichkeiten in der Region ermittelt. Die zu-
ständigen Behörden werden zur Nutzung der Gewässer hinsichtlich Ihrer Einschätzung befragt. Eine weitere
Möglichkeit zur Abführung der Abwärme an die Umwelt stellen Kühltürme dar. Es werden die unterschied-
lichen Kühlsysteme unter Berücksichtigung verschiedenen Bewertungskriterien verglichen. Auf Basis der
Bewertung wird ein Kühlsystem ausgewählt und für das Projekt detailliert dargestellt.

6 BESTANDSAUFNAHME

Die Anlagen aus Tabelle 1 bilden die Grundlage für die Erarbeitung der vorliegenden Studie. Aufgrund der darin enthaltenden unternehmensinternen Informationen, werden diese Anlagen nicht mit der Studie veröffentlicht.

Tabelle 1: Datengrundlage

Anlage Elektrolyse	B01_Kühlbedarfe_Nutzmengen
Anlage Allgemein	B02_Elbe_Temperaturen_Blankenese
Anlage Allgemein	B03_Cooling Using water from river Elbe-ex
Anlage Elektrolyse	B04_Wärmenutzung&Abwärme
Anlage Elektrolyse	B05_Cooling Water Line and Pump._with property calculation
Anlage Batteriefabrik	Cooling System [REDACTED] and useable process heat calculation_
Anlage Batteriefabrik	220602_Daten_NV_Nils Wulfes
Anlage Elektrolyse	WK100 - GenerationProfile_hourly_2021-11-24

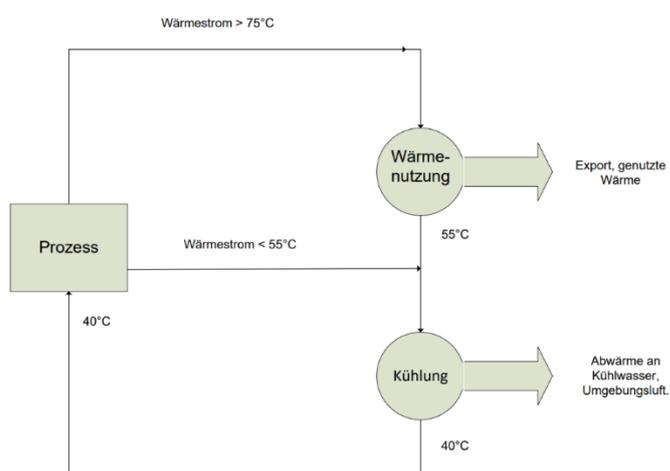
6.1 ELEKTROLYSE

Die Elektrolyse kann mit maximal 2.100 MW elektrischer Energie, welche überwiegend aus den Off-Shore Anlagen der Nordsee erzeugt wird, betrieben werden. Die Betriebsweise der Elektrolyse hängt von dem der Lastgang des 2.100 MW Windparks ab, welcher zur Verfügung gestellt wurde. Das generischen Lastprofil wurde in dem Jahr 2004¹ aufgezeichnet. Um den Betrieb aufrecht erhalten zu können, muss sichergestellt sein, dass die Prozesswärme immer abgeführt werden kann. Ein Teil dieser Gesamtabwärme kann aufgrund des Temperaturniveaus sinnvoll genutzt werden. Es wird angenommen, dass 35% der für die Elektrolyse eingesetzten elektrischen Energie in Wärme umgewandelt wird. Dabei sind jedoch ca. 40 % der Wärme auf Grund von Strahlungsverlusten und der über die abgeführten Stoffströme abgeführten Wärme nicht nutzbar. Es ergibt sich eine „Wärmeverfügbarkeit“ von 60% der insgesamt in Wärme umgewandelten Energie (Anlage B01_Kühlbedarfe_Nutzmengen). Diese Abwärme liegt als Kühlwasser auf zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus vor. Ein Anteil von 15/35 stehen mit einer Temperatur von 75° C zur weiteren Nutzung zur Verfügung; die übrigen 20/35 sind auf einem Temperaturniveau von exemplarisch 55°C/40°C nutzbar bzw. durch Kühlung abzuführen. Das im Elektrolyseprozess aufgewärmte Wasser ist in jedem Fall nach der Verwertung mit 40°C an die Elektrolyse zurückzugeben. Kann die Wärme nicht vollständig genutzt werden (Abbildung 1: Prozess Elektrolyse) ist die Restwärme (> 40°C) über eine Kühlung abzuführen. Die weiteren und ggf. nachgelagerten Prozessanlagen der Elektrolyse, wie etwa die Kompression oder eine Methanol-Synthese, geben Wärme auf dem Niveau der Restwärme (40°C) ab. Hier ist eine wirtschaftliche Nutzung aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus der Abwärme erschwert. Es wird eine optimale Betriebsweise der Anlage angestrebt, deshalb bildet die Leistungsuntergrenze, die Mindestleistung der Elektrolyse. Das bedeutet, dass die Elektrolyse dauerhaft betrieben wird. Sollte der Strom aus dem Windpark nicht ausreichen, um den Betrieb der Elektrolyse zu gewährleisten wird Strom aus dem öffentlichen Netz verwendet,

¹ Schaltjahr

um den Betrieb der Elektrolyse dauerhaft auf mindestens 10% der Kapazität aufrecht zu erhalten. Damit erzeugt die Elektrolyse dauerhaft Wärme und ist in einem potenziellen Wärmenetz grundlastfähig.

Abbildung 1: Prozess Elektrolyse



Quelle: B04_Wärmenutzung&Abwärme

6.2 BATTERIEFABRIK

Die Abwärmeleistung der Batteriefabrik könnte nach derzeitigem Stand der Entwicklungen (10/2022) in vier Ausbaustufen zu je 50 MW anfallen. Die angenommenen Leistungen in dieser Studie beziehen sich auf die Endausbaustufe. In der Endausbaustufe könnten demnach 200 MW Abwärmeleistung mit unterschiedlichen Temperaturniveaus im Niedrigtemperaturbereich zur Verfügung stehen:

- Prozess „Batterie“: [REDACTED]
- Prozess „Batterie“: [REDACTED]

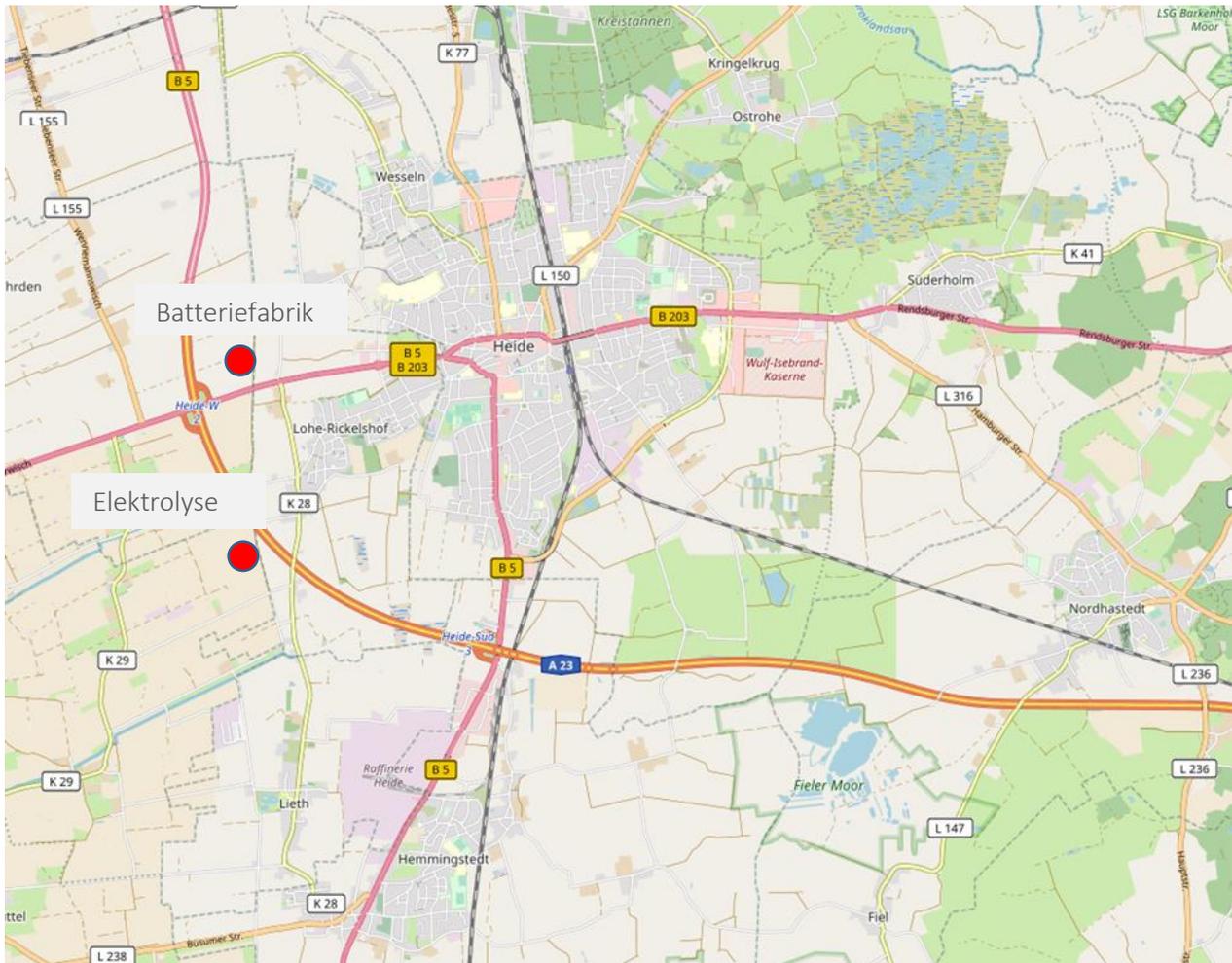
Der Wärmelastgang wurde als weitestgehend konstant angenommen bis auf eine Zeit von 5 Wochen im Sommer in denen Betriebsferien angedacht sind. In dieser Untersuchung wurden die oben genannten Temperaturen aus der zur Verfügung gestellten Datengrundlage (Stand 10/2022) angenommen. Die Bereitstellung der Abwärme auf höheren Temperaturniveaus ist ebenfalls technisch möglich.

Sollte die Bereitstellung der Abwärme auf einem höheren Temperaturniveau erfolgen, kann das Projekt unter Berücksichtigung des Lastgangs separat auf ein in Kapitel 8 Lösungsvorschlag zur Abwärmenutzung aufgezeigtes heißes Netz (75 oder 55°C) angewendet werden.

6.3 LAGEPLAN

Der Standort der Batteriefabrik wird gemäß den Vorgaben westlich von Heide, nahe der Autobahn A23 angenommen. Für die GroÑelektrolyse wird, ebenfalls gemäß den Vorgaben, ein Standort westlich der Raffinerie Heide angesetzt. Die Entfernung (Luftlinie) der beiden Standorte betragt ca. 3,5 km.

Abbildung 2: Lageplan Batteriefabrik und Elektrolyse



Quelle: Eigene Darstellung

6.4 ABWÄRMEMENGEN

Die Abwärmemengen der Batteriefabrik werden ganzjährig mit geringen jahreszeitlichen Schwankungen erwartet. Aufgrund der Datengrundlage zum Abwärmepotenzial und voraussichtlich geringen Abweichungen wird die Abwärmeleistung als konstant betrachtet. Die Abwärmeleistungen der Elektrolyse schwanken in Abhängigkeit von der Erzeugung des Offshore Windstroms. Der Kühlleistungsbedarf/ Die Abwärmeleistung beider Anlagen wird in Summe bei ca. 1.200 MW liegen. Die nutzbaren Abwärmemengen für die Elektrolyse und Batteriefabrik setzen sich aus den Annahmen in 6.1 und 6.2 zusammen.

Tabelle 2 Nutzbare Abwärmemengen aus Elektrolyse und Batteriefabrik

Leistungsdaten	Elektrolyse		Batteriefabrik	
	ELY 75	ELY 55	Batterie ■	Batterie ■
Bezeichnung Prozess	ELY 75	ELY 55	Batterie ■	Batterie ■
Vorlauftemperatur.	75°C	55°C	■	■
Rücklauftemperatur.	40°C	40°C	■	■
Prozessabwärme	35%		100%	
Relativer Anteil	15/35	20/35	100%	100%
davon nutzbar	60%	60%	100%	100%
Mittlere Leistungen	85 MW	78 MW	60 MW	120 MW
jährliche Wärmemenge	744 GWh	686 GWh	530 GWh	1.050 GWh

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Simulation (Anlage Lastgang)

Die Prozessbezeichnungen der Elektrolyse („ELY“) und der Batteriefabrik („Batterie“) in Tabelle 2 stehen für die verschiedenen Projekte und den jeweiligen Abwärmemetemperaturen der einzelnen Kühlkreisläufe. Die mittleren Leistungen, sowie die jährlichen Wärmemengen wurden mit Hilfe des in Abbildung 3: Lastgang nutzbare Abwärme, sowie die mittleren Leistungen der Prozesse werden in Tabelle 3 für die einzelnen Projekte dargestellt. In der folgenden Tabelle 2 werden die einzelnen Prozesse zu den Projekten zusammengefasst.

Tabelle 3: Abwärmepotenzial der Elektrolyse und Batteriefabrik, gerundet

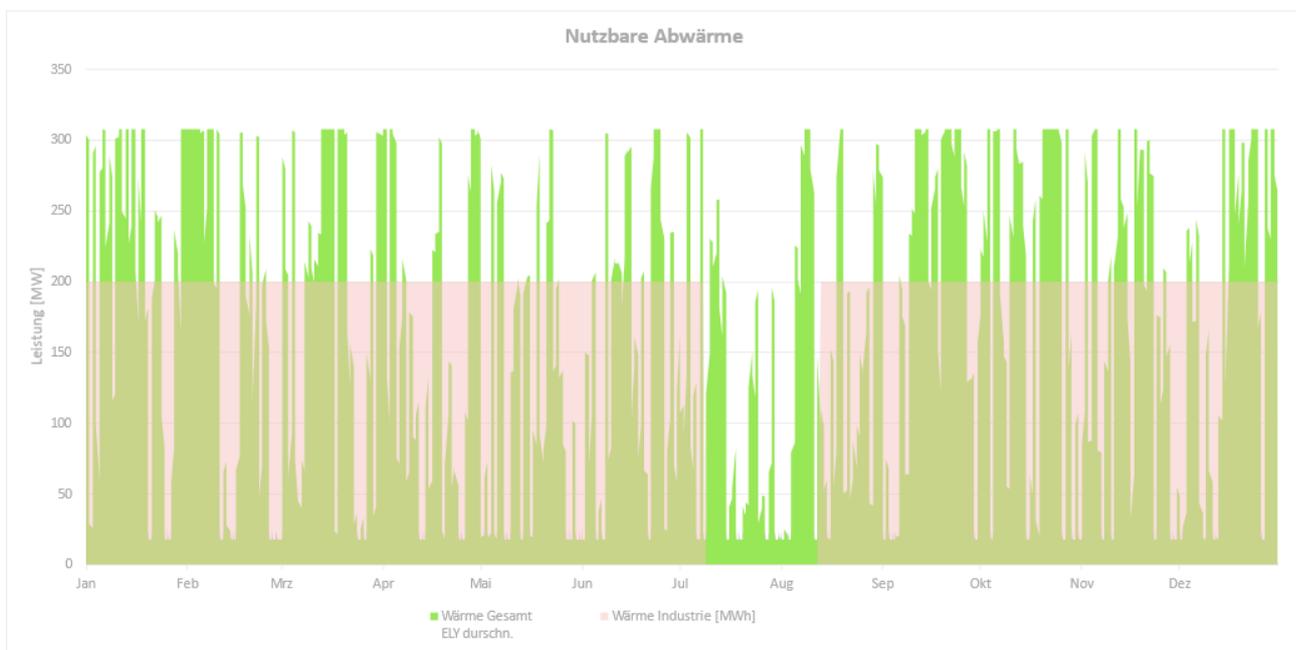
Abwärmepotenzial	Elektrolyse	Batteriefabrik
Max. nutzbare Abwärmeleistungen	308 MW	200 MW
Mittlere nutzbare Abwärmeleistungen	160 MW	180 MW
Vorlauftemperatur	ca. 75 & 55 °C	ca. XXXXXXXXXX
Vollbenutzungsstunden	4.643 h	7.900 h
nutzbare jährliche Wärmemenge	ca.1.430 GWh	ca.1.580 GWh
Max. Gesamtleistung	508 MW	
Jährliches Abwärmepotenzial	ca. 3.010. GWh	

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis Simulation des Lastgangs (Anlage Lastgang)

Die nutzbare Wärmemenge und durchschnittliche Wärmeleistung setzen sich aus der Summe der ermittelten jährlichen Wärmemengen und der mittleren Leistung aus Tabelle 2 je Projekt zusammen.

Die Abbildung 3 zeigt den Lastgang der Erzeuger mit den Annahmen aus Tabelle 2 und Tabelle 3. Die grüne Fläche ist die nutzbare Wärmemenge aus der Elektrolyse-Abwärme, welche in Abhängigkeit vom Windstrom aus dem angenommenen 2.100 MW Windpark mit einem generischen Windlastprofil entsteht. Die rote Fläche stellt die nutzbare Wärmemenge der Batteriefabrik unter der Annahme, der in Kapitel 6.2 angenommenen Betriebsweise dar.

Abbildung 3: Lastgang nutzbare Abwärme

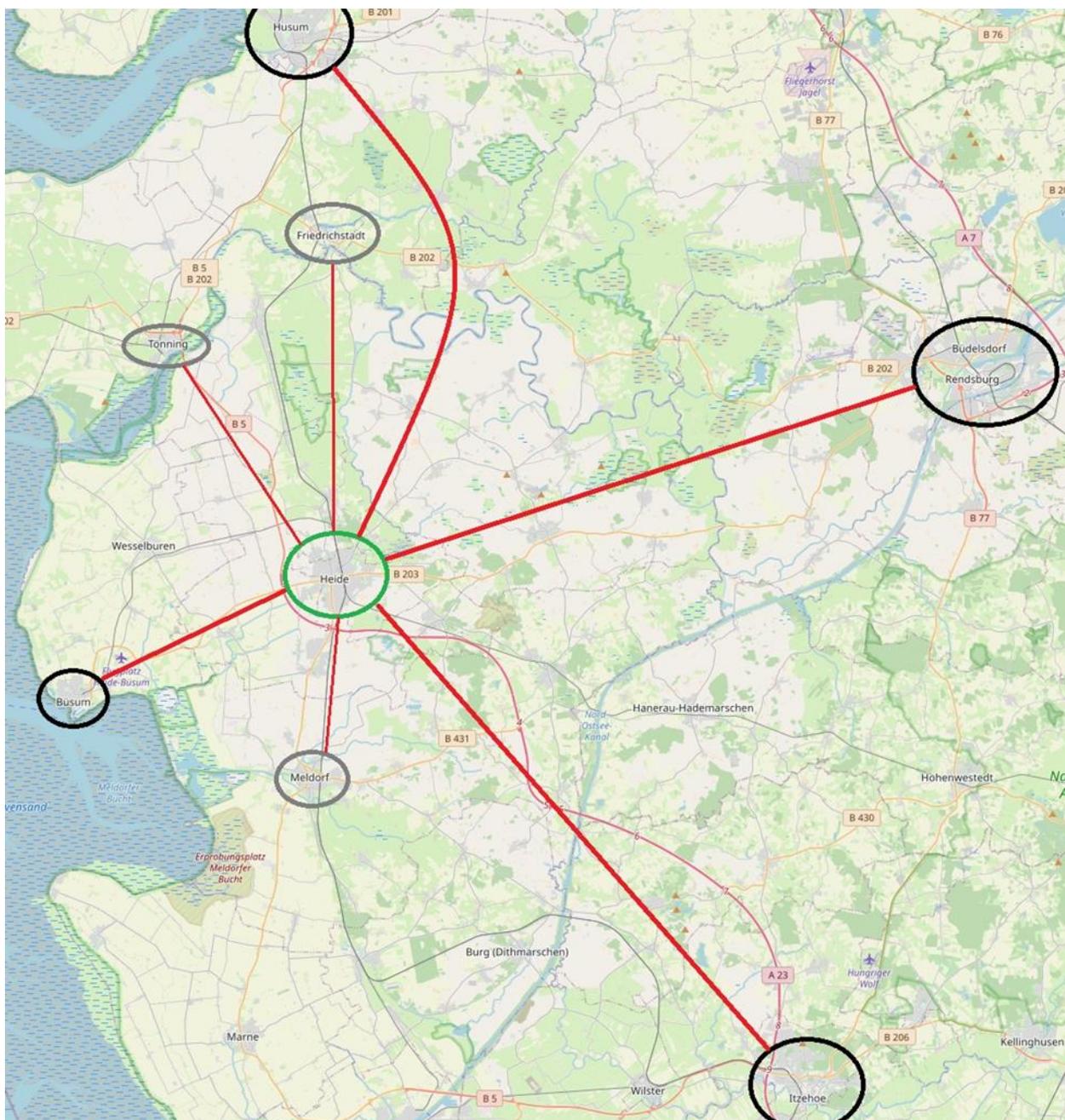


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Simulation (Anlage Lastgang)

6.5 WÄRMEVERBRAUCHER

Im Westen Schleswig-Holsteins nahe den Projekten gibt es mit Heide, Husum und Büsum drei Städte, an denen schon heute ein Wärmebedarf besteht. Des Weiteren sind die räumlich am nächstgelegenen größeren Städte Rendsburg im Osten und Itzehoe im Süden (Abbildung 4), welche Wärmesenken darstellen. Auch kleinere Orte, wie z.B. Meldorf, Tönning und Friedrichstadt befinden sich in dem betrachteten Gebiet (Abbildung 4).

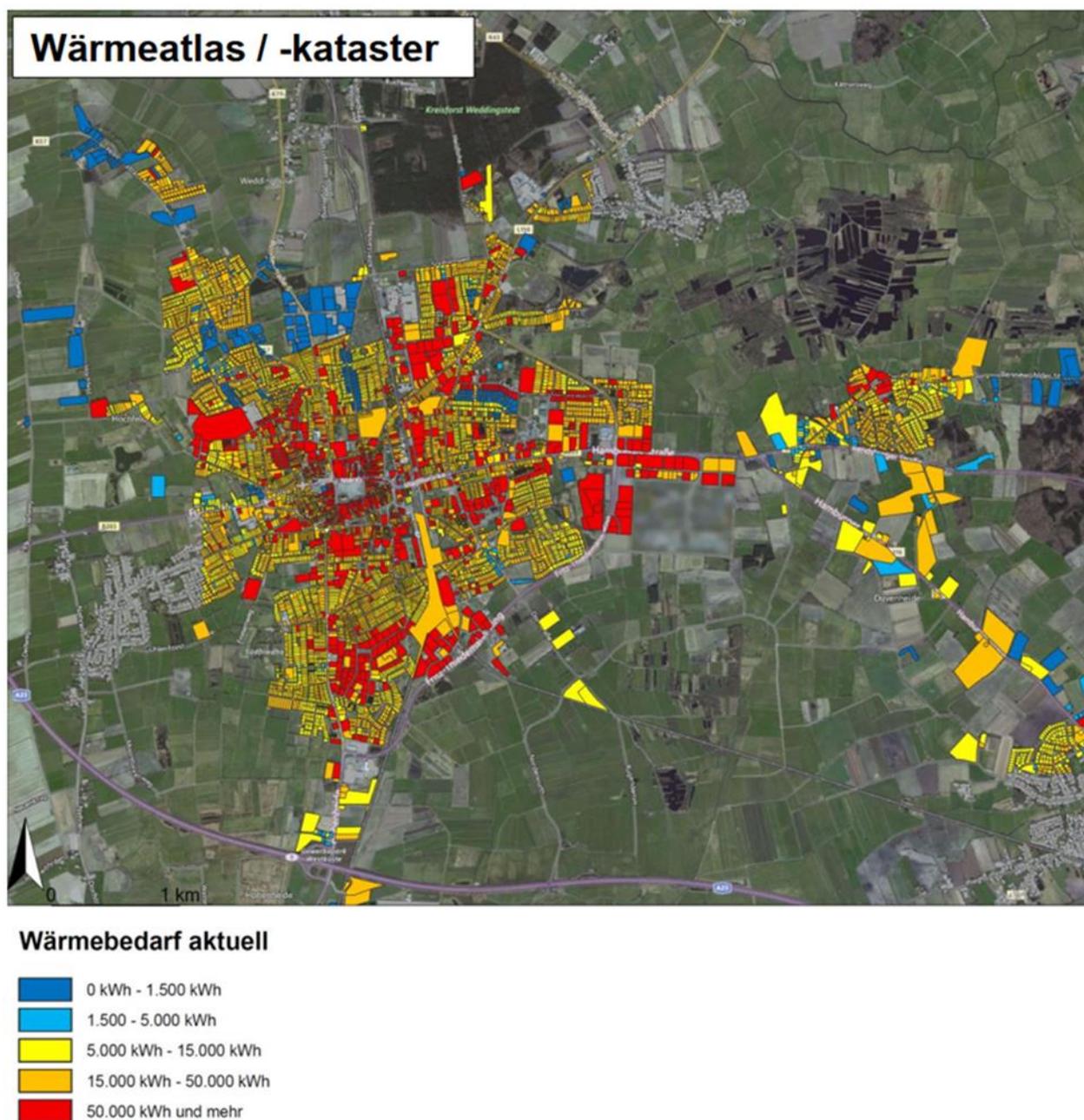
Abbildung 4: Lageplan potenzielles Abwärmeverteilgebiet



Quelle: Eigene Darstellung

Einen Teil des Wärmebedarfs der im Lageplan (Abbildung 4) gezeigten Gebiete wurde mit Hilfe eines bereits bestehenden Wärmekataster aus dem Jahr 2015 (Abbildung 5) ermittelt. Die geodifferenzierten Daten und die Gebäudealtersklassen bilden die Grundlage für den ermittelten Wärmebedarf.

Abbildung 5 Wärmeatlas/ -kataster Heide und Umland



Quelle: IPP ESN (2015)

Im Jahr 2015 wurde ein Wärmekataster für die Orte in der unten abgebildeten Abbildung 4 erstellt und unter der Annahme einer Sanierungsquote von 1% pro Jahr ein voraussichtlicher Wärmebedarf für das Jahr 2025 ermittelt. Der prognostizierte Wärmebedarf für das Jahr 2025 bildet die Basis für die weiteren Berechnungen der Wärmebedarfe in Kapitel 7.2.

Tabelle 4: Daten Wärmekataster

Daten Wärmekataster 2015	
Gebiet	Wärmebedarf 2025
Heide	255.425.415 kWh/a
Hemme	10.221 kWh/a
Hemmingstedt	59.801.295 kWh/a
Lieth	1.672.097 kWh/a
Lohe-Rickelshof	13.490.227 kWh/a
Neuenkirchen	4.311.456 kWh/a
Norderwörden	4.157.703 kWh/a
Nordhastedt	14.051.359 kWh/a
Ostrohe	7.066.032 kWh/a
Stelle-Wittenwuth	2.786.368 kWh/a
Weddingstedt	16.999.606 kWh/a
Wesseln	23.147.211 kWh/a
Albersdorf	33.524.251 kWh/a

Quelle: Eigene Darstellung

Um den Wärmebedarf weiterer Städte und Orte möglichst effizient zu bestimmen, wurde über das Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein² und dem Wärmekataster (Tabelle 4) ein spezifischer Wärmebedarf pro Einwohner pro Jahr ermittelt und mit den vom Umweltbundesamt³ ermittelten Durchschnittswert verifiziert.

Das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht regelmäßig Kennzahlen und Daten zur Energieeffizienz von Gebäuden und zum Energieverbrauch in Deutschland. Der durchschnittliche spezifische Wärmebedarf pro Einwohner hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie zum Beispiel dem Klima, dem Gebäudealter, dem Gebäudetyp, der Gebäudenutzung und der energetischen Qualität der Gebäudehülle. Gemäß einer Studie des UBA aus dem Jahr 2020 beträgt der durchschnittliche spezifische Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung in Wohngebäuden in Deutschland etwa 130 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m²a).

Der über die Wärmekataster ermittelte spezifische Wärmebedarf liegt zwischen ca. 9.000 – 10.500 kWh/p. P. im Jahr. Um den Vergleich mit dem vom Umweltbundesamt durchschnittlichen spezifischen Wärmebedarf pro Einwohner von 130 kWh/m² im Jahr herzustellen, wird anhand der vorliegenden Wärmekataster eine durchschnittliche beheizte Fläche von 69 m²/p. P. ermittelt. Die Flächen aus dem Wärmekataster und die ermittelten Einwohnerzahlen bilden die Basis zur Berechnung der durchschnittlichen beheizten Fläche je Einwohner. Daraus resultiert ein spezifischer Wärmebedarf von ca. 145 kWh/m² und eine Abweichung von ca. 12% zum Bundesdurchschnitt. Aufgrund der geografischen Lage des Gebiets an der Nordseeküste, der ländlichen, klein- und mittelstädtischen Struktur, der Gebäudetypen und -alter sowie der demografischen Verteilung ist ein höherer spezifischer Wärmebedarf plausibel.

Mit dieser Datengrundlage wird der Wärmebedarf der ausgewählten Orte und Städte Tabelle 6 und Tabelle 7 in Kapitel 7.2.2 ermittelt.

² Bevölkerung der Gemeinden in Schleswig-Holstein 1. Quartal 2022 vom 1. Juli 2022

³ Endenergieverbrauch und -intensität für Raumwärme - Private Haushalte vom Umweltbundesamt

7 MÖGLICHKEITEN ZUR ABWÄRMENUTZUNG

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die anfallende Abwärme zu nutzen. Durch Schaffung entsprechender Wärmeinfrastruktur können bereits vorhandene Wärmebedarfe gedeckt werden. Durch die Ansiedlung von neuen Industrieunternehmen und einer energieintensiven Nutzung (z.B. saisonverlängernder Gewächshaus-Gemüseanbau) der vorhandenen Flächen in der Landwirtschaft kann ein zusätzlicher Wärmebedarf geschaffen werden. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten der Abwärmennutzung und deren Potenzial in der Region Heide dargestellt.

7.1 WÄRMEINFRASTRUKTUR

7.1.1 WÄRMENETZ

Wärmenetze sind Leitungen, welche Wärme mittels eines Wärmeträgermediums von einer Energiequelle (Erzeuger) zu einer Wärmesenke (Verbraucher) transportiert. Die Lieferung von Wärme zur Wärmeversorgung von Gebäuden über ein Wärmenetz wird als Fernwärme bezeichnet. Wärmenetze mit zentraler Quelle können meist einfacher und flexibler aus regenerativen Energien gespeist werden als dezentrale Heizsysteme. Klassische bzw. „heiße“ Wärmenetze (siehe Kapitel 7.1.1.1) weisen aufgrund der benötigten Rohrisolierungen hohe Investitionskosten und energetische Verluste auf. Sinnvoll sind sie bei Bestandsgebäuden, die zur Beheizung höhere Vorlauftemperaturen benötigen, oder bei entsprechendem Prozesswärmebedarf mit ebenfalls hohen Temperaturbedarfen. Bei Neubauten ohne hohen Prozesswärmebedarf oder zur Überbrückung großer Entfernungen kann ein kaltes Wärmenetz (siehe Kapitel 7.1.1.2) sinnvoll sein. Eine Wärmelieferung über ein Wärmenetz ist in der Regel vertraglich vereinbart und garantiert das ein Vertragspartner dem anderen Vertragspartner eine entsprechende Wärmeleistung an der vereinbarten Schnittstelle zur Verfügung stellt. Um jederzeit die vereinbarten Leistungen zu gewährleisten, sind weitere Lösungen zur Deckung der Spitzenlasten und Besicherung erforderlich. Bei der Betrachtung eines Wärmenetzes ist die saisonale Abnahme von besonderer Relevanz und macht damit für Übergangs- und Wintermonate ggf. weitere Lösungsmöglichkeiten erforderlich. Zur Deckung von Spitzenlasten und zur Besicherung des Wärmenetzes sind Gasbrennwertkessel, in denen fossile Energien genutzt werden oder Elektrodenkessel, welche durch regenerativ produzierten Strom betrieben werden können, geeignet.

Um die jeweiligen Wärmeverbraucher mit ihrem individuelle Temperaturniveau beliefern zu können, sind Übergabestationen erforderlich. Ein Vergleich der beiden gängigen Netzooptionen anhand der wesentlichen Unterschiede ist in Tabelle 5 dargestellt. Konkrete technisch-wirtschaftliche Berechnungen sollten im Rahmen eines Energiekonzeptes für jeden Einzelfall erfolgen.

Tabelle 5: Vergleich Wärmenetze

„Kaltes“ Wärmenetz	„Heißes“ Wärmenetz
<ul style="list-style-type: none"> niedrige Vorlauf-Temperatur i. d. R. < 40 °C geringe Netzverluste Nutzbar mittels Wärmepumpe Zusätzlicher Strombedarf (Wärmepumpe) 	<ul style="list-style-type: none"> hohe Vorlauf-Temperatur i. d. R. > 70 °C Bis max. 90°C im Winter nötig hohe Netzverluste Direkt nutzbar
Ideal für Neubau und sanierte Bestandsgebäude	Ideal für Bestandsgebäude

Quelle: Eigene Darstellung

7.1.1.1 KLASSISCHES WÄRMENETZ

Ein klassisches („heißes“) Wärmenetz weist in der Regel Vorlauftemperatur von >70°C auf, die in einer Heizzentrale erzeugt werden. Bei den Nutzern kann die Wärme mittels Wärmetauscher in der (heimischen) Wärmeübergabestation entnommen und zur Raumbeheizung, Trinkwassererwärmung und ggf. in weiteren Prozessen eingesetzt werden. Die Wärmenetzverluste sind abhängig von den Rohrleitungslängen bzw. der Wärmenetzgröße. Um diese Verluste zu minimieren, ist es sinnvoll die hoch temperierte Wärme nah an dem Ort der Wärmezeugung zu nutzen. Die Gebäudesubstanz muss in der Regel nicht verändert werden, da die Wärme vergleichbar mit der Wärme konventioneller Thermen ist.

7.1.1.2 „KALTES“ WÄRMENETZ

„Kalte“ Wärmenetze arbeiten nicht wie klassische Wärmenetze mit einer konstanten Vorlauftemperatur von >70°C, sondern können auch mit lediglich 30°C Betriebstemperatur oder weniger betrieben werden. Die Energieverluste über die Leitungen können somit deutlich reduziert werden. Ein kaltes Wärmenetz kann in Bezug auf die jeweiligen Bedarfe der Nutzer flexibel genutzt werden und ermöglicht zudem eine dezentrale Einspeisung von Abwärme auf geringerem Temperaturniveau. Über entsprechende Wärmepumpensysteme (Vgl. Kapitel 7.1.2 Wärmepumpen) kann die Vorlauftemperatur am Ort des Wärmebedarf auf die jeweils benötigte Vorlauftemperatur angehoben werden. Höhere Temperaturen > 60°C werden nur punktuell für Trinkwarmwasserbereitung, aber nicht mehr für die Raumerwärmung benötigt. Dieses System kommt vermehrt bei Neubauten zum Einsatz, bei denen die Verteilung der niedrigeren Vorlauftemperaturen in der Regel über Flächenheizung erfolgt.

7.1.2 WÄRMEPUMPEN

Abwärme aus Produktionsprozessen oder aus der Umgebung (Luft, Gewässer, Erdwärme, Abwasser) kann mit Hilfe von Wärmepumpensystemen für Fernwärmeanwendungen nutzbar gemacht werden. Sofern Wärme auf einem ausreichend hohen Temperaturniveau verfügbar ist, kann diese aus der jeweiligen Quelle mit Hilfe von Wärmepumpen in Verbindung mit elektrischer Energie, Wärme auf ein für Heizzwecke benötigtes Temperaturniveau heben. Der Wirkungsgrad von Wärmepumpen verbessert sich, je geringer die benötigten Temperaturerhebungen sind (z. B. in gut gedämmten Gebäuden mit Flächenheizungen, die nur eine geringe Vorlauftemperatur benötigen).

7.1.3 WÄRMESPEICHER

Wärmespeicher können in unterschiedlichen Größen errichtet werden, die von dezentralen Kleinanlagen bis zu großen zentralen Speichern reichen. Sie können je nach Bauart Niedertemperaturwärme zur Raumheizung oder Hochtemperaturwärme für industrielle Anwendungen aufnehmen und wieder abgeben. Wärmespeicher, die unter Druck Wärme in einem Behälter speichern, sind in großen Dimensionen sehr kostenintensiv und als Einzelbehälter auf ein Volumen von 150 m³ begrenzt. Es gibt die Möglichkeit Wärme drucklos in einem Erdbeckenspeicher (Langzeit- / Saisonspeicher) mit einem Volumen bis 200.000 m³ (aktuell größter Erdbeckenspeicher⁴) zu speichern. Eine weitere Möglichkeit Wärme drucklos zu speichern sind 1 und 2 -Zonen-Speicher (Tages- und Pufferspeicher), die ein Volumen von rund 60.000 m³ aufweisen können.

7.2 FERNWÄRME

Fernwärme ist thermische Energie, die durch ein System isolierter Rohre zum Endverbraucher gelangt. Die Wärme kann entweder zentral an einem oder an mehreren Orten erzeugt und in ein Wärmeverteilnetz eingespeist werden. Über dieses Netz wird die Wärme an die Wärmeverbraucher geliefert. Das Übertragungsmedium ist hierbei in der Regel Wasser, welches in Wärmeverteilnetzen eingesetzt wird.

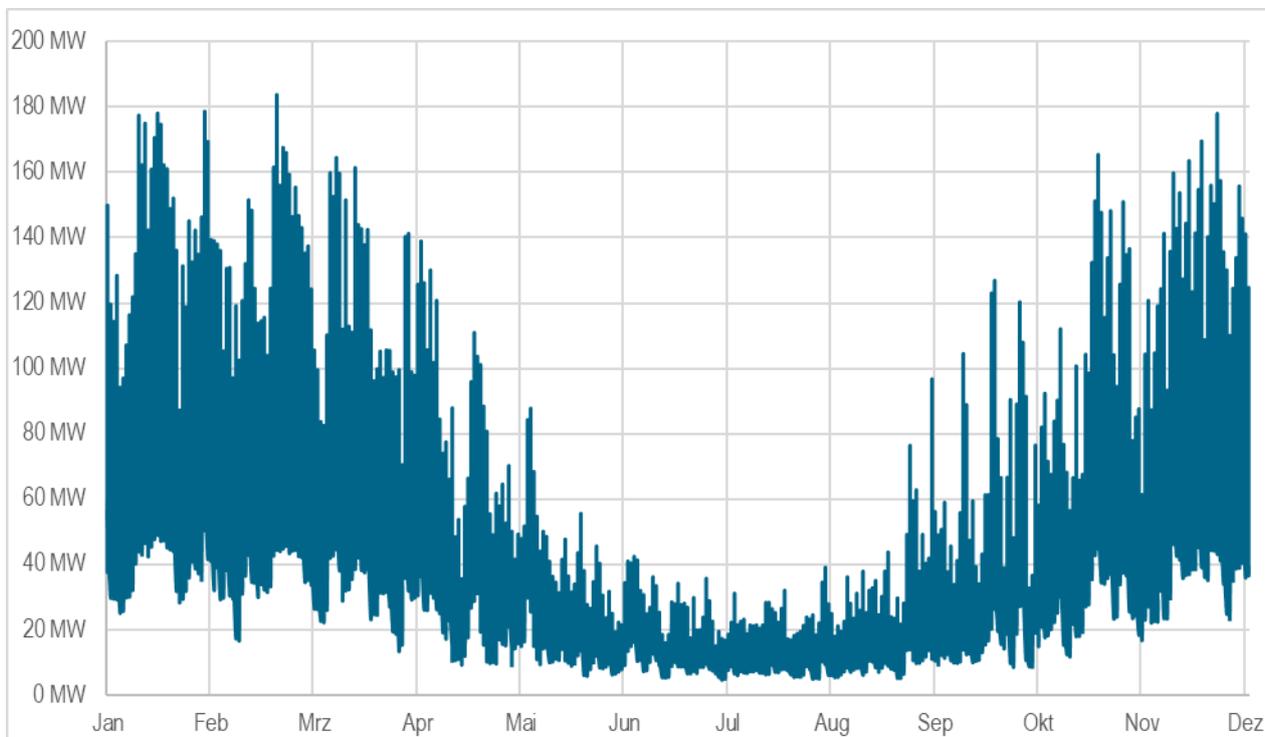
7.2.1 WÄRMELASTPROFIL

Mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Gasverbrauchsdaten für die Haushalte in Heide und Umland von den Stadtwerke Heide. Es kann auf Basis der Daten ein individuelles Wärmelastprofil für die Heide und Umland erstellt werden. Aufgrund der in Heide vorherrschenden klimatischen Bedingungen kann das Wärmelastprofil von einem Standardlastprofil in Deutschland abweichen. Das Standardlastprofil von Deutschland ist ausschließlich von der Außentemperatur abhängig. Eine erhöhte Windlast beeinflusst ebenso den Wärmebedarf von Gebäuden und die Wärmeverluste der Gebäudeoberflächen. Die Region Heide liegt in der Windlastzone 4⁵, welche eine Basiswindgeschwindigkeit von 30 m/s aufweist und die höchste Windlast gemäß DIN EN 1991-1-4 darstellt.

⁴ Erdbeckenspeicher in Vojens, Dänemark

⁵ Windzonenkarte DIN EN1991-1-4:2010-12 Bild NA.A.1

Abbildung 6: Wärmelastgang Heide und Umland



Quelle: Eigene Darstellung

Der Verlauf in Abbildung 6 stellt das Wärmelastprofil ohne Berücksichtigung der Verbräuche von ansässigen Industrieunternehmen und Gewerbe aus Heide und Umland (Tabelle 4) dar. Anhand dieses zeitlichen Verlaufes werden die Lösungsansätze (siehe Kapitel 8) für die Fernwärmeanwendung simuliert. Das Profil wurde auf Basis des Gasverbrauchs erstellt. Die Abbildung 6 zeigt den Bedarf des gesamten Gebiets Heide und Umland (Tabelle 4).

7.2.2 WÄRMEABNEHMER

Der Wärmebedarf in Heide und dem Umland aus Tabelle 6 beträgt insgesamt rund 390 GWh und macht in Relation zur gesamten verfügbaren Abwärme aus den zu untersuchenden Projekten ca. 13% aus. Aus diesem Grund werden zusätzlich Potentiale in der weiteren Umgebung ermittelt und als weitere Wärmesenken in Betracht gezogen.

Tabelle 6: Wärmebedarf Heide und Umland

Gebiet		jährliche Wärmemenge
<i>Heide</i>		<i>225.425.415 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Arkebek</i>	<i>638.036 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Hemmingstedt</i>	<i>59.801.295 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Krempel</i>	<i>1.559.005 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Lehe</i>	<i>3.670.425 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Lohe-Rickelshof</i>	<i>8.054.807 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Lunden</i>	<i>9.102.037 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Nordhastedt</i>	<i>14.051.359 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Ostrohe</i>	<i>7.066.032 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Rehm-Flehde-Bargen</i>	<i>1.910.177 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Stelle-Wittenwurth</i>	<i>2.786.368 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Süderholm</i>	<i>5.369.652 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Weddingstedt</i>	<i>16.999.606 kWh</i>
<i>Umland</i>	<i>Albersdorf</i>	<i>33.524.251 kWh</i>

Quelle: Eigene Darstellung

Um weitere Wärmeabnehmer zu ermitteln, wurde aus dem Lageplan aus Abbildung 4 Richtung Norden die Stadt Husum, Richtung Osten die Stadt Rendsburg, Richtung Süden die Stadt Itzehoe und Richtung Westen die Stadt Büsum als mögliche Wärmesenken identifiziert. Außerdem wurden weitere Orte, die zwischen den Standorten der Projekte und den jeweiligen Städten liegen mit aufgenommen (Tabelle 7). Die Berechnung der Wärmebedarfe wurde gemäß Kapitel 6.5 durchgeführt. Der ermittelte Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet beträgt ca. 1.300 GWh (Fernwärme) im Jahr, sodass der Anteil der Nutzung der zur Verfügung stehenden Abwärme auf 43% steigt.

Tabelle 7: Wärmebedarf potenzielle Abnehmer

Gebiet	Wärmemenge		Gesamt
Tönning	45.127.754 kWh/a	Husum	300.202 MWh/a
Friedrichstadt	24.212.462 kWh/a		
Koldenbüttel	8.143.286 kWh/a		
Husum	222.718.353 kWh/a		
Meldorf	65.454.266 kWh/a	Itzehoe	521.977 MWh/a
St. Michaelisdonn	31.087.606 kWh/a		
Burg (Ditmarschen)	37.672.888 kWh/a		
Wacken	17.726.819 kWh/a		
Itzehoe	331.094.554 kWh/a		
Tellingstedt	24.149.055 kWh/a	Rendsburg	413.253 MWh/a
Wrohm	6.413.177 kWh/a		
Hamdorf	11.585.387 kWh/a		
Elsdorf-Westermühlen	14.266.602 kWh/a		
Rendsburg	298.776.394 kWh/a		
Wöhrden	8.915.174 kWh/a	Büsum	58.427 MWh/a
Großbüttel	2.327.947 kWh/a		
Friedrichsgabekoog	480.082 kWh/a		
Warwerort	2.146.784 kWh/a		
Büsum	44.557.090 kWh/a		

Quelle: Eigene Darstellung

7.2.3 BEWERTUNG FERNWÄRME

Die Nutzung der Abwärme im Fernwärmenetz ist sehr nachhaltig und umwelt-, klima und ressourcenschonend, da die Fernwärme fossile Energieträger in der Region verdrängt. Die Abwärme entsteht (bei entsprechendem Bezug) auf Basis von erneuerbarem Strom und steht als Abfallprodukt in den Prozessen zur Verfügung. Allgemeingesellschaftlich ist die Nutzung von (klimaneutraler) Abwärme aufgrund der Synergieeffekte, der Vermeidung bzw. Reduzierung von ressourcen-technisch aufwändigen Kühlsystemen und der erprobten Technik akzeptiert und bringt Vorteile für die Verbraucher. Wer sich an ein Wärmenetz anschließt, benötigt keinen Platz für einen Speicher, keine umfangreiche Anlagentechnik und Lagerungsstätte für den Brennstoff (z.B. Holzbunker, Öltanks). Es wird eine Übergabestation, welche in der Regel an die Wand montiert wird, benötigt und ein Anschluss bzw. Rohrleitungen für den Vor- und Rücklauf von dem Nahwärmenetz an die Übergabestation. Außerdem sind keine Abgassysteme am Ort des Verbrauchs mehr nötig. Die Energiebeschaffung und die Einhaltung der Anforderungen an die Erzeugung, sowie der Betrieb der Erzeugungsanlagen obliegen dem Wärmelieferanten.

Neben den Vorteilen gibt es auch einige Aspekte, die bei einem Anschluss berücksichtigt werden müssen. Mit dem Anschluss an ein Wärmenetz werden langfristige Vertragsbindungen zur Wärmelieferung eingegangen und der individuelle Wechsel auf eine andere Heizungsart ist während der Vertragslaufzeit mit langen Fristen und vor allem technisch mit hohem Aufwand verbunden. Durch die hohen Investitionen zum

Aufbau einer Wärmeinfrastruktur und den verbrauchsunabhängigen Wärmeverlusten sind die Fernwärmepreise teilweise höher als dezentrale Lösungen. In diesen Projekten steht die Abwärme jedoch als Nebenprodukt der Industrieprozesse zur Verfügung, damit entfällt ein wesentlicher Anteil der verbrauchsabhängigen Kosten.

Im Hinblick auf das neue Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein⁶ (EWKG), könnte die Anbindung der Stadt Heide/ Region Heide bzw. einzelner Stadt-/Gemeindegebiete an ein aus Abwärme gespeistes Fernwärmenetz dabei unterstützen, die gesetzlichen Vorgaben des Landes Schleswig-Holstein zu erfüllen. Das Land Schleswig-Holstein strebt an, den Anteil der Wärme aus erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch bis zum Jahr 2025 auf mindestens 22 Prozent (§3 Absatz 6 EWKG) zu steigern. Durch die Nutzungspflicht von Erneuerbaren Energien in der Wärme- und Kälteversorgung für beheizte Wohn- und Nichtwohngebäude im Gebäudebestand ist jeder Eigentümer von Gebäuden, die vor dem Jahr 2009 errichtet wurden verpflichtet beim Austausch oder nachträglichem Einbau der Heizungsanlage mindestens 15 Prozent des jährlichen Wärme- und Kälteenergiebedarf durch Erneuerbare Energien zu decken (§9 EWKG) oder sich an ein Wärmenetz anzuschließen, welches einen Primärenergiefaktor von maximal 0,7 besitzt.

Für die Erreichung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung und zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energieimporten hat das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen am 14. Juli 2022 ein Konzeptpapier⁷ veröffentlicht, welches vorsieht, dass beim Einbau von neuen Wärmeherzeugungsanlagen ab 2024 ein Anteil von mindestens 65% erneuerbaren Energien an der Wärmeherzeugung erreicht werden muss.

Mit einer Fernwärmeversorgung werden die Anforderungen des § 9 Abs. 6 EWKG erfüllt und die Klimaschutzziele nach §3 EWKG in der Region Heide erreicht. Der zu erreichende Primärenergiefaktor von maximal 0,7 wird durch die industrielle Abwärme, welche nach Gebäude Energie Gesetz⁸ mit 0,0 bewertet wird, erreicht, sofern ein möglicher fossiler Anteil nur zur Spitzenlastabdeckung eingesetzt wird. Eine Nutzung der entstehenden Abwärme stellt die Einbindung in ein neu zu errichtendes Fernwärmenetz zur Beheizung von Häusern, Wohnungen und Gewerbe in einer energetisch sinnvollen räumlichen Nähe dar.

Tabelle 8: Vor- und Nachteile Fernwärme Heide und Umgebung

FERNWÄRME HEIDE & UMGEBUNG	
Vorteile	Nachteile
klimatefreundlich	Wärmenetzverluste
geringer Platzbedarf	sehr hohe Kosten für Infrastruktur
Zukunftsfähig (Erfüllung der Anforderungen)	

⁶ Gesetz zur Energiewende und zum Klimaschutz in Schleswig-Holstein (Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein - EWKG) vom 7. März 2017

⁷ BMWK: 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024

⁸ GEG §22 Primärenergiefaktoren

7.3 LANDWIRTSCHAFT

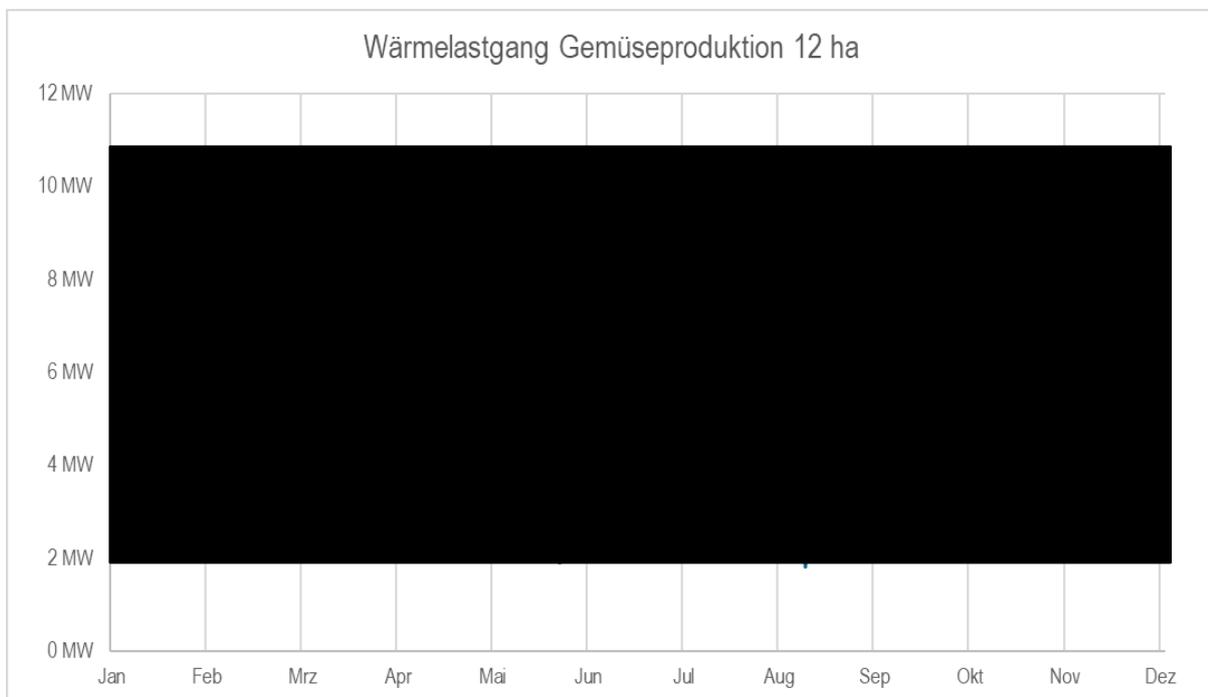
Die Abwärmenutzung zum Anbau von Gemüse in Gewächshäusern und zum Züchten von Fischen stellt mit Blick auf das Abnahmepotenzial ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet mit integrativem Ansatz dar, welches in Teilen innerhalb der Region Heide bereits vorzufinden ist. Es werden im Folgenden auf wesentliche Kennwerte der Landwirtschaft, wie Wärmebedarf pro kg Gemüse, pro m² oder pro m³ für potenzielle Wärmebedarfe ausgewertet.

7.3.1 GEMÜSEANBAU

In der unmittelbaren Umgebung von Heide befinden sich schon heute zwei der größten Gewächshäuser Deutschlands mit einer Anbaufläche von ca. 12 ha. In den Gewächshäusern werden energieintensive Gemüsesorten wie die Tomate und die Paprika angebaut. Die Gemüsesorten benötigen ganzjährig Wärme. Bei der Betrachtung wird untersucht, welche Auswirkungen der Bau weiterer Gewächshäuser auf die Abwärmemengen hat. In Abbildung 7 wird der Wärmelastgang einer solchen Gemüseproduktion dargestellt. Der Wärmebedarf besteht ganzjährig mit einer Grundlast von [REDACTED].

Der Wärmebedarf einer 12 ha Gemüsefarm (Abbildung 7) beträgt ca. [REDACTED]. Das bedeutet einen spezifischen Wärmebedarf von ca. [REDACTED].

Abbildung 7: Wärmelastgang Gemüseproduktion



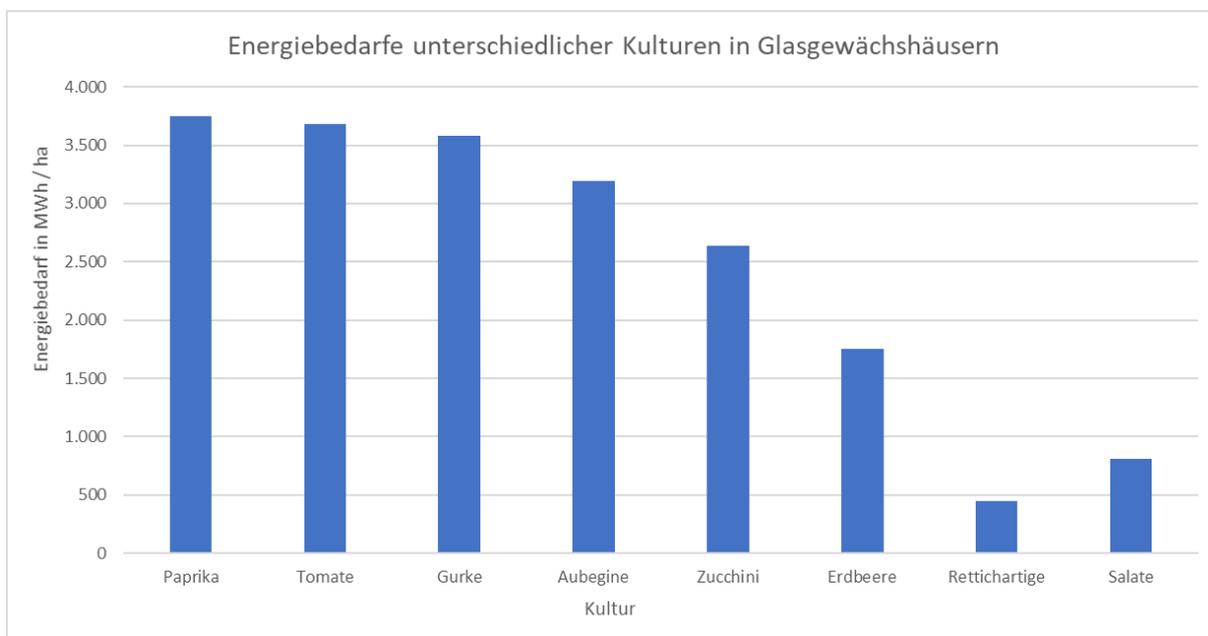
Quelle: Eigene Darstellung

⁹ Fernwärmeversorgung Gewerbepark Westküste

Für die weitere Betrachtung wurden aus der Literatur¹⁰ folgende Werte in Abbildung 8 angenommen. Der Anbau von Paprika und Tomate wird mit einem Wärmebedarf von ca. 3.750 MWh/ha im Jahr und 3.680 MWh/ha im Jahr angenommen. Die Abweichung zwischen den Literaturwerten und den spezifischen Werten aus Abbildung 8 weisen eine Abweichung von ca. 7 % auf. In Abbildung 8 werden die spezifischen Wärmebedarfe für unterschiedliche Gemüsekulturen in Glasgewächshäuser verglichen. Die Werte beziehen sich auf eine jährliche Wärmemenge pro bewirtschaftete Fläche, um möglichst einfach anhand der zur Verfügung gestellten Fläche den zu erwarteten Wärmebedarf zu errechnen. Aus der Abbildung 8 geht hervor, dass die drei energieintensivsten Gemüsekulturen, die Paprika, die Tomate und die Gurke sind. Aus wirtschaftlichen Gründen werden die Gemüsekulturen in der Regel im Süden Europas produziert. Durch die Abwärmenutzung könnten die Energiekosten zum Anbau von Gemüsekulturen wirtschaftlich dargestellt werden. Durch die Nutzung der klimaneutralen Wärme und der Vermeidung des Transports des Gemüses aus dem Süden entfallen CO₂-Emissionen und Teile der Produktionskosten.

Sofern klimaneutrale und kostengünstige Wärme für die Produktion von Gemüsekulturen vorhanden ist, macht es mit Blick auf kurze Vertriebswege Sinn Gemüsekulturen regional anzubauen. Um die Flächen effizient zu nutzen, können die Gemüsekulturen auch übereinander in mehreren Etagen angebaut werden (Vertical Farming).

Abbildung 8: Vergleich Wärmebedarf Gemüsesorten



Quelle: Eigene Darstellung

¹⁰ Energy Use in Greenhouses in the EU: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption

7.3.2 FISHFARMING (WELS-FARM)

Eine weitere Möglichkeit die Abwärme vor Ort im Bereich der Landwirtschaft zu nutzen stellt die nachhaltige Zucht von Fischen als Nahrungsmittel dar. Bei der Auswahl der zu betrachteten Fischart ist die Entscheidung auf den afrikanischen Zuchtwels gefallen. Der Wels ernährt sich, im Gegensatz zu dem herkömmlichen Zuchtlachs, pflanzlich und benötigt keine tierischen und aus dem Ausland importierte Futtermittel. Die Werte der folgenden Tabelle 9 stammen von einer Welsfarm aus Mecklenburg-Vorpommern¹¹ mit einer Fläche von 3.125 m².

Tabelle 9: Daten einer Welsfarm in Deutschland

Welsfarm		
Flächenbedarf:	3.125 m ²	10.000 m ²
Fischproduktion:	150.000 kg/a	480.000 kg/a
Wärmebedarf:	456.250 kWh/a	1.460.000 kWh/a
Wärmelast	52 kW	167 kW

Eine Welsfarm benötigt ganzjährig eine Wassertemperatur von 27 °C und eine Raumtemperatur von 32°C ganzjährig und bietet somit eine konstante Wärmeabnahme über das ganze Jahr. Mit den erhaltenden Daten der Welsfarm wurde ein spezifischer Wärmebedarf je m² ermittelt und als Grundlage für weitere Berechnungen angesetzt. Der Wärmebedarf einer Fischfarm, welche 480 t/a Rohfisch produziert und einen Flächenbedarf von 10.000 m² hat, weist einen Wärmebedarf von ca. 1.460 MWh im Jahr auf. Die größte Welsfarm in Deutschland produziert derzeit ca. 400 t Rohfisch im Jahr. Um ein möglichst realistisches Szenario und den Vergleich zu den spezifischen Wärmebedarfen abbilden zu können, wurde von einem Flächenbedarf von 1 ha angenommen. Die Steigerung der Rohfischproduktion auf 10.000 m² im Vergleich zur bisher größten Welsfarm in Deutschland beträgt 20% (Steigerung von 80.000 kg Rohfisch/a). Im Lösungsvorschlag wird eine Welsfarm mit einer Fläche von 10.000m² zur Schaffung der Abwärmepotenziale in der Landwirtschaft betrachtet. Die Zucht von Fischen ist energieintensiv. Neben den benötigten Wärmemengen besteht ein hoher Wasserbedarf und somit fällt auch Abwasser an, welches kostenintensiv entsorgt werden muss. Sofern klimaneutrale und kostengünstige Wärme für die Fischzucht und ein ausreichendes Wasservorkommen vorhanden ist, macht es Sinn Fischkulturen regional anzubauen. Um Wasserressourcen effizient zu nutzen, kann die Fischzucht auch in Verbindung mit Gemüseproduktion betrieben werden (Aquaponic).

¹¹ Landwirtschaftliche Aquakultur Wedell

7.3.3 AQUAPONIC

Eine Kombination aus dem Anbau von Gemüse und dem Züchten von Fischen bietet das Konzept Aquaponic. Sowohl der Anbau von Gemüse als auch die Zucht der Fische benötigt große Mengen an Wasser und daraus resultieren große Mengen an Abwasser. In dem Konzept Aquaponic wird das Abwasser aus der Fischzucht in einem geschlossenen Kreislauf im Gemüseanbau weiterverwendet. Die in der Tabelle 10 aufgezeigten Daten zeigen den Energiebedarf aus Aquaponic. Die Gemüseproduktion besteht aus dem Anbau von Tomaten im Zusammenspiel einer Welszucht. Der spezifische Wärmebedarf der beschriebenen Aquaponic beträgt 2.760 MWh/ha im Jahr.¹²

Tabelle 10: Daten Aquaponic

Aquaponic	
Flächenbedarf:	10.000 m ²
Fischproduktion (Wels):	108.000 kg/a
Tomatenproduktion:	225.500 kg/a
Wärmebedarf Tomaten:	2.200.000 kWh/a
Wärmebedarf Fisch:	560.000 kWh/a
Gesamtwärmebedarf:	2.760.000 kWh/a
Wärmelast	251 kW

Der Wärmebedarf einer Aquaponic spiegelt die Summe des ermittelten spezifischen Wärmebedarfs je Hektar in Kapitel 7.3.1 und Kapitel 7.3.2 wider. Aufgrund eines geschlossenen Wasserkreislaufs ist die gemeinsame Produktion von Fisch ökologischer und ressourcenschonender als eine separate Produktion.

¹² Profitability of multi-loop aquaponics: Year-long production data, economic scenarios and a comprehensive model case. Aquac Res. 2020;51:2711–2724.

7.3.4 ALGENFARM

Eine weitere Möglichkeit landwirtschaftliche Flächen und die Wärme nachhaltig zu nutzen kann die Ansiedelung einer Algenfarm sein.

Die Produktion von Algen findet in der untersuchten Region Heide aufgrund der Voraussetzungen in Gewächshäusern in den Sommermonaten statt. Die Algen benötigen ganzjährig Wärme und Licht. Die benötigten Temperaturen zwischen 15 und 30°C müssen konstant eingehalten werden. Von März bis Oktober wird keine zusätzliche Wärme benötigt, da die Solareinstrahlung die Gewächshäuser über 30°C erwärmt. Mit der Algenproduktion in den Sommermonaten würde ein weiterer Kühlbedarf anfallen. Eine Algenproduktion im Winter benötigt zusätzlich Licht. Aktuell besteht kein nennenswerter Bedarf an Algen deshalb ist der Standort in Heide aktuell nicht relevant. Für eine Massenproduktion und den Export von Algen ist in der Region laut Herrn Dr. S. Lippemeier von BlueBioTech GmbH aktuell kein lukratives Geschäft, da die optimalen Bedingungen nicht nur maßgeblich von dem Preis für die Wärmeversorgung abhängen, sondern auch von weiteren Faktoren, wie z.B. Nachfrage auf dem Markt. Eine konkrete wirtschaftliche Betrachtung ist aufgrund der Datengrundlage nicht darstellbar.

Die Produktion von hochwertigen und hochpreisigen Algen für Pharmazie kann wirtschaftlich sinnvoll sein. Jedoch besteht aktuell kein Bedarf hierfür. Sollte in Zukunft die Produktion in signifikanter Stückzahl von Algen in Deutschland relevant werden, könnte die Abwärme aus den Projekten eingebunden werden.

7.3.5 BEWERTUNG LANDWIRTSCHAFT

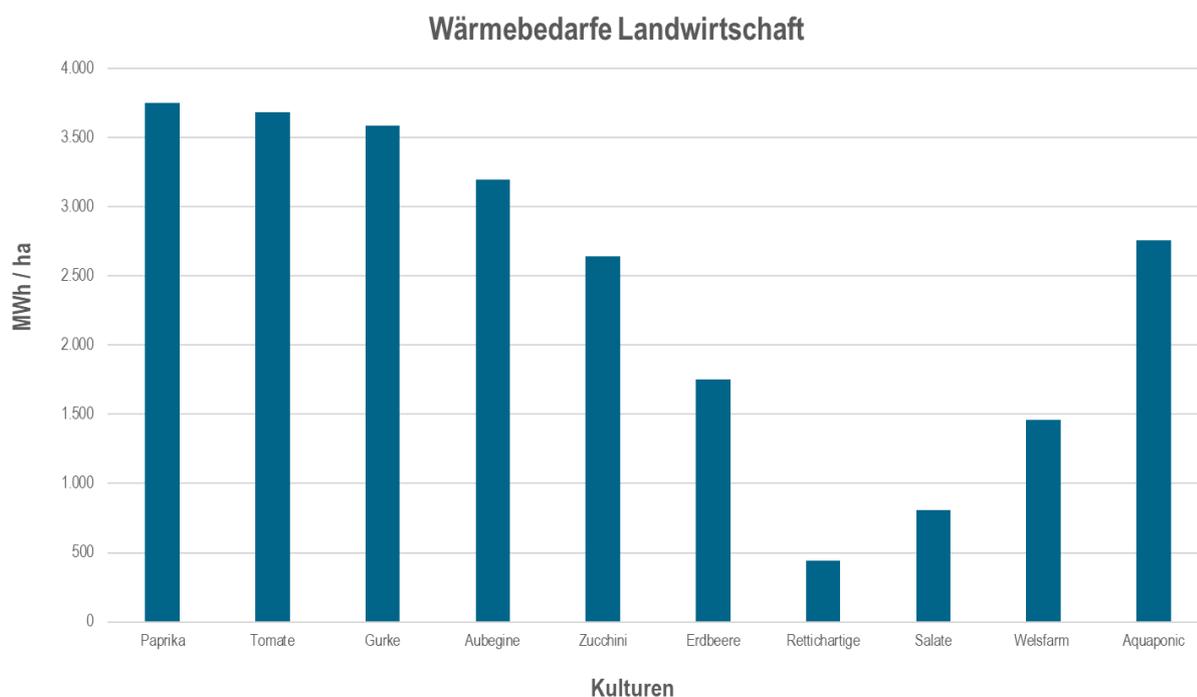
Die Nutzung der zur Verfügung stehenden Flächen in der Region Heide zum Anbau von Nahrungsmitteln in beheizten Gewächshäusern versorgt mit industrieller Abwärme kann nachhaltiger als der Anbau von Nahrungsmitteln in fossil beheizten Gewächshäusern oder importierter Waren aus unbeheizten Gewächshäusern aus dem Ausland sein. Ein regionaler Verbrauch von angebautem Gemüse ist umwelt- und klimafreundlich. Ein Nachteil der Landwirtschaft ist der benötigte Wasserbedarf zum Anbau und zur Zucht. Für eine effiziente Nutzung von Wasser und weiteren Ressourcen durch die Nutzung von Synergieeffekten zwischen z.B. dem Gemüseanbau und der Fischzucht sollten Aquaponicanlagen angestrebt werden. Ein weiterer Nachteil ist der benötigte Flächenbedarf zum Anbau von Gemüse. Aufgrund hoher Preise und Verfügbarkeiten von Flächen sollte die Nutzung der zur Verfügung stehenden Flächen optimiert werden. Durch zusätzliche Investitionen kann der Anbau von Gemüse auch auf mehreren Etagen stattfinden (vertical farming, S. 18). Aus den betrachtenden Potenzialen aus der Landwirtschaft (Kapitel 7.3.1 bis 7.3.4) für die Verwendung der Abwärme geht hervor, dass der Anbau von Paprika und Tomaten den höchsten spezifischen Energiebedarf aufweist. Die Auswahl der anzubauenden Pflanzen und zu züchtenden Tiere sollte auch in Abhängigkeit der Nachfrage getroffen werden

Tabelle 11: Vor- und Nachteile Landwirtschaft

LANDWIRTSCHAFT HEIDE & UMGEBUNG	
Vorteile	Nachteile
regional	Flächenbedarf
nachhaltig	Hoher Wasserbedarf
klimafreundlich	

In der folgenden Abbildung 9: Vergleich Wärmebedarf Landwirtschaft werden die betrachteten Energiebedarfe aus der Landwirtschaft zusammengefasst.

Abbildung 9: Vergleich Wärmebedarf Landwirtschaft



Quelle: Eigene Darstellung

7.4 KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG

Die Klärschlammbehandlung stellt die Gemeinden vor technische, wirtschaftliche und umwelttechnische Herausforderungen. Bislang wurde Klärschlamm unter Einhaltung großzügiger Grenzwerte für die Düngung in der Landwirtschaft verwendet. Nun wurden jedoch die Grenzwerte für die Ausbringung geändert. Diese Änderungen haben zur Folge, dass immer mehr Klärschlamm in Verbrennungsanlagen verwertet und weniger Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird.

Aus den oben genannten Gründen ist es nun notwendig, die Transport- und Lagerfähigkeit durch das Trocknen des Klärschlammes zu verbessern. Durch den Trocknungsprozess wird die Klärschlammmenge und das Gewicht reduziert, sowie der Heizwert des Klärschlammes erhöht. Somit werden weniger Transportkapazitäten zur Beförderung des Klärschlammes zu den Verbrennungsanlagen benötigt und weniger Lagerkapazitäten für den Klärschlamm vorgehalten. Der getrocknete Klärschlamm besitzt eine höhere Energiedichte und gestaltet damit die Verbrennung effizienter. Der Energiegehalt der festen Menge Klärschlamm nimmt durch die Trocknung ab, da weniger Energie in Form von Wasserdampf umgesetzt wird.

Aktuell wird der anfallende Klärschlamm von ca. 2.700 t/a in einer Schneckenpresse von einem 98%igen Wasseranteil auf ein Feuchteanteil von ca. 78 bis 82% entwässert. Unter der Annahme, dass der durchschnittliche Feuchteanteil bei 80% liegt, enthält der Klärschlamm noch ca. 2.160 t Wasser im Jahr.

Durch den Einsatz von Niedertemperatur- Bandtrockner, welche mit Trocknungstemperaturen von 45 bis 48 °C arbeiten, kann ein Trockensubstanzgehalt von über 90% erzielt werden. Dazu werden ca. 900 kWh je

Tonne Wasser benötigt. Das ergibt einen Wärmebedarf von ca. 1.944 MWh im Jahr oder ca. 5,3 MWh am Tag zur Trocknung des Klärschlammes von ca. 80% auf 90% Trockensubstanzgehalt.

In der Tabelle 12 sind die beschriebenen Mengen und Anteile übersichtlich dargestellt.

Tabelle 12: Daten Klärschlamm-trocknung

Klärschlamm-trocknung		
anfallende Klärschlamm-menge	ca.	2.700 t/a (kontinuierlich 7,4 t/d)
aktueller Feuchteanteil	ca.	78 % bis 82 %
enthaltene H ₂ O	80 %	2.160 t/a
benötigte Wärmearbeit (Abwärme)	900 kWh/t	1.944 MWh/a (kontinuierlich 5,3 MWh/d)

Die Reduzierung des Transportaufwands ist effizient und nachhaltig, da Fahrten zum Abtransport von Klärschlammern reduziert und CO₂-Emissionen eingespart werden können. Die Schadstoffbelastung auf den Feldern nimmt durch die anderweitige Verwendung ab. Durch die Nutzung von der industriellen Abwärme kann die Klärschlamm-trocknung innerhalb des Nutzungszeitraums wirtschaftlich dargestellt werden. Um eine Klärschlamm-trocknung zu installieren und zu betreiben ist ein geeigneter Platz auf der Kläranlage und Fachpersonal für den Betrieb nötig. In der Tabelle 13 werden die Vor- und Nachteile für die Anschaffung einer Klärschlamm-trocknung in Heide dargestellt.

Tabelle 13: Vor- und Nachteile Klärschlamm-trocknung

KLÄRSCHLAMM-TROCKNUNG	
Vorteile	Nachteile
wirtschaftlich	Platzbedarf
effizient	betriebstechnischer Aufwand
nachhaltig	

7.5 KÄLTE AUS ABWÄRME

Es besteht in der Region nach einer Recherche kein nennenswerter Kältebedarf. Nach Gesprächen mit aktuellen Anbietern für Absorptionskältemaschinen gibt es am Markt Kältemaschinen, die mit einer Temperatur von 50-95°C Kälte erzeugen können. Je niedriger die eingesetzte Temperatur ist desto schlechter ist der Wirkungsgrad, die CO₂-Bilanz und die Wirtschaftlichkeit der Kälteerzeugung. Es werden für einen wirtschaftlichen Betrieb Temperaturen über 90°C zur Kälteerzeugung empfohlen. Im Rahmen dieser Studie wird die Kälteerzeugung aus dem Abwärmepotenzial aus den oben genannten Gründen nicht weiter verfolgt. In Tabelle 14 werden die Vor- und Nachteile der Möglichkeit Kälte aus Abwärme zu generieren, übersichtlich dargestellt.

Tabelle 14: Vor- und Nachteile Kälte aus Abwärme

KÄLTE AUS ABWÄRME	
Vorteile	Nachteile
Kälteleistung	hohe Anforderungen (Temperaturen)
	zusätzlicher Energieeinsatz erforderlich
	kein nennenswerter Bedarf

7.6 VERSTROMUNG AUS ABWÄRME

Eine OCR-Anlage erzeugt aus Abwärme Strom, indem Wärme in Form von Dampf eine Turbine antreibt, um Strom zu erzeugen. Die Auffassung des Auftraggebers, dass ein wirtschaftlicher Betrieb bei den zur Verfügung stehenden Temperaturen nicht möglich sein wird, bestätigen wir und sehen kein Potential einer Anwendung im Untersuchungsraum.

Die IPP ESN hat in der Vergangenheit für einen Kunden bereits eine sogenannte ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle) auf Basis von Holzhackschnitzeln geplant und somit einige Erfahrungen mit dieser Technologie machen können. In Tabelle 15 werden die Vor- und Nachteile der Möglichkeit Strom aus der Abwärme zu erzeugen, übersichtlich dargestellt.

Tabelle 15: Vor- und Nachteile Verstromung der Abwärme

VERSTROMUNG DER ABWÄRME	
Vorteile	Nachteile
Strom	zu hohe Anforderungen
	zusätzlicher Energieeinsatz erforderlich
	nicht wirtschaftlich

7.7 FAZIT DER MÖGLICHKEITEN ZUR ABWÄRMENUTZUNG

Zusammenfassend lässt sich aus den Punkten 7.2 bis 7.6 folgende Tabelle 16 aufstellen. Die verschiedenen Ansätze zur Abwärmennutzung wurden technisch, ökologisch und wirtschaftlich eingeordnet und verglichen. Der grüne Pfeil bedeutet, dass das Abwärmepotenzial nach Erfüllung von Anforderungen realisiert werden könnte und die Bewertungen überwiegend positive Aspekte beinhaltet. Der gelbe Pfeil bedeutet, dass die Realisierung des Abwärmepotenzials eingeschränkt möglich ist und bei den Bewertungen, die Gewichtung der positiven und negativen Aspekte ausgeglichen gestaltet ist. Der rote Pfeil bedeutet, dass die Realisierung des Abwärmepotenzial nicht möglich ist und die Bewertungen überwiegend negative Aspekte beinhaltet.

Fernwärmeanwendungen sind ein geeigneter Lösungsansatz zur Nutzung der Abwärme. Jedoch gibt es Herausforderungen, die bei der Realisierung von Fernwärme in Kapitel 8.6 näher betrachtet werden. Die Realisierung einer Klärschlamm-trocknung auf der Kläranlage kann durch die Nutzung der Abwärme technisch und wirtschaftlich dargestellt werden, außerdem enthalten sie positive ökologische Aspekte. Die Nutzung des Abwärmepotenzials in der Landwirtschaft ist sinnvoll, sofern der regionale Bedarf an Nahrungsmitteln gedeckt und die Produktion der Nahrungsmittel wirtschaftlich ist. Die Produktionskosten von Lebensmitteln werden gegenüber anderen Anbaugebieten, wie z.B. in Südeuropa konkurrenzfähiger, da die Nutzung der industriellen Abwärme geringe Kosten für Wärme verursachen sollte. Die Verstromung der Abwärme und die Kälte aus Abwärme sind aufgrund des vorhandenen Temperaturniveaus technisch und wirtschaftlich nur mit großem Aufwand zu realisieren. Durch zusätzliche elektrische Energie kann aus der Abwärme Strom und Kälte erzeugt werden. Sofern die zusätzliche elektrische Energie nicht aus erneuerbaren Energien erzeugt werden, sind die Auswirkungen auf die ökologischen Aspekte negativ.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Bewertung von betrachteten Wärmeabnehmern

Abwärmennutzung	Technische Machbarkeit	Ökologische Bewertung	Wirtschaftliche Bewertung
Fernwärme	↗	↗	↗
Klärschlamm-trocknung	↗	↗	→
Landwirtschaft	↗	↗	↗
Verstromung der Abwärme	↘	↘	↘
Kälte aus Abwärme	→	↘	↘

Quelle: Eigene Darstellung

Wir empfehlen die Fernwärme, Klärschlamm-trocknung und Landwirtschaft aufgrund der Bewertung in Tabelle 16 und den vor Ort gegebenen Bedingungen näher zu betrachten. Die Empfehlungen werden in unserem Lösungsvorschlag in Kapitel 8 näher erläutert.

8 LÖSUNGSVORSCHLAG ZUR ABWÄRMENUTZUNG

8.1 KONZEPT

Um die Abwärme in der Region Heide und darüber hinaus nutzbar zu machen, wird eine neue Infrastruktur benötigt. Die bereits vereinzelt vorhandenen, relativ kleinteiligen Wärmenetze in der Region Heide könnten nach einer entsprechenden Konzeptionierung und technischen Prüfung möglicherweise integriert werden. Die Infrastruktur besteht hauptsächlich aus einem Wärmenetz, Wärmepumpen und Wärmespeicher. Durch die zu errichtende Infrastruktur können zukünftig bestehende und entstehende Wärmebedarfe gedeckt werden. Mithilfe der Infrastruktur können Wohngebiete und Gewerbegebiete in der Region und darüber hinaus an eine gemeinsame Fernwärmeversorgung angeschlossen werden. Dadurch kann die Wertschöpfung mit einer zukunftsfähigen Technologie in der Region bleiben und die emissionsarme Wärmeversorgung für die Zukunft gesichert werden.

Es wird die Annahme getroffen, dass die Wärme, wie unter Kapitel 6 angegeben, direkt zur Nutzung zur Verfügung steht.

Durch die Projekte Großelektrolyse und Batteriefabrik entsteht ein Abwärmepotenzial, welches möglichst sinnvoll den vorhandenen und zukünftigen Wärmebedarf durch die Erschließung alter und neuer Wohngebiete und Ansiedelung neuer Produktionsunternehmen mit dem Ziel einer regionalen und nachhaltigen Versorgung, decken sollte. Deshalb sieht der hier in der Abbildung 10 dargestellte Lösungsvorschlag eine Kombination der in Kapitel 7 dargestellten Verwendungsoptionen in Verbindung mit Wärmespeichern über ein Wärmenetz vor:

Die Wärme auf dem höchsten Temperaturniveau aus den beiden Projekten versorgt die nächstliegenden vorhanden Wärmeverbraucher. In Abbildung 10 in rot dargestellt ist daher ein Wärmenetz auf dem Temperaturniveau 75/40°C (siehe Tabelle 2) für die Fernwärmeversorgung in Heide und Umgebung gemäß dem Wärmebedarf und Orte aus Tabelle 6. Somit können Wärmenetzverluste möglichst gering gehalten werden und größtenteils auf den Einsatz von zusätzlicher Energie verzichtet werden.

In **gelb** dargestellt wird ein Wärmenetz auf dem (mittleren)Temperaturniveau 55/40°C. Dieses kann zur Versorgung der nächstgelegenen Städte (z.B. Husum, Büsum, die aufgrund der Nähe zuerst Interesse am Anschluss des Wärmenetz bekunden könnten), sowie der Klärschlamm-trocknung, des Gemüseanbaus und Fishfarming genutzt werden, welche die idealen Voraussetzungen für das Temperaturniveau besitzen. In den Berechnungen wurde eine Gemüseproduktion auf einer exemplarischen Fläche von 15 ha mit einem Gesamtwärmebedarf von ca. 60 MWh/a angenommen, sowie eine Fischzucht, in der ca. 400 Tonnen Roh-fisch (Afrikanischer Wels) im Jahr produziert werden. Zur Fernwärmeversorgung der nächstgelegenen Orte müssen ggf. vor Ort (z.B. in Husum, Büsum) die Temperaturen mittels Wärmepumpen auf ein höheres Tem-peraturniveau von z.B. VL 80/ RL 66 °C gehoben werden. Dies wird exemplarisch in Abbildung 11 dargestellt und in diesem Kapitel erläutert.

In **blau** dargestellt ist das Wärmenetz, welches das geringsten Temperaturniveau aufweist und sich für die Überbrückung großer Entfernungen eignet. Zur Nutzung der Energie im Bereich der Fernwärmeversorgung wird die Wärme vor Ort auf die benötigte Temperatur mittels Wärmepumpensystem auf ein Temperaturni-veau von mindestens 75°C angehoben (Abbildung 11).

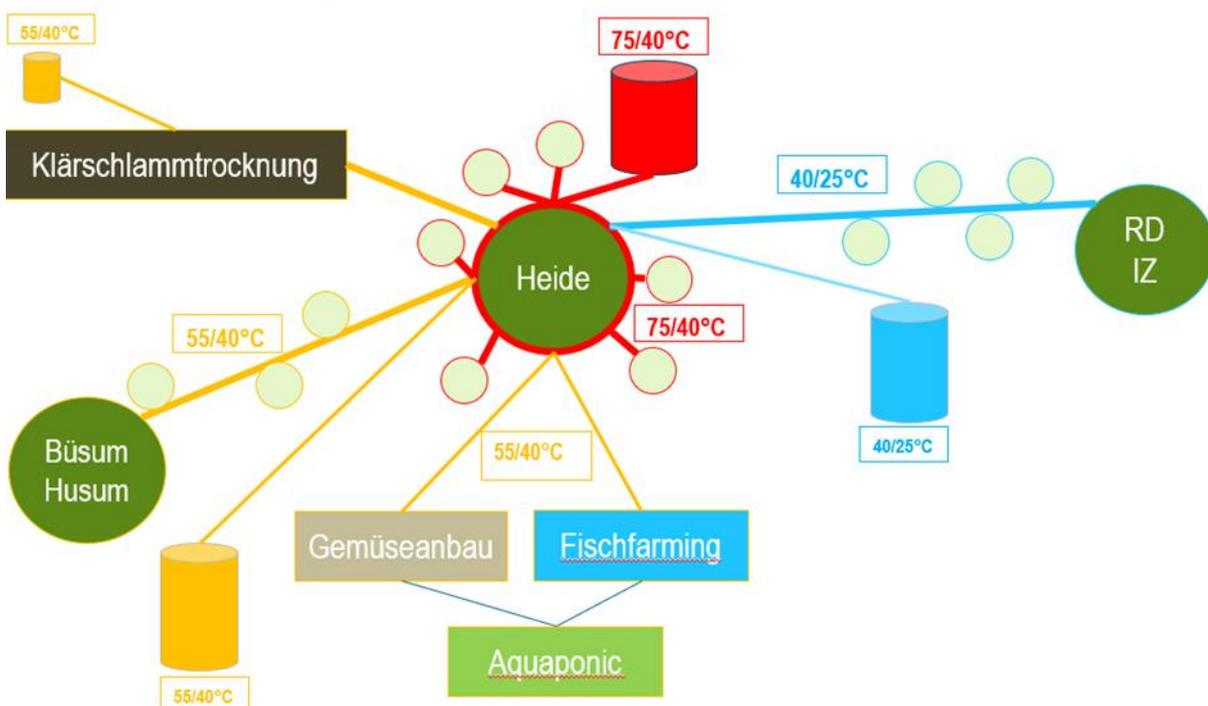
Die in Abbildung 10 dargestellten Zylinder stellen die Wärmespeicher in den entsprechenden Netzen gemäß Kapitel 8.3 dar. Der Wärmespeicher z.B. für die Klärschlamm-trocknung sorgt dafür, dass eine konstante Wärmeversorgung für die verschiedenen Anwendungsfälle gewährleistet werden kann.

Abbildung 10: Konzept Lösungsvorschlag

LÖSUNGSVORSCHLAG



KOMBINATION FERNWÄRME, KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG, LANDWIRTSCHAFT UND SPEICHER

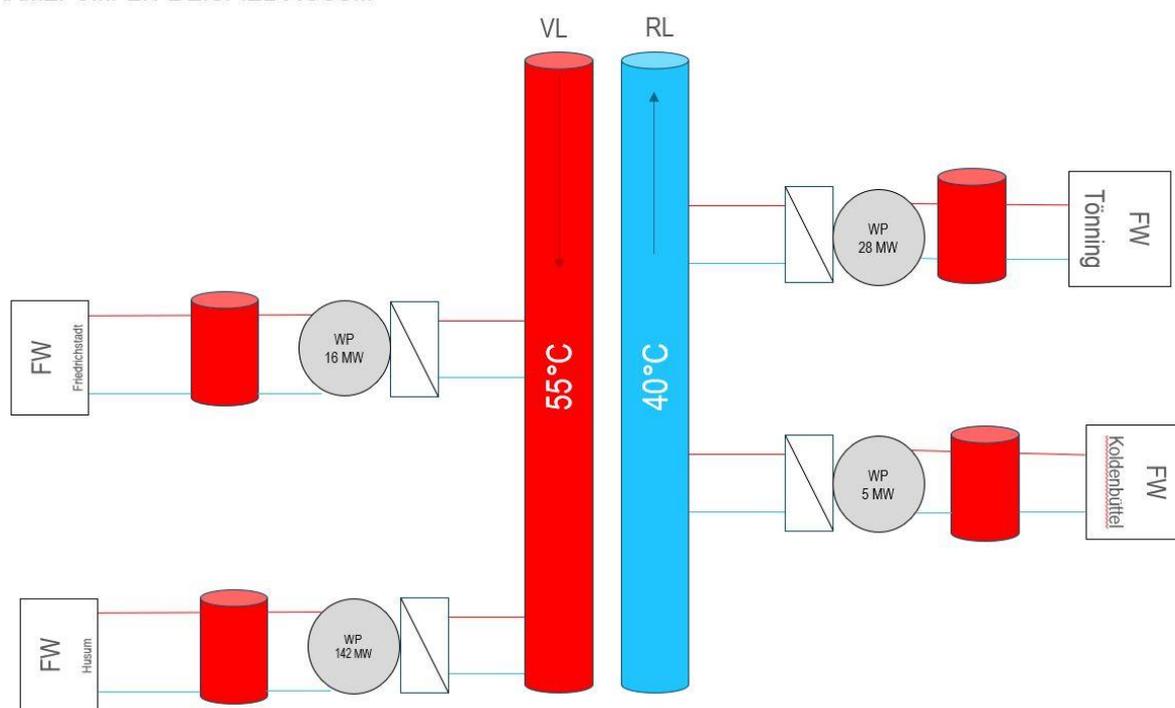


Quelle: Eigene Darstellung

In der Abbildung 11 wird exemplarisch dargestellt, wie die Fernwärmeversorgung auf der Achse nach Husum mit einem mittleren Temperaturniveau aussehen könnte: Das 55/40°C – Netz wird durch den 55°C-Prozess (ELY 55) und dem Überschuss aus dem 75°C Elektrolyseprozess gespeist. Durch die Rohrleitungen wird Wasser als Überträgermedium erwärmt und nach Husum gepumpt. Auf dem Weg nach Husum verläuft die Rohrleitung durch die Orte Tönning, Friedrichstadt und Koldenbüttel. An den Orten befinden sich jeweils Heizzentralen, welche die 55°C Abwärme entnehmen und dieses durch die Nutzung der Fernwärmewärmeanwendung auf 40°C abkühlen, sowie anschließend die 40°C zurück zur Elektrolyse pumpen. Eine entsprechende Wärmepumpenkaskade mit einer Gesamtleistung ist in den Kreisen (Abbildung 11) dargestellt. Sie nutzt die Temperaturdifferenz von 15 K (55°C/40°C) und hebt die Temperatur auf eine für Fernwärme geeignete Temperatur von 80°C. Somit kann beispielsweise bei einer optimalen Anschlussquote von 100% Friedrichstadt mittels 6 Großwärmepumpen (WP) versorgt werden.

Abbildung 11: Konzept Wasser-/ Wasser-Wärmepumpe für Husum

WÄRMEPUMPEN BEISPIEL HUSUM



Quelle: Eigene Darstellung

Die in Abbildung 11 dargestellten Wasser-Wasserwärmepumpen wurden für das Projekt bei einem Hersteller angefragt und individuell auf die Temperaturen eines heißen Wärmenetzes ausgelegt.

8.2 ÜBERSCHLÄGIGE ROHRNETZBERECHNUNG

Für die Realisierung der Wärmeverteilung über ein Wärmenetz gehört die Wärmenetzplanung mit dazugehöriger Rohrnetzberechnung. Im Rahmen dieser Studie wurde eine überschlägige Berechnung der Rohrleitungsdimensionen in Tabelle 17 erstellt. Es wurde die Annahme hinsichtlich Vorlauftemperatur (VL) und Rücklauftemperaturen (RL) aus Abbildung 11 getroffen. Die Entfernungen beziehen sich auf die Rohrleitungslängen zum nächsten Gebiet. Der Wärmebedarf ergibt sich aus den Daten der Tabelle 6 und den entsprechenden Wärmenetzverlusten. Die Wärmenetzverluste wurden für die Wärmeverteilung zwischen Erzeugung und Heizzentralen (Übergabe) mit 15 W/m angenommen und einem Wärmeverlust von 15% des Wärmebedarfs in den Orts-/Stadtnetzen. Der Wert „kumuliert je Strang“ gibt für die einzelnen Rohrleitungsabschnitte die jeweils zu transportierende Wärmemenge an. Das bedeutet für den Strang Husum, das ca. 352 GWh nach Tönning transportiert werden, wovon in Tönning 54 GWh genutzt und 298 GWh weiter nach Friedrichstadt geleitet werden, um am Ende der Leitung Husum zu versorgen. Der Volumenstrom (V) gibt den von den Förderpumpen benötigten Volumenstrom an, um den Betrieb zu gewährleisten. Unter der Annahme der erläuternden Daten und einer Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m³/h des Überträgermediums werden die benötigten Rohrleitungsinwenddurchmesser unter der Tabellenspalte Innendurchmesser aufgeführt.

Tabelle 17: überschlägige Rohrnetzberechnung

Gebiet	VL	Entfernungen	Wärmebedarf ges.	Kumuliert je Strang	V	Innendurchmesser
Tönning	55,0 °C	17 km	54.131 MWh/a	351.671 MWh/a	5.609 m ³ /h	1.150 mm
Friedrichstadt	55,0 °C	15 km	29.815 MWh/a	297.540 MWh/a	4.745 m ³ /h	1.058 mm
Koldenbüttel	55,0 °C	1 km	9.496 MWh/a	267.725 MWh/a	4.270 m ³ /h	1.003 mm
Husum	55,0 °C	16 km	258.229 MWh/a	258.229 MWh/a	4.118 m ³ /h	985 mm
Meldorf	40,0 °C	15 km	77.243 MWh/a	609.472 MWh/a	19.441 m ³ /h	2.141 mm
St. Michaelisdom	40,0 °C	13 km	37.459 MWh/a	532.228 MWh/a	16.977 m ³ /h	2.001 mm
Burg (Ditmarschen)	40,0 °C	10 km	44.638 MWh/a	494.769 MWh/a	15.782 m ³ /h	1.929 mm
Wacken	40,0 °C	10 km	21.700 MWh/a	450.132 MWh/a	14.358 m ³ /h	1.840 mm
Wilster	40,0 °C	13 km	46.490 MWh/a	428.432 MWh/a	13.666 m ³ /h	1.795 mm
Itzehoe	40,0 °C	9 km	381.941 MWh/a	381.941 MWh/a	12.183 m ³ /h	1.695 mm
Tellingstedt	40,0 °C	13 km	29.480 MWh/a	480.892 MWh/a	15.339 m ³ /h	1.902 mm
Wrohm	40,0 °C	5 km	8.032 MWh/a	451.412 MWh/a	14.399 m ³ /h	1.843 mm
Hamdorf	40,0 °C	10 km	14.637 MWh/a	443.380 MWh/a	14.143 m ³ /h	1.826 mm
Elsdorf-Westermühlen	40,0 °C	4 km	16.932 MWh/a	428.743 MWh/a	13.676 m ³ /h	1.796 mm
Fockbek	40,0 °C	7 km	67.692 MWh/a	411.810 MWh/a	13.136 m ³ /h	1.760 mm
Rendsburg	40,0 °C	4 km	344.118 MWh/a	344.118 MWh/a	10.977 m ³ /h	1.609 mm
Wöhrden	55,0 °C	9 km	11.435 MWh/a	69.951 MWh/a	2.231 m ³ /h	725 mm
Großbüttel	55,0 °C	2 km	2.940 MWh/a	58.515 MWh/a	1.867 m ³ /h	663 mm
Friedrichsgabekoog	55,0 °C	2 km	815 MWh/a	55.576 MWh/a	1.773 m ³ /h	647 mm
Warwerort	55,0 °C	3 km	2.863 MWh/a	54.761 MWh/a	1.747 m ³ /h	642 mm
Büsum	55,0 °C	5 km	51.898 MWh/a	51.898 MWh/a	1.655 m ³ /h	625 mm

Eine Abfrage beim Hersteller Interpipe¹³ hat ergeben, dass Stahlrohrleitungen im Sonderbau mit bis zu 2.148 mm Innendurchmesser angeboten werden können. Das bedeutet ein Gewicht von 2 Tonnen je Meter Rohrleitung. Die Rohrnetzberechnung bezieht sich auf die Dimensionen einer Rohrleitung. Zur Fernwärmeversorgung wird eine Leitung zur Führung des heißen Wassers (VL) und eine Leitung zur Rückführung des kalten Wassers (RL) benötigt.

¹³ <https://www.interpipe.de/geschwstahlrohreueber700.htm>

8.3 WÄRMESPEICHER

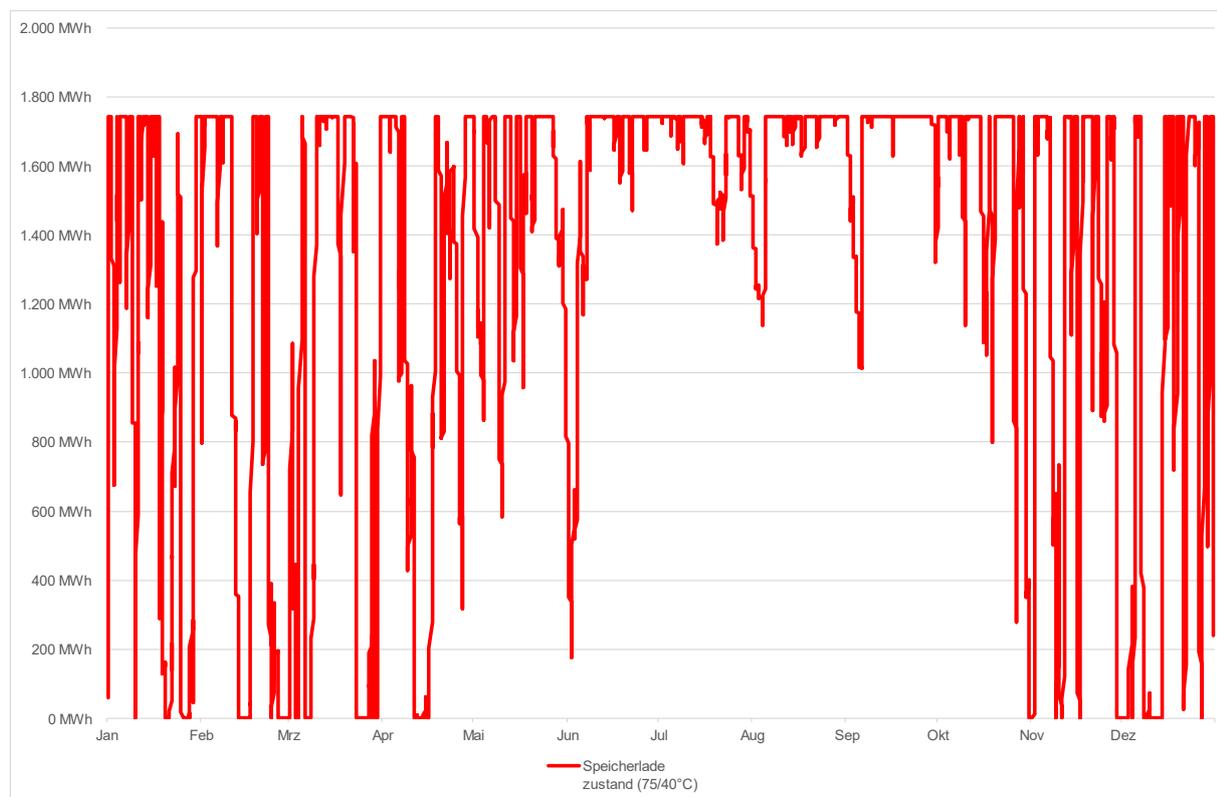
Mit Hilfe von Wärmespeichern soll in dem Lösungsvorschlag die zeitliche Abweichung von Erzeugung und Verbrauch zum Teil kompensiert werden.

Ein weiteres mögliches Potential zur saisonalen Speicherung von Wärme stellt das Erdreich dar. Es gibt eine Vielzahl unterirdischer Hohlräume alter Ölbohrungen in der Region in Dithmarschen, welche geothermisch als Speicher von Abwärme genutzt werden können. Das Potenzial dieser Hohlräume wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht.

8.3.1 75/40°C WÄRMESPEICHER

Die Abbildung 12 zeigt den ca. 60.000 m³ Speicher im heißen Netz für Heide und Umgebung auf einem Temperaturniveau von 75/40°C. Der Wärmespeicher besitzt eine Kapazität von ca. 1.742 MWh und kann ca. 70 GWh im Jahr nutzbar machen. Wie in Abbildung 13 dargestellt, ent- und belädt sich der Speicher in dem Zeitraum von November bis Mitte April vollständig. Sofern die Wärme auf dem Temperaturniveau 75/40°C nicht mehr im Wärmespeicher aufgenommen werden kann, wird die Wärme in das Netz 55/40°C gespießt.

Abbildung 12: Simulation Wärmespeicher 75°C-Netz

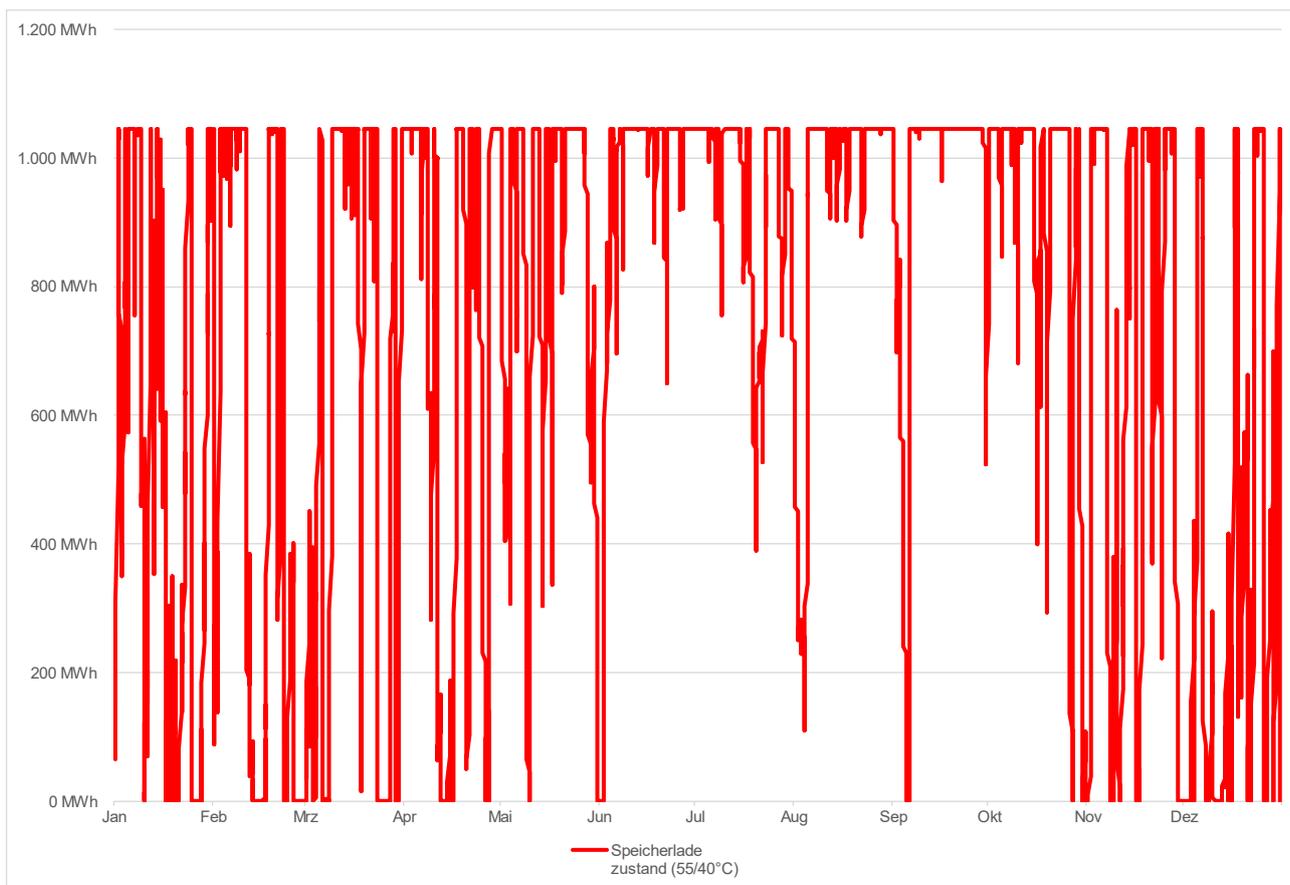


Quelle: Eigene Darstellung

8.3.2 55/40°C WÄRMESPEICHER

Durch die niedrigere Temperaturdifferenz von 15 K im Vergleich zum 75/40°C – Netz weist das 55/40°C – Netz eine Kapazität von 1.045 MWh auf und kann durch den 60.000 m³ Speicher weitere 60 GWh der Abwärme im Jahr nutzbar machen. Der Speicher be- und entlädt sich von November bis Mitte April in einem höheren Zyklus vollständig, wie in Abbildung 13 dargestellt, als das 75/40°C-Netz

Abbildung 13: Simulation Wärmespeicher 55°C-Netz



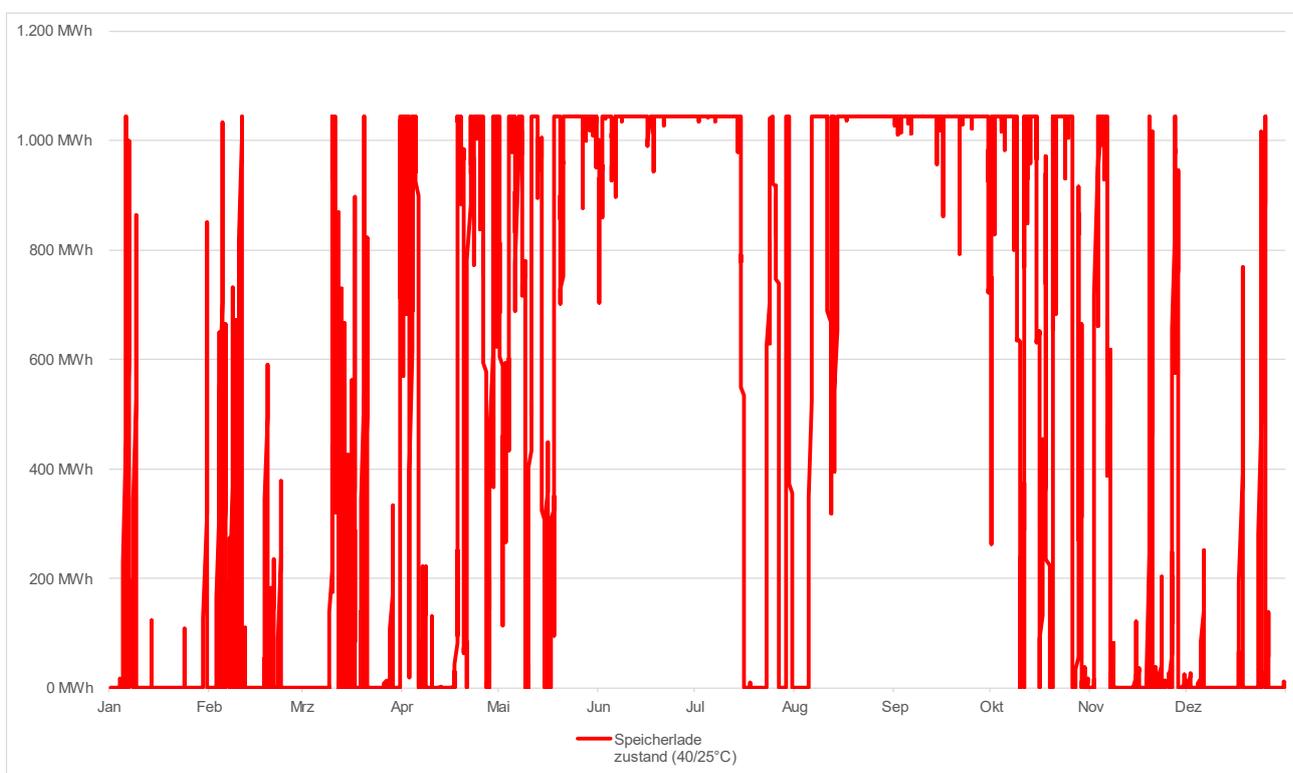
Quelle: Eigene Darstellung

Der Speicher zur Sicherstellung des Dauerbetriebs für die Klärschlamm-trocknung wurde auf der Grundlage des Lastgangs im 55/40°C-Netz ausgelegt. Der Speicher ein Volumen von 800 m³.

8.3.3 40/25°C WÄRMESPEICHER

Der 60.000 m³ Wärmespeicher in Abbildung 14 wurde im 40/25 °C – Netz simuliert. Durch den hohen Wärmebedarf der Verbraucher im Netz wird der Speicher von September bis Juni vollständig be- und entladen. Auch in den Sommermonaten Juli und August wird der Speicher durch die Betriebsferien der Batteriefabrik beansprucht. Die Speicherkapazität beträgt rund 1.045 MWh. Durch die Größe (Volumen) und der angenommenen Temperaturspreizung (15K) weist der Speicher die gleiche Kapazität auf, wie der Speicher im 55/40°C Netz auf. Der Speicher im 40/25°C Netz kann aufgrund seiner höheren Anzahl an Zyklen 62 GWh nutzbar machen.

Abbildung 14: Simulation Wärmespeicher 40°C-Netz



Quelle: Eigene Darstellung

8.4 WÄRMEBILANZEN DER NETZE

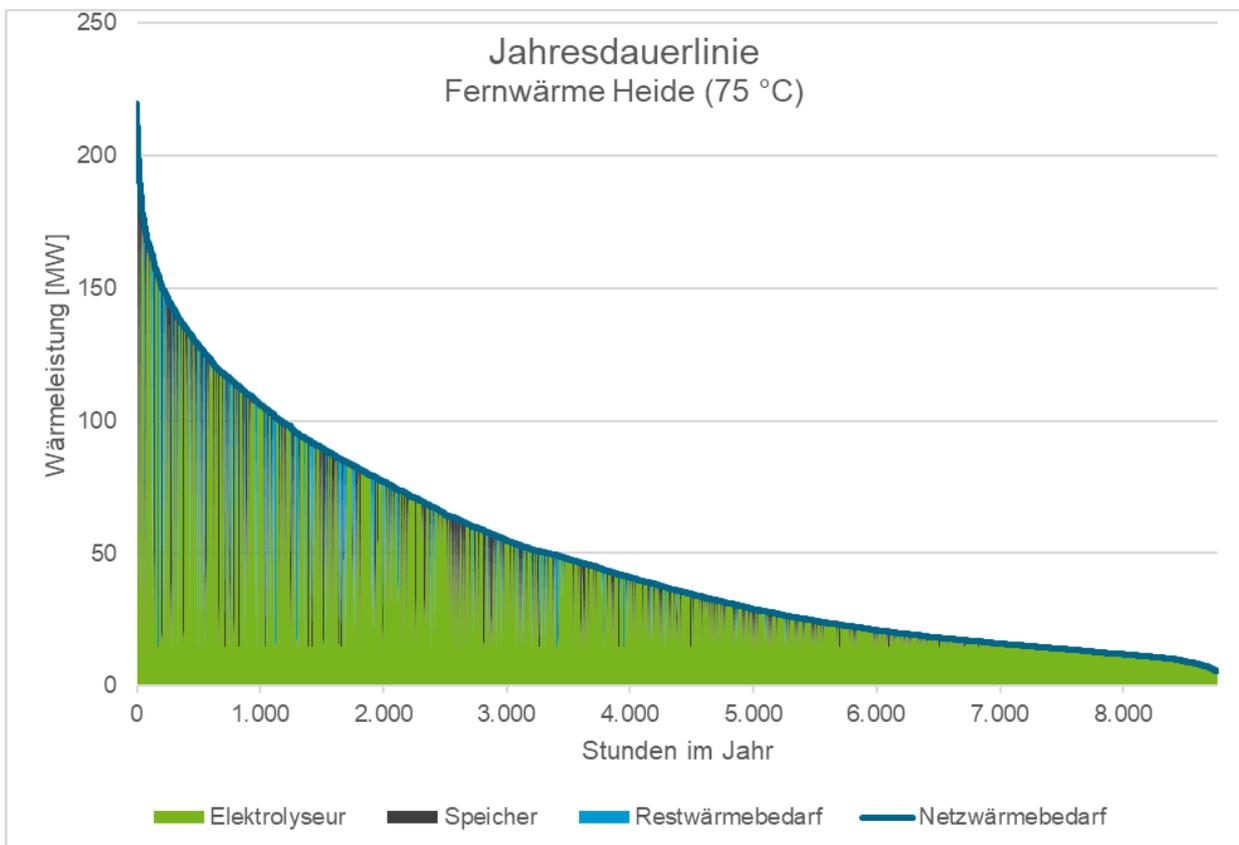
Die Jahresdauerlinie ist eine zeitliche Analyse des Wärmebedarfs und zeigt an, wie viele Stunden im Jahr welche Leistung benötigt wird.

Die monatlichen Bilanzen geben Auskunft über die Verteilung der Wärmemengen in den einzelnen Netzen und den Restwärmebedarf, den es gilt durch den Betrieb von zusätzlichen Erzeugern zu decken.

8.4.1 75/40°C-NETZ

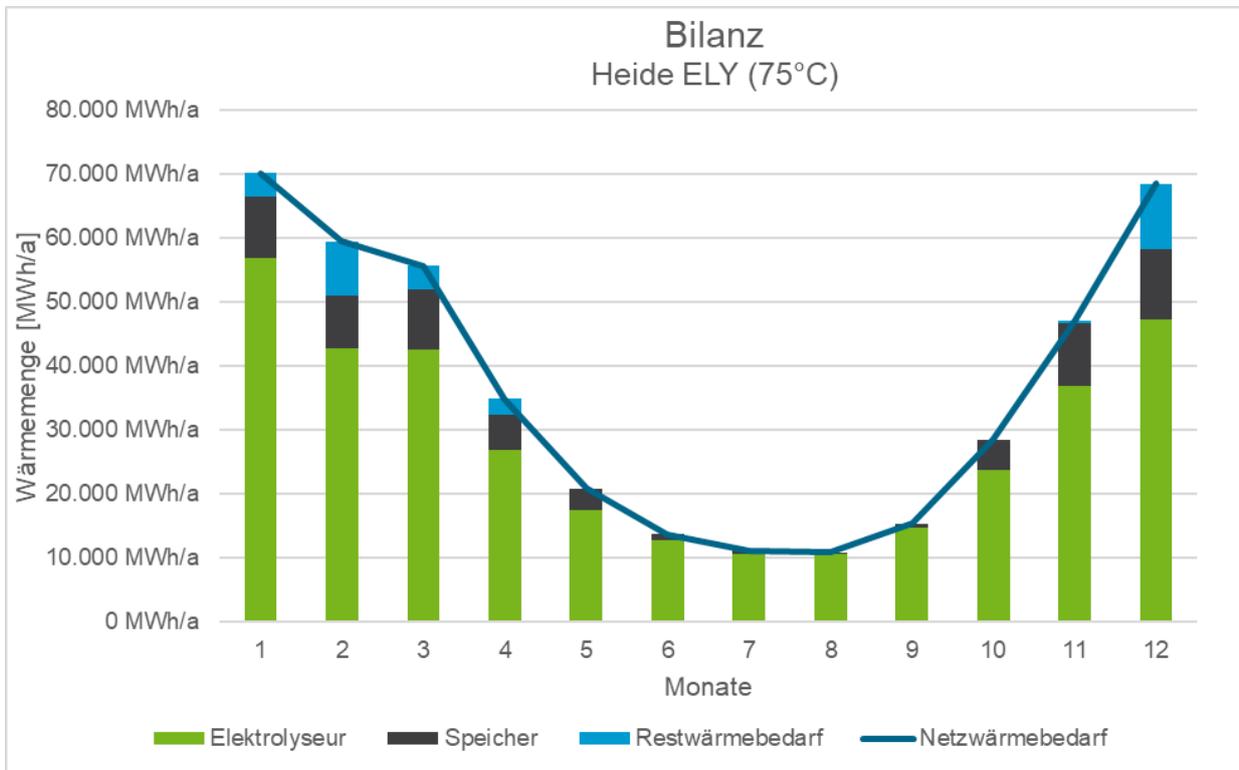
Aus den beiden Abbildung 15 und Abbildung 16 ist zu erkennen, dass der Wärmebedarf für Heide und Umgebung in den Sommermonaten Juli und August nahezu vollständig durch die Abwärme der Elektrolyse gedeckt werden kann. Die Monate Mai, Juni, August September und Oktober können mithilfe des Speichers durch die Abwärme der Elektrolyse gedeckt werden. Von November bis April entsteht in dem 75°C-Netz in Heide ein Restwärmebedarf (hellblau) von insgesamt rund 58 GWh, den es durch den Einsatz von zusätzlichen Erzeugern zu decken gilt. Aus Abbildung 15 ist ersichtlich, dass zur Absicherung dieses Restwärmebedarfs eine Spitzenlast von ca. 100 MW Leistung nötig sind. Die maximale Differenz zwischen dem Restwärmebedarf und dem Netzwärmebedarf in einem Punkt zeigt in der Jahresdauerlinie die nötige Spitzenlastleistung auf. Die Redundanz wird durch den größte benötigte Leistung des Netzwärmebedarfs aufgezeigt.

Abbildung 15: Jahresdauerlinie 75°C-Netz



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 16: Wärmebilanz 75°C-Netz

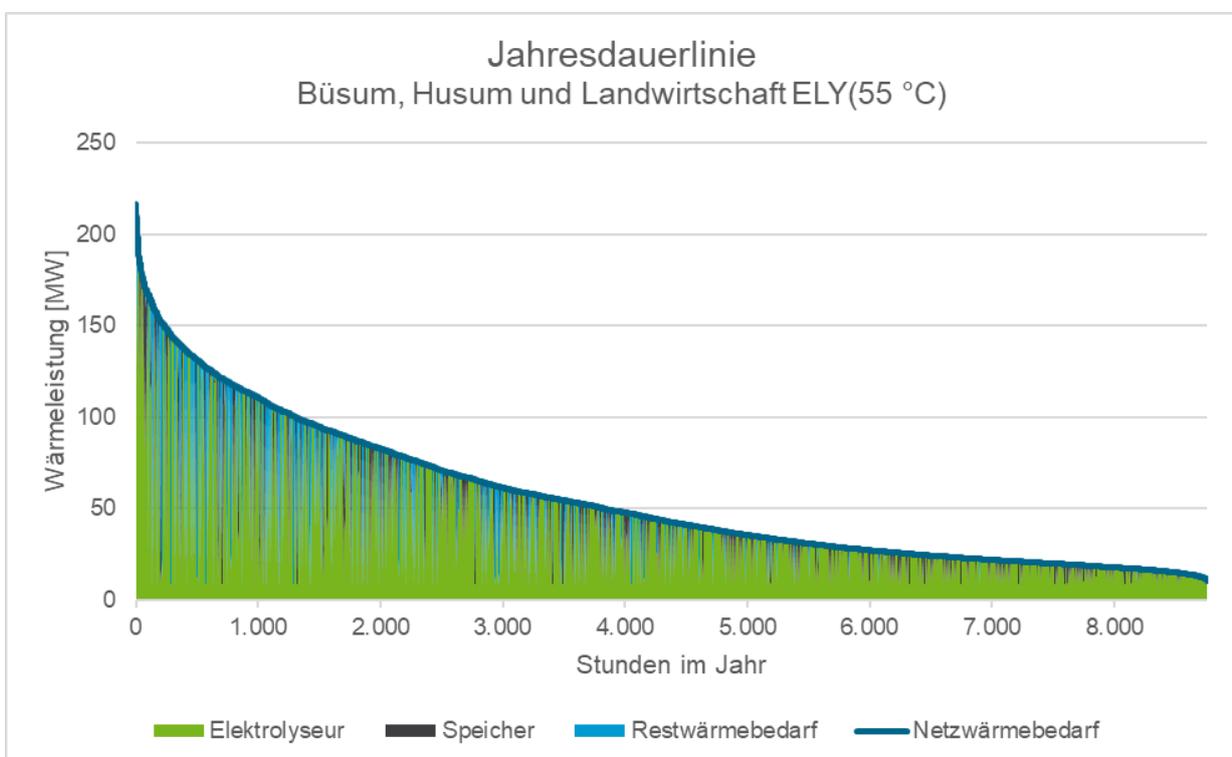


Quelle: Eigene Darstellung

8.4.2 55/40°C-NETZ

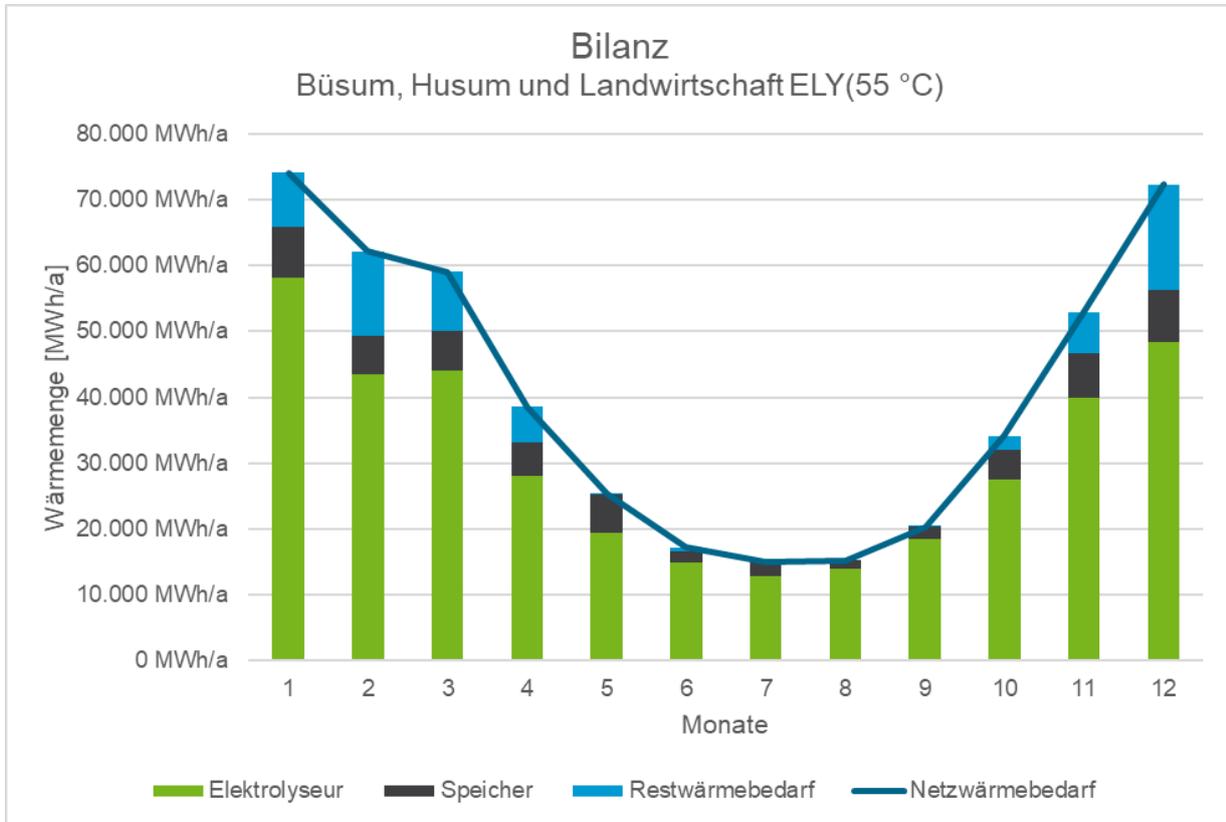
Aus den Abbildung 17 und Abbildung 18 für das 55°C-Netz für Büsum, Husum und der Landwirtschaft ist ersichtlich das der Netzwärmebedarf im Mai, Juni, Juli, August und September nahezu vollständig durch den Elektrolyseur und den Speicher gedeckt werden kann. Der Restwärmebedarf für die Monate Oktober bis April beträgt insgesamt rund 65 GWh. Aus Abbildung 17 ist ersichtlich, dass zur Absicherung der Spitzenlast ca. 150 MW Leistung nötig sind.

Abbildung 17: Jahresdauerlinie 55°C-Netz



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 18: Wärmebilanz 55°C-Netz

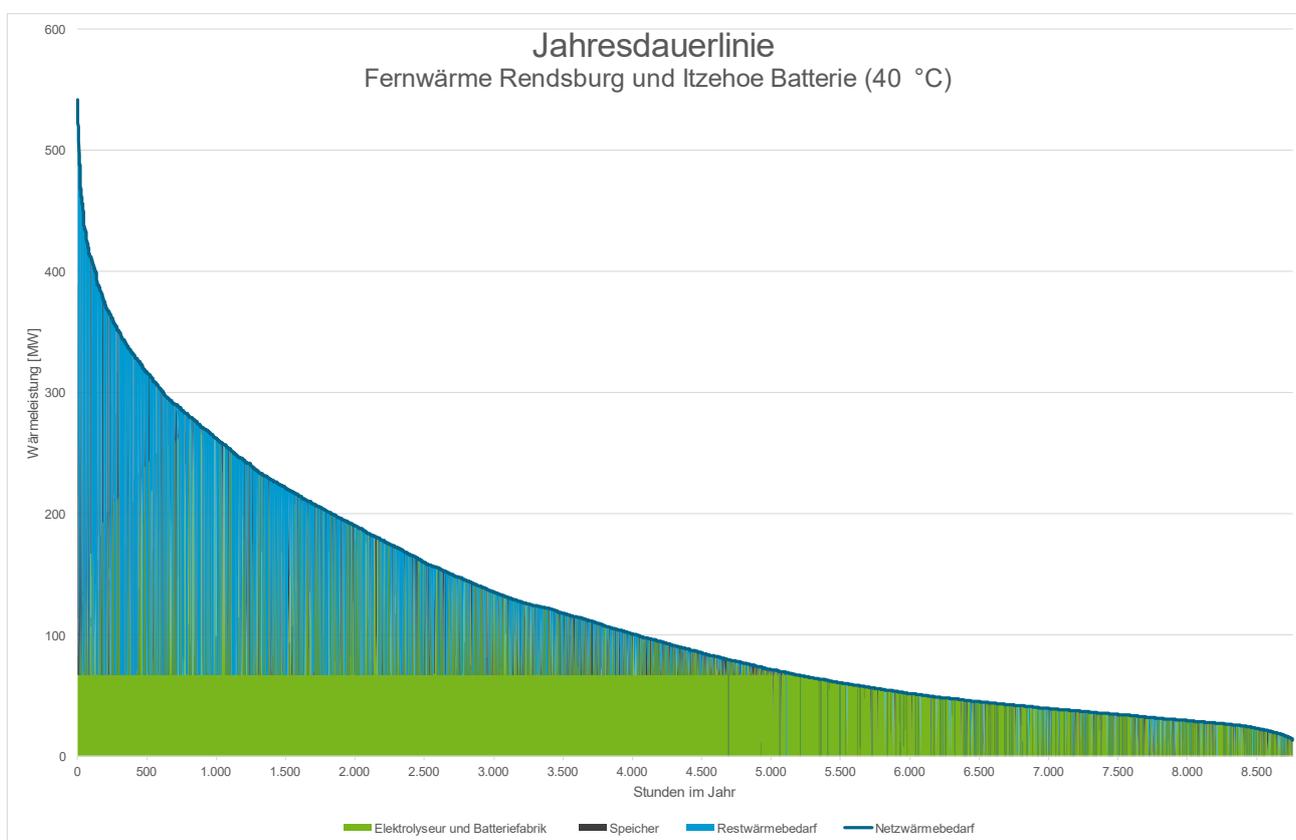


Quelle: Eigene Darstellung

8.4.3 40/25°C-NETZ

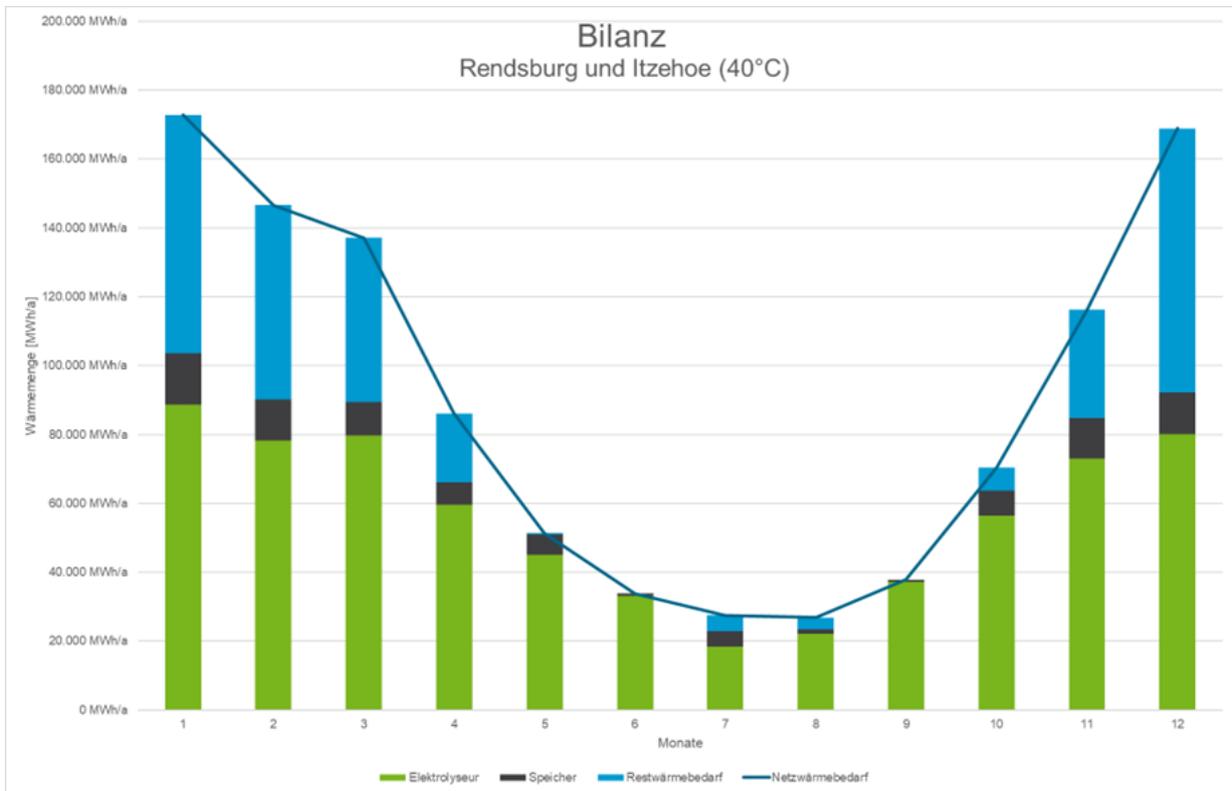
In den Abbildung 19 und Abbildung 20 ist zu erkennen, dass in dem 40°C-Netz Richtung Rendsburg und Itzehoe die Abwärme aus der Batterie ca. 5.000 Stunden im Jahr die Grundlast von ca 70 MW decken kann und im Juni und September nahezu vollständig den Netzwärmebedarf mit Hilfe des Speichers decken kann. Aus Abbildung 19 ist ersichtlich dass zur Absicherung der Spitzenlast ca. 400 MW Leistung nötig sind. Der Restwärmebedarf für die übrigen Monate beträgt insgesamt rund 485 GWh.

Abbildung 19: Jahresdauerlinie 40°C-Netz



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 20: Wärmebilanz 40°C-Netz



Quelle: Eigene Darstellung

8.4.4 ZUSAMMENFASSUNG DER WÄRMEBILANZEN

Die Energieflüsse der zeitabhängigen Erzeugung (Abbildung 3) und der Verbräuche (Abbildung 6) werden in den verschiedenen Netzen unter Berücksichtigung der Bedarfsdeckung durch die Wärmespeicher (Abbildung 12 bis Abbildung 20) in Tabelle 18 zusammenfassend dargestellt. Die Verbräuche des 55°C- Netzes, sowie der Verbrauch für das 40°C-Netz wurde auf der Grundlage des Lastgangs (Abbildung 6) mit den entsprechenden Wärmemengen aus Tabelle 7 ermittelt und simuliert.

Tabelle 18: Zusammenfassung Wärmenutzung

	ELY 75°C-NETZ	ELY 55°C-NETZ	BATTERIE 40°C-NETZ
PROZESSWÄRME	744 GWh/a	686 GWh/a	530 GWh/a
WÄRMEÜBERSCHUSS AUS DEM NÄCHST WÄRMEREN NETZ	-	368 GWh/a	633 GWh/a
NETZWÄRMEBEDARF	436 GWh/a	486 GWh/a	1.075 GWh/a
ABWÄRMENUTZUNG	376 GWh/a	421 GWh/a	528 GWh/a
RESTWÄRMEBEDARF	60 GWh/a	65 GWh/a	547 GWh/a
WÄRMEÜBERSCHUSS	368 GWh/a	633 GWh/a	635 GWh/a

In der Darstellung (Tabelle 18) wird die überschüssige Wärme aus dem 75/40°C – Netz in das nächstkältere 55/40°C – Netz gespeist. Die überschüssige Wärme aus dem 55/40°C – Netz wird in das nächstkältere 40°C – Netz gespeist. Insgesamt können 1.325 GWh/a durch den Lösungsvorschlag nutzbar gemacht werden.

Aus den Projekten wurde ein gesamtes Abwärmepotenzial von ca. 3.000 GWh/a ermittelt. Aufgrund des sehr geringen Temperaturniveaus [REDACTED] aus der Batteriefabrik, Tabelle 2, werden ca. 34% des gesamten Abwärmepotenzials nicht weiter zur Abwärmenutzung untersucht.

Unter Berücksichtigung der Lastgänge von Erzeugung und Verbrauchern kann überschlägig ein Anteil von 44 % des gesamten Abwärmepotenzials nutzbar gemacht werden. Die Restabwärme von ca. 1.675 GWh/a muss gekühlt bzw. einer weiteren Nutzung zugeführt werden. Dies entspricht ca. 56% der gesamten Abwärmepotenzials.

8.5 WIRTSCHAFTLICHKEIT DES LÖSUNGSVORSCHLAGS

Um den Lösungsvorschlag wirtschaftlich bewerten zu können, wird eine Kostenschätzung der Investitions- und Betriebskosten vorgenommen. In der Tabelle 19: Kostenansätze sind die Ansätze zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit dargestellt.

Tabelle 19: Kostenansätze

ANLAGEN	INVESTITIONEN	BETRIEBSKOSTEN
WÄRMEAUSKOPPLUNG UND WÄRMEBEREITSTELLUNG	k.A	k.A
WÄRMEVERTEILNETZ	ca. 750 -4.500 €/Tm	3%
WÄRMEPUMPEN	ca. 85.000 €/MW	4 %
WÄRMESPEICHER	ca. 500 €/m ³	4 %
FÖRDERTECHNIK (PUMPEN)	ca. 45 €/(m ³ /h)	4 %
ÜBERGABESTATION FÜR HA	8.000 €/Station	4 %
PLANUNGSKOSTEN	20%	-
UNVORHERGESEHENES	10%	-
FÖRDERMITTEL	40%	-
ZINS	3 %	-
NUTZUNGSDAUER	30 Jahre	-
VERWALTUNG	-	40 €/HA
STROMPREIS (NETZBEZUG)		41 ct/kWh

Die Wärmeauskopplung kann aufgrund der individuellen Prozesse der Unternehmen nicht bewertet werden. Die Kosten für die Auskopplung der Wärme könnten z.B. in einen Abwärmepreis seitens der Abwärmequelle mit einkalkuliert werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Leitungsquerschnitte von z.B.15 mm Innenrohrdurchmesser für den Hausanschluss eines Einfamilienhauses bis hin zu einem Innenrohrdurchmesser von 2.141 mm für die Fernwärmeleitung zum Anschluss von Städten, ist die Preisspanne mit ca. 750 -4.500 € je Trassenmeter angegeben. In den Kosten für das Wärmenetz sind Tiefbauarbeiten, Materialkosten, Verlegung der Leitung und Oberflächen -Wiederherstellung abgebildet. Der spezifische Preis für Wärmepumpen wurde anhand eines Marktangebots für das Lösungsbeispiel in Abbildung 12 ermittelt. In dem Angebot wurden 4 Wärmepumpenkaskaden für die Deckung des Wärmebedarfs (Kapitel 8.3) in verschiedenen Leistungsklassen angeboten. Die spezifischen Kosten für die Wärmespeicher, Fördertechnik, Übergabestation je Hausanschluss, Planungskosten, Fördermittel, Zins und Nutzungsdauer wurden anhand von Erfahrungswerten ermittelt.

Die Betriebskosten setzen sich aus einem Instandhaltungsansatz von 1 % für das Wärmenetz zzgl. 2 % für die Betriebsführung und den Betrieb der Anlagen, sowie 2 % für die Wartung der Wärmepumpen und 60,00€ je Hausanschluss im Jahr für die Verwaltung zusammen. Es wird ein durchschnittlicher Strompreis von 41 Cent die Kilowattstunde für den Betrieb der Fördertechnik, Wärmepumpen und sonstigen Anlagen angenommen, der zur Vereinfachung aus dem Netz der allgemeinen Versorgung bezogen wird. Die prozentualen Anteile beziehen sich auf die entsprechende Anlagentechnik (Tabelle 21: Operative Kosten).

In der folgenden Tabelle 20 und Tabelle 21 sind die Investitionen und Betriebskosten zur Realisierung des im Lösungsvorschlag Abbildung 10 in Rot gekennzeichneten Wärmenetzes überschlägig mit den Ansätzen aus Tabelle 19 ermittelt.

Tabelle 20: Investitionen

Investitionen	
Netz	ca. 75/40°C
Strang	Heide
Wärmemenge	ca. 437.000 MWh/a
Hausanschlüsse	ca. 14.000
Wärmenetz	ca. 256 Mio/€
Trassenmeter	ca. 127 km
Hausanschlussleitung	ca. 215 km
Trassenpreis	750 €/Tm
Verteilnetzpumpen	ca. 0,3 Mio€
Übergabestationen	ca. 115 Mio€
Wärmespeicher	ca. 30 Mio€
Förderung	ca. 148 Mio€
Unvorhergesehenes	ca. 40 Mio€
Planungskosten	ca. 88 Mio€
Summe	ca. 381 Mio€

Die Kapitalaufwendungen mit den Ansätzen aus Tabelle 19 ergeben ca. 18 Mio € im Jahr.

Tabelle 21: Operative Kosten

Operative Kosten	
Stromkosten	1 Mio€
Betriebskosten	9 Mio€
Wartungskosten f. WP	2,5 Mio€
Instandhaltung Netz	2,5 Mio€
Verwaltung	1 Mio€

Die Betriebskosten für das entsprechende Wärmenetz, sowie die Verteilung der Wärme ergeben insgesamt ca. 16 Mio. € im Jahr.

Dies bedeutet mögliche Wärmeverteilungskosten im Gebiet Heide und Umgebung von ca. 8 ct/kWh bei einer Anschlussquote von 100%. Die spezifischen Wärmeverteilungskosten berechnen sich aus der Summe der Kapitalkosten und operativen Kosten geteilt durch die Wärmemenge. Es gilt außerdem zu beachten, dass keine Kosten für die Bereitstellung der Abwärme berücksichtigt wurden, sowie die Besicherung und Abdeckung der Spitzenlasten gewährleistet werden sollte und nicht in den Kosten mit aufgeführt wurde.

Für die im Lösungsvorschlag Abbildung 10 dargestellten Wärmenetze in gelb und blau können ebenfalls die Ansätze aus Tabelle 19 herangezogen werden. Aufgrund der individuellen Besonder- und Unsicherheiten zu den Wärmenetzwegen und Wärmenetzlängen sowie den Risiken (Kapitel 8.6), wird keine Kostenaufstellung aller Netze vorgenommen.

8.6 HERAUSFORDERUNGEN DES LÖSUNGSVORSCHLAG

Ein Projekt in dem in Abbildung 10 gezeigten Umfang zu realisieren, ist mit Herausforderungen verbunden. Im Folgenden wird kurz erläutert, welche Herausforderungen bei der Umsetzung eines solchen Großinfrastrukturprojektes u. a. zu bewältigen sind:

Die Verfügbarkeit von Materialien und Anlagen spielt eine wesentliche Rolle, da zur Umsetzung mehrere hundert Kilometer Rohrleitung und mehrere Wärmepumpenanlagen benötigt werden. Die Rohrleitungsdimensionen könnten unter Umständen im Leitungsbau aufgrund der Größe, des Gewichts und der benötigten Genehmigungen dazu führen, dass die Abwärmenutzung über große Entfernungen nur mit großem technischem und finanziellem Aufwand realisiert werden kann. Die Aussicht auf eine mögliche klimaneutrale Wärmeversorgung mit einer finanziell konstanten Wärmequelle sollte diesen Aufwand rechtfertigen. Im Rahmen der angehenden kommunalen Wärmeplanung könnten die getroffenen Annahmen verifiziert und ggf. vertiefende Untersuchungen für die Teilprojekte initiiert werden. Die Herausforderungen für die Realisierung des Fernwärmenetzes in Heide werden, aufgrund der deutlich geringeren Entfernungen vom Erzeuger zum Verbraucher als gering eingeschätzt.

Zur Sicherstellung der Finanzierung des Projekts und der Versorgung der Wärmeabnehmer muss langfristig eine gesicherte Speisung des Fernwärmenetzes über Jahrzehnte durch die Batteriefabrik und die Elektrolyse gewährleistet werden und zusätzliche Redundanzen mitgedacht werden.

Genehmigungen und konkrete Machbarkeitsstudien der Wärmenetzleitung sind für den Ausbau der Infrastruktur notwendig. Dabei werden vor allem Dimensionen, Querungen von Bahnschienen, Autobahnen und Flüssen/Gewässer eine Herausforderung bzgl. der zeitlichen Umsetzung darstellen und sollten individuell geprüft werden. Eine verbindliche Aussage zur Genehmigungsfähigkeit für ein so umfassendes Netz zu treffen ist im Rahmen einer solchen Machbarkeitsstudie nicht möglich. Jede Querung hat seine eigenen Herausforderungen. Bei der Querung von Gewässern ist z.B. die Berührung von FFH-Gebieten möglichst zu vermeiden. Bei Bahnquerungen ist eine frühe Einbindung der Deutschen Bahn essentiell, außerdem ist es von Vorteil Bahnlinien an Stellen zu queren, wo bereits bestehende Querung z.B. durch andere Medien vorliegen. Die Erfahrung der IPP ESN aus vielfältigen Projekten hat gezeigt, dass in den allermeisten Fällen eine genehmigungsfähige Trasse gefunden werden kann. Für eine Genehmigungsfähigkeit kann es notwendig werden die Trasse nicht auf der kürzesten Strecke zwischen zwei Punkten zu verlegen sondern Umwege in Kauf zu nehmen. Die Eigentümer der Grundstücke auf denen die Rohrleitung und die jeweiligen Heizzentralen stehen sollen, müssen selbstverständlich der Verlegung der Rohrleitung zustimmen, hier ist mit Konzessionsabgaben (kommunale Flächen) und beschränkt persönlichen Dienstbarkeiten (private Flächen) für Verlegung und Nutzung der Fläche zu rechnen. Die anfallenden Kosten wurden nicht in der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt.

Grundsätzlich gilt für alle künftigen gewerblichen Wärmnetze im Gebäudebestand mit vermietetem Wohnraum, dass die Kosten der neuen Wärmeversorgung bei einem Anschluss an ein Fernwärmenetz, die Kosten der bisherigen Versorgung nach bürgerlichem Gesetzesbuch¹⁴ nicht übersteigen dürfen.

Zur Stützung der Realisierbarkeit wurden seitens des Bundes und der Länder Förderprogramme auf den Weg gebracht, die zur Minderung des Investitionsaufwandes, z.B. für Wärmenetze, Übergabestationen,

¹⁴ BGB § 556c Kosten der Wärmelieferung als Betriebskosten, Verordnungsermächtigung

Wärmespeicher etc., beantragt werden können. Die Ablehnung von Fördermitteln kann die Wirtschaftlichkeit des Projektes belasten und die Umsetzbarkeit solcher Projekte gefährden. Um die Wirtschaftlichkeit eines solchen Projektes darzustellen, sind Fördermittel in aller Regel unverzichtbar. So ist seit 15. September 2022 beispielsweise die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) in Kraft getreten¹⁵. Dieses stellt für Vorhaben dieser Art eine Förderung von bis zu 40% in Aussicht. Damit können finanzielle Risiken reduziert und marktfähige Wärmepreise ermöglicht werden. Insgesamt spielen öffentliche Fördermittel eine wichtige Rolle bei der Unterstützung des Projektes.

Ebenfalls ist eine hohe Anschlussquote wichtig für die Umsetzung des Projektes. In weiteren Betrachtungen sind Anschlussquoten im Endausbau von 60-80% realistisch. In dieser Betrachtung wurde mit einer maximalen Anschlussquote von 100% gerechnet. Die Umsetzung von größeren Bauprojekten kann oft akzeptanztechnisch herausfordernd sein, insbesondere wenn es um eine so große Anzahl von Haushalten geht, ist es von entscheidender Bedeutung, die Anwohnerinnen und Anwohner von den Vorteilen des Projekts zu überzeugen und ihre Bedenken und Bedürfnisse ernst zu nehmen. Eine der größten Herausforderungen bei der Umsetzung eines solchen Projekts kann der Lärm und die Bauarbeiten sein, die über einen längeren Zeitraum hinweg stattfinden werden. Die betroffenen Anwohnerinnen und Anwohner können dadurch in ihrer Lebensqualität beeinträchtigt werden, was zu Unmut und Widerstand gegen das Projekt führen kann. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, ist es wichtig, eine offene und transparente Kommunikation mit den betroffenen Haushalten aufrechtzuerhalten. Es ist notwendig, die Anwohnerinnen und Anwohner frühzeitig in den Planungsprozess einzubeziehen und ihre Anliegen und Bedenken ernst zu nehmen. Durch eine offene und transparente Kommunikation können Missverständnisse vermieden und Vertrauen aufgebaut werden. Es kann auch hilfreich sein, die Vorteile des Projekts für die betroffenen Haushalte herauszustellen. Eine verbesserte Infrastruktur kann beispielsweise zu einer Wertsteigerung der Immobilien führen.

Eine erfolgreiche und nachhaltige Entwicklung der Umgebung erfordert eine enge Zusammenarbeit und Koordination zwischen verschiedenen Stakeholdern wie Kommunen, Bürgern und Bürgerinnen, Unternehmen und der Politik. Jeder Stakeholder bringt unterschiedliche Fähigkeiten, Ressourcen und Perspektiven ein, die dazu beitragen können, die Herausforderungen und Chancen der Umgebung besser zu verstehen und zu bewältigen.

Eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen den Stakeholdern erfordert Offenheit, Transparenz und Vertrauen. Es ist wichtig, dass die verschiedenen Akteure auf Augenhöhe miteinander kommunizieren und ihre Perspektiven und Interessen offenlegen. Durch den Aufbau von Partnerschaften und Netzwerken können Synergien geschaffen und Lösungen gefunden werden, die für alle Beteiligten von Vorteil sind.

Die Kommunen spielen eine wichtige Rolle bei der Schaffung von Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung und der Bereitstellung von Dienstleistungen für die Bürger und Bürgerinnen. Unternehmen können durch ihre Investitionen, Innovationen, Produkte und Dienstleistungen zur Umsetzung, sowie zur Finanzierung beitragen und gleichzeitig soziale und ökologische Verantwortung übernehmen. Eine solche Transformation ohne qualifizierte Unterstützung ist nur schwer zu bewerkstelligen. Die Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten, die über das notwendige Know-how und die Erfahrung in der Planung und Umsetzung von großen Projekten verfügen, kann dazu beitragen, dass die Transformation reibungslos und

¹⁵ BAFA BEW-Förderung

effizient abläuft. Die Unterstützung qualifizierter Fachkräfte kann auch dazu beitragen, mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen und zu lösen.

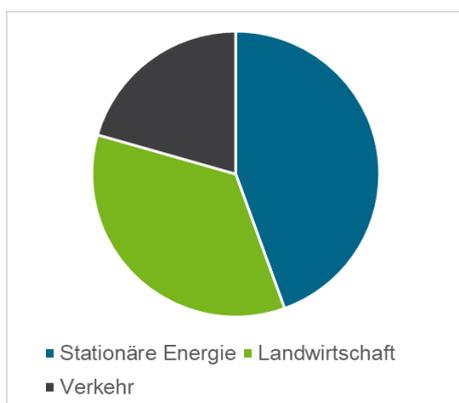
Die Bürgerinnen und Bürger tragen durch ihr Engagement und ihre Beteiligung zur Verbesserung der Lebensqualität und der sozialen Kohäsion bei. Die Politik schließlich hat die Aufgabe, die verschiedenen Interessen und Bedürfnisse der Stakeholder auszugleichen und politische Entscheidungen zu treffen, die das Gemeinwohl fördern.

Insgesamt ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Kommunen, Bürgern, Unternehmen und der Politik unerlässlich, um eine nachhaltige Entwicklung, eine lebenswerte Umgebung und Großprojekte in dieser Größenordnung über mehrere Jahre umzusetzen und zu schaffen. Nur durch gemeinsame Anstrengungen und eine koordinierte Herangehensweise können die Herausforderungen der Zukunft bewältigen und eine positive Zukunft gestaltet werden.

8.7 CO₂-EMMISSIONEN

Dithmarschen in Schleswig-Holstein hat 133.193 Einwohner und diese verursachen ca. 11 t CO₂-Emissionen pro Einwohner im Jahr (Stand 2019). Davon werden jährlich ca. 15% durch den Einsatz von Erdgas und ca. 5% durch den Einsatz von Heizöl verursacht. Insgesamt verursachen die Einwohner durch die Wärmeversorgung von Gebäuden mit dem Einsatz von fossilen Energieträgern über ca. 20% der CO₂ Emissionen in Dithmarschen (siehe Abbildung 21).¹⁶

Abbildung 21: CO₂-Emissionen Dithmarschen



Quelle: Klima Navi der HanseWerke

Mit einer Fernwärme aus industrieller Abwärme kann der Kreis Dithmarschen jährlich im größten CO₂-Sektor (Stationäre Energien) Einsparungen erzielen. In den Stationären Energien sind alle CO₂-Emissionen der Sektoren Private Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie und kommunale Einrichtungen enthalten. Im Bereich der Landwirtschaft entstehen durch die Realisierung des Lösungsansatzes (siehe Kapitel 8) vergleichsweise geringe CO₂-Emissionen. Durch zusätzliche CO₂-Produzenten (Fischzucht, Gemüseanbau, Aquaponic) bedeutet es, dass durch den generellen Betrieb (z.B. durch den Transport von Futter oder Düngermitteln) neue CO₂-Emissionen im Bereich Verkehr entstehen. Mit der Ansiedlung von Industrieunternehmen (z.B. Zulieferbetriebe der Batteriefabrik,) entstehen außerdem weitere CO₂-Emissionen in

¹⁶ klima-navi-public.greenited.net

den Bereichen Verkehr und Stationäre Energien durch den Transport von Materialien und Ansiedlung von Mitarbeitern der Industriebetriebe. Die Batteriefabrik stellt klimafreundliche Batterien mit Hilfe des Windstromes her. Um eine kontinuierliche Produktion der Batterien sicherzustellen, muss die Kühlung des Produktionsprozesses zu jeder Zeit gewährleistet werden, z.B. durch eine Verwertung der Wärme, Kühltürme oder Luftkühler. Sofern die durch Strom betriebenen Kühleinrichtungen mit klimafreundlichem Windstrom betrieben werden, werden keine weiteren CO₂-Emissionen frei. Sollten jedoch die Kühlbedarfe mittels des nach Umweltbundesamt¹⁷ herausgebenden Emissionsfaktors von 485 g CO₂ / kWh mit Vorketten für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz angesetzt werden, entstehen nur durch die Kühlung der Abwärme nach der Simulation 9.3.1 (Nasskühlturm) 20.137 t CO₂ im Jahr. Durch die Nutzung der Abwärme kann sichergestellt werden dass ein Anteil des benötigten Kühlbedarfs nicht benötigt wird und es werden Stromersparungen erzielt. Gleichzeitig werden CO₂-Emissionen durch die klimaneutrale Wärmeversorgung reduziert.

¹⁷ Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommix 1990-2020

9 MÖGLICHKEITEN ZUR KÜHLUNG DER ABWÄRME

Die unter Kapitel 7 aufgezeigten Möglichkeiten stellen sinnvolle Verwendungsoptionen für die Abwärmennutzung dar. Jedoch müssen weitere Wärmesenken geschaffen werden, um den Kühlbedarf zu decken. Die gesamte Kühlungsleistung muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden wie bereits in Kapitel 8.7 angedeutet. Deshalb werden weitere Möglichkeiten zur Kühlung der Abwärme betrachtet.

9.1 OBER- UND UNTERIRDISCHE WASSERVORKOMMEN

9.1.1 ELBE

Die Elbe umfasst eine Fläche von ca. 148.268 km² mit einer Fließgeschwindigkeit von ca. 3 – 8 km/h¹⁸, einer mittleren Temperatur von ca. 12 °C und einer Abflussmenge von 711 m³/s. Die kürzeste Entfernung zu Heide beträgt ca. 33 km (Luftlinie). Die Einstufung der Elbe gilt als „erheblich verändert“¹⁹. Auch treten phasenweise Sauerstoffmangel, geringerer Wasserstand und ein höherer Salzgehalt auf. Je nach Entnahmepunkt entsteht bei einer Aufwärmspanne von 1,5 bis 3 K ca. ein Kühlleistungspotential von ca. 4.500 MW – 8.900 MW Wärmeleistung, welche die Elbe aufnehmen könnte (Tabelle 23). Die zu beachtenden Gesetze bei geplanter Benutzung des Flusses sind die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL²⁰) und das Wasserhaushaltsgesetz (WHG²¹). Des Weiteren gilt der Wärmelastplan der Elbe, welcher vorgibt dass die maximale Temperatur von 28°C²² nicht überschritten werden darf und zeigt dass der Elbe aktuell durch die Industrie ca. 9.100 MW²³ Wärmeleistung hinzugeführt wird. Die zuständige Behörde ist die Flussgebietsgemeinschaft Elbe, welche unter info@fgg-elbe.de oder LeitungGS@fgg-elbe.de zu erreichen ist.

Die Kühlung der Abwärmeprozesse durch das Wasser aus der Elbe setzt voraus, dass eine Infrastruktur zwischen den Standorten der Projekte (Abbildung 2) und dem Einleiteort in der Elbe aufgebaut wird mit entsprechender Technik, um das Wasser zu transportieren. Um die Infrastruktur aufzubauen, wird in Tabelle 22 dargestellt wie groß die Rohre zur Kühlung der jeweiligen Prozesse sein müssten. Die Entfernung (Luftlinie) von Heide zur Elbe beträgt ca. 34 km. Um die Kosten abzuschätzen, können die Ansätze aus Tabelle 19 verwendet werden. Es werden je Prozess zwei Rohrleitungen mit den jeweiligen Innendurchmesser benötigt.

Tabelle 22: Überschlägige Rohrleistungsdimensionierung zur Elbe

Kühlung Prozess	Leistung	Wärmemenge	Temperaturdifferenz	Entfernungen	Q	V	Innendurchmesser
ELY 75/40	85,0 MW	395.165 MWh/a	35,0 °C	34 km	85.000 kW	2.092 m ³ /h	702 mm
ELY 55/40	75,0 MW	348.675 MWh/a	15,0 °C	34 km	75.000 kW	4.306 m ³ /h	1.008 mm
Batterie	60,0 MW	475.200 MWh/a	10,0 °C	34 km	60.000 kW	5.167 m ³ /h	1.104 mm

¹⁸dpa – Deutsche Presse-Agentur

¹⁹umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/webauswertung/

²⁰Wasserrahmenrichtlinie

²¹Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts

²²Wärmelastplan für die Tideelbe

²³Bedeutung und Maßnahmenplanung des Wärmelastplan Tideelbe

9.1.2 EIDER

Die Eider hat eine mittlere Temperatur von 10°C bei einer Wasserkörperlänge von 110,98 km. Der kürzeste Weg nach Heide ist 14 km lang (Luftlinie). Die mögliche Abflussmenge beträgt 14 m³/s. Die Aufwärmspanne wurde mit 3 K geschätzt. Auch hier sind die zu beachtenden Gesetze die WRRL und das WHG. Die Einstufung des Flusses ist „erheblich verändert“ und der ökologische Zustand gilt laut dem Umweltbericht der Eider vom 18.01.2016 als mäßig²⁴. Mögliche Hindernisse bei Benutzung der Eider sind die Naturschutzgebiete, die am und um den Fluss sind. Die zuständige Behörde ist das Umweltbundesamt Land Schleswig-Holstein (landesportal@stk.landsh.de).

9.1.3 NOK

Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) hat eine Abflussmenge von 4 m³/s. Die Entfernung vom NOK zu der Stadt Heide beträgt in der Luftlinie ca. 17 km bei einer Wasserkörperlänge von 98,36 km. Dieses Gewässer ist nach § 28 Wasserhaushaltsgesetz ein künstliches Gewässer. Der ökologische Zustand ist mäßig. Die Aufwärmspanne wurde zur Berechnung (Tabelle 23) der jährlich möglichen Aufnahmemenge auf 3 K geschätzt. Das WHG und die WRRL sind die zu beachtenden Gesetze. Die Zuständige Behörde ist das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Nord-Ostsee-Kanal (WSA NOK) (wsa-nord-ostsee-kanal@wsv.bund.de). Aufgrund der geringen Abflussmenge eignet sich der Kanal nicht ideal für die Abführung der entstehenden Abwärmemengen. Strom- und schifffahrtspolizeiliche Bedenken zur Entnahmestelle können sicher mit Auflagen und Bedingungen ausgeräumt werden. Wasserwirtschaftliche oder andere Erfordernisse, die den strom- und schifffahrtspolizeilichen Aufgaben nicht dienen, werden in der Genehmigung nicht geregelt. Grundsätzlich sieht die Zuständige Behörde eine zusätzliche Erwärmung des NOK, mit allen negativen Auswirkungen auf die Flora und Fauna, als kritisch.²⁵

9.1.4 NORDSEE

Die Nordsee ist 19 km (Luftlinie) von Heide entfernt und liegt in diesem Bereich im Nationalpark Wattenmeer. Das Wattenmeer ist aufgrund seiner herausragenden und global einzigartigen Bedeutung umfassend unter Schutz gestellt worden. Dieser Schutz umfasst die Ausweisung als Nationalpark, Biosphärenreservat, europäisches FFH- und Vogelschutzgebiet und in Teilen Naturschutzgebiet. Darüber hinaus sind eine Vielzahl geschützter Biotope Teil der Wattenmeernatur. Die UNESCO hat das Wattenmeer zum Weltkulturerbe ernannt.

Daher ist der größte Teil des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres seit 1985 als Nationalpark geschützt. Oberstes Ziel ist hier die Erhaltung einer natürlichen Dynamik. Daher hat im Nationalpark der Prozessschutz Vorrang vor allen anderen Naturschutzziele und ist damit oberstes Erhaltungsziel (§ 2 Abs. 1 Nationalparkgesetz). Das übergreifende Schutzziel für das Wattenmeer und die angrenzenden Meeresbereiche ist es somit, ungestörte Abläufe der Naturvorgänge, insbesondere auch als Lebensraum für eine Vielzahl an Vogelarten, aber auch für Seehunde, Kegelrobben und Schweinswalen sowie Neunaugen und mehreren Fischarten zu erhalten. Besonders wichtig ist dabei die Erhaltung der Beziehungen und der Austauschprozesse zwischen den einzelnen Teilbereichen des Gesamtgebietes und den angrenzenden Schutzgebieten auf den Nordfriesischen Inseln und im Bereich des Festlandes.

²⁴umweltschleswig-holstein.de/webauswertung/

²⁵Aussage vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt

Die Wärmeabfuhr von bis zu 1.200 MW in den Nationalpark Wattenmeer kann in unmittelbarer Umgebung zu erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere auf Flora und Fauna führen und wird daher von der Nationalparkverwaltung als äußerst kritisch angesehen. So kann die Erhöhung der Wassertemperatur bspw. zu einer veränderten Artenzahl und Artenzusammensetzung der Fisch- und Benthosfauna²⁶ führen. Eine erhöhte Wassertemperatur kann ebenfalls Effekte auf die biologischen Aktivitäten von Benthosorganismen verursachen²⁷.

Für die Nutzung des Nordseewassers müssen standortspezifische Bedingungen tiefer untersucht werden. Das Wasser aus der Nordsee muss auf seine Qualität hin überprüft werden, um sicherzustellen, dass es für den Einsatz in Kühlsystemen geeignet ist. Hierbei spielen Faktoren wie die Temperatur, die Salinität und mögliche Verschmutzungen eine Rolle. Da bei Ebbe das erwärmte Abwasser nicht durch das Wasser in der Umgebung verdünnt und gekühlt wird, sind die Wärmeeffekte als deutlich gravierend anzusehen. Sollte das Wasser für den Einsatz in Kühlsystemen geeignet sein und alle benötigten Genehmigungen vorhanden sein, könnte das Wasser über eine Pumpstation an Land gebracht und für Kühlzwecke genutzt werden.

Für eine wasserrechtlichen Einleitgenehmigung ist die unteren Wasserbehörde des Kreises Dithmarschen fachlich zuständig. Weitere zuständige Träger öffentlicher Belange (z.B. Nationalparkverwaltung) sind an einem Verfahren beteiligt.

Aufgrund des hohen Schutzstatus des Wattenmeeres sind die Hürden für die Genehmigung dieser Art von Vorhaben hoch. Generell gilt, dass nachgewiesen werden müsste, dass das Vorhaben alternativlos ist und alle Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung ergriffen werden.

9.1.5 REGENRÜCKHALTEBECKEN

Das Prinzip der Regenrückhaltebecken (RRB) ist es, das anfallende Niederschlagswasser bei einem Regenereignis zurückzuhalten und das dahinterliegende Land vor Überschwemmungen zu schützen. Zeitgleich dienen alle Regenrückhaltebecken als Auffangbecken. Um das Auffangen und das gesteuerte Ableiten des Wassers zu gewährleisten sind die Regenrückhaltebecken so eingestellt, dass bei Trockenwetter fast kein Wasser in den Becken vorhanden ist und nur kleine Wassermengen ablaufen können. Wenn es anfängt zu regnen, wird das Regenwasser über das Kanalnetz in die RRB geleitet und je nach Mengen dort aufgefangen und nach Beendigung des Regenereignisses automatisch entleert und an die hinter liegenden Gräben abgeleitet.

In der Region um Heide gibt es 15 Regenrückhaltebecken mit unterschiedlichem Volumen, welche in der Regel direkt abgeleitet werden, um die Funktion zu erhalten. Der Verbandsgeschäftsführer und der stellvertretende Fachbereichsleiter des Abwassernetz halten das Potential der Regenrückhaltebecken in der Region Heide, aufgrund der betriebsweise für sehr gering. Aus Sicht des AZV Region Heide ergibt es keinen Sinn, diese Regenrückhaltebecken als Kühlmöglichkeiten zu nutzen.

²⁶ Borrmann 2006, Colijn et al. 2011, Wiltshire et al 2011

²⁷ z.B. Prokop 2006, BfS 2005

9.1.6 GRUNDWASSER

Unterhalb der Erdoberfläche bildet sich durch Versickern von Niederschlägen und teilweise Seen und Flüssen Grundwasser. Steigende Außentemperaturen und längere Trockenphasen sorgen für eine höhere potenzielle Verdunstung mit der Folge das weniger Wasser versickern und ins Grundwasser infiltrieren kann. Somit treten vermehrt niedrige Grundwasserstände auf. Aufgrund der individuellen Klimatischen Bedingungen wird mit Hilfe der Internetseite Correctiv²⁸ der Grundwasserspiegel in Abbildung 22 dargestellt.

Abbildung 22: Verlauf Grundwasserspiegel Dithmarschen

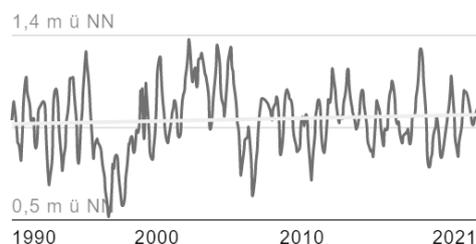
Messstelle 10L51087002

Dithmarschen

SCHLESWIG-HOLSTEIN

kein starker Trend

+0,15 % pro Jahr



Quelle: correctiv

In der Abbildung 22 ist kein starker Trend erkennbar, dies lässt voraussichtlich auf eine gute Wasserverfügbarkeit schließen. Im Rahmen dieser Studie wurde eine schriftliche Anfrage zu Verfügbarkeiten von Grundwassermengen für Kühlzwecke von Abwärme in dem Gebiet zwischen Oeverwisch 2, 25746 Norderwörden, sowie Dellweg, 25770 Lieth bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde angefragt. Die Antwort des zuständigen Fachdienstleiter lautet das es im genannten Raum keine verfügbaren Grundwasserressourcen im Rahmen der bestehenden Bewilligung gibt, da diese bereits stark ausgeschöpft sind, so dass grundsätzlich keine größeren Mengen für Kühlzwecke entnommen werden können.

Bei der Nutzung von Grundwasser für Kühlzwecke ist es außerdem wichtig, das Wasser sorgfältig zu überwachen und zu testen, um sicherzustellen, dass es nicht mit Schadstoffen oder Chemikalien kontaminiert wird, die die Umwelt oder die Gesundheit beeinträchtigen können.

²⁸ <https://correctiv.github.io/>

9.1.7 FAZIT OBER- UND UNTERIRDISCHE WASSERVORKOMMEN

Aus den in 9.1.1 bis 9.1.3 recherchierten Daten der Oberflächengewässer wird unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazität und Dichte von Wasser die jeweilige Aufnahmeleistung (Wärmeleistung) in Tabelle 23 errechnet.

Tabelle 23: Berechnung Wärmeleistung Oberflächengewässer

	Eider	Elbe	NOK	Einheiten
Abflussmenge:	13	711	4	m³/s
Temperaturdifferenz	3,0	3,0	3,0	K
Wasserdichte	997	997	997	kg/m³
Abflussmenge:	13.230	708.867	4.187	kg/s
spezifische Wärmekapazität (Wasser)	4,185	4,185	4,185	kJ/kg*K
Wärmeleistung	166	8.900	53	MW

In der Tabelle 24 werden die in Kapitel 9.1.1 bis 9.1.3 erläuterten Gewässer übersichtlich dargestellt mit der Erkenntnis, dass die Elbe das größte Potential zur Abführung der Abwärme besitzt, jedoch gleichzeitig die größte Entfernung zu den potenziellen Standorten der Projekte aufweist.

Tabelle 24: Zusammenfassung Oberflächengewässer

	Eider	Elbe	NOK
Code (Abschnitt)	T2.9500.01	T1.5000.01	nok_0
Wasserkörper	Untereider	Elbe	Nord-Ostsee-Kanal
Ökologischer Zustand	mäßig	mäßig	mäßig
Chemischer Zustand	nicht gut	nicht gut	nicht gut
Annahme Abflussmenge	13 m³/s	711 m³/s	4 m³/s
Aufnahmeleistung	166 MW	8.900 MW	53 MW

Unter der Berücksichtigung der in Kapitel 9.1 recherchierten Informationen stellt die Nutzung von Ober- und unterirdischen Wasservorkommen zu Kühlzwecken eine Herausforderung dar. Die Abführung der Abwärme an die Gewässer hat Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der Gewässer. Vor allem die Entnahme großer Wassermengen für Kühlwasserzwecke aus Fließgewässern ist bedeutsam. Neben der Gewässerströmung, den hydrologischen Gegebenheiten ist die Temperatur einer der Faktoren, welcher die Flora und Fauna in Fließgewässern am stärksten prägt. Der größte Teil der in Fließgewässern lebenden Organismen kann seine Körpertemperatur nicht selbst regulieren. Deshalb hängen alle ihre physiologischen Prozesse bzw. Lebensvorgänge von der sie umgebenden Wassertemperatur ab. Dauerhafte Temperaturerhöhungen durch Kühlwassereinleitungen über die natürlichen Temperaturverhältnisse hinaus können die strukturelle und funktionelle Zusammensetzung der gesamten Lebensgemeinschaft verändern (Aussterben von Arten, Einwandern anderer Arten u. a.). Das Ausmaß der Veränderung ist abhängig von der Menge an eingetragener Wärmeenergie. Durch Wärmelastpläne sollen die Wärmeeinleitungen aufeinander abgestimmt werden, sodass es keine nachteiligen Auswirkungen auf die Gewässer gibt. Für die betrachteten Gewässer gibt es ausschließlich nur für die Elbe einen Wärmelastplan²⁹. Die Landesbehörden sind verantwortlich für die Aufstellung von Wärmelastplänen. Durch den Klimawandel treten extreme Hitzeereignisse und auch anhaltende Niedrigwasserereignisse auf. Diese Ereignisse könnten dazu führen, dass der Betrieb der Projekte eingestellt werden muss.

Die Kühlung von Kraftwerken mit Hilfe von Wasser aus Fließgewässern ist bereits lang erprobt und wurde mehrfach umgesetzt (z.B. Kohlekraftwerk Brokdorf), somit ist es technisch grundsätzlich machbar.

Die Kosten für die Schaffung einer Infrastruktur können für ein Szenario zur Kühlung von 3 Prozessen der Projekte in Kapitel 9.1.1 (Tabelle 22) angedeutet. Dem gegenüber steht eine alternative Lösung zur Kühlung der Abwärme durch Luftrückkühler wie in Kapitel 9.3.1 beschrieben.

²⁹ Wärmelastplan für die Tidelbe

9.2 KÜHLTÜRME

Kühltürme sind Anlagen zur Ableitung von überschüssiger Wärme aus industriellen Prozessen. Um die großen Mengen an Prozesswärme abzuführen, könnten beispielsweise Trocken-, Nass- oder Hybridkühltürme genutzt werden. Für den Betrieb von Nass- und Hybridkühltürmen wird Wasser benötigt, welches aus den in Kapitel 9.1 Ober- und Unterirdische Wasservorkommen aufgezeigt Quellen verwendet werden könnte.

9.2.1 TROCKENKÜHLTURM

In Trockenkühlssystemen wird das zu kühlende Medium durch die Luft gekühlt (Konvektion). Dabei ist das Fluid von der Umgebungsluft getrennt und wird in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Die Wärmeübertragung erfolgt auf Grund eines Temperaturgefälles vom Fluid auf die Rohrwand und von dort auf die umströmende Luft. Für die Wärmeübertragung ist daher eine niedrige Umgebungstemperatur notwendig.

Bei dem Prozess wird kein Wasser benötigt, sodass die Luftfeuchtigkeit des aufsteigenden Luftstroms nicht erhöht wird und es nicht zur Schwadenbildung kommt. Der Mindestkühlgrenzabstand bei Trockenkühlssystemen ist wesentlich höher als bei Nasskühlssystemen – die erreichbare Temperatur des Prozessmediums ebenfalls. Der Einsatzbereich (Leistung des Industrieprozess) von Trockenkühltürmen liegt zwischen 0,1 und 100 MW.

Trockenkühltürme fallen nicht in den Anwendungsbereich der 42. BImSchV (vgl. 42. BImSchV §1 (2) Satz 2), da es keine Gefahr der Vermehrung und Verbreitung von Legionellen mit der Abluft gibt.

9.2.2 NASSKÜHLTURM

Nasskühlssysteme funktionieren auf Grundlage des Verdunstungsprinzips. Die Verdunstung von Wasser bewirkt das Abkühlen der mit der Abwärme gespeisten Wassermasse. Da der Phasenübergang des Wassers ein endothermer, also „Wärme-verbrauchender“ Prozess ist, kann das Prozesswasser auch dann signifikant abgekühlt werden, wenn dies durch den Temperaturunterschied zwischen Luft und Wasser allein nicht möglich wäre.

Bei Nasskühltürmen wird zwischen geschlossenen und offenen Kreisläufen unterschieden. Im offenen System wird das zu kühlende Medium im Direktkontakt mit der Luft geführt. Dadurch ist die Wärmeübertragung ideal und es können sehr niedrige Temperaturen erreicht werden. Nachteilig sind jedoch der Sauerstoff- und ggf. Schmutzeintrag ins Medium. Nasskühltürme fallen in den Anwendungsbereich der 42. BImSchV, da das Risiko einer Legionellen-Verbreitung mit der Abluft besteht. Nasskühltürme, die nach dem offenen System arbeiten, sind besonders anspruchsvoll hinsichtlich der Einhaltung der in der 42. BImSchV geforderten Maßnahmen zur Legionellenprävention.

Im geschlossenen System hingegen gibt es zwei Kreisläufe. Das zu kühlende Medium ist ähnlich wie beim Trockenkühlturm von der Umgebungsluft getrennt. Die Medium-führenden Rohre werden von außen mit Wasser besprüht. Dieses verdunstet und nimmt dabei Wärme von der Rohrwand auf, wodurch die Wärmeübertragung gegenüber dem Trockenkühlturm deutlich verbessert ist. Diese (hydraulische) Trennung verhindert die Verschmutzung der Prozessflüssigkeit. Hinsichtlich Legionellen-Bildung gelten grundsätzlich dieselben Anforderungen gemäß 42. BImSchV wie bei Systemen mit offenen Kreisläufen. Durch die hydraulische Trennung der Kreisläufe muss jedoch lediglich der äußere Kreislauf den Vorgaben der 42. BImSchV

entsprechen und es gibt dadurch mehr Freiheitsgrade, den Prozess derart auszulegen, dass die 42. BImSchV keine Anwendung findet bzw. so dass die Maßnahmen einfach umzusetzen sind.

Durch die Verdunstung bringen Nasskühltürme optische und umweltrelevante Nachteile durch vermehrte Schwadenbildung mit sich. Generelle Vorteile sind jedoch, dass Kühlwassertemperaturen unterhalb der Umgebungslufttemperatur erreicht werden können und der spezifische Energiebedarf im Vergleich zu anderen Kühlturmtechnologien gering ist. Voraussetzung, um einen Nasskühlturm zu betreiben, ist der Zugang und die Genehmigung zur Nutzung einer Wasserquelle, welche die technischen, örtlichen und rechtlichen Anforderungen (u.a. Durchfluss, Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Verfügbarkeit.) erfüllt.

Der Einsatzbereich von Nasskühltürmen unterscheidet sich von der Art der Wasserkreisläufe. Ein Kühlturm mit geschlossenem Kreislauf wird in Leistungsbereichen (Leistung des Industrieprozess) zwischen 0,2 und 10 MW eingesetzt. Im Gegensatz dazu wird ein Kühlturm mit offenem Kreislauf in Kühlleistungs-bereichen zwischen 0,1 und 2.000 MW eingesetzt.

Für die zu erwartenden Abwärmemengen, die über den Kühlturm abgeführt werden müssen (insgesamt bis 500 MW) ist der Nasskühlturm mit offenem Kreislauf die typische Lösung. Die anderen Kühlturmtechnologien sind in dieser Größenordnung möglich, jedoch eher untypisch.

9.2.3 HYBRIDKÜHLTURM

Hybridkühltürme sind eine Mischung aus Trocken- und Nasskühltürmen. In Abhängigkeit von der Außentemperatur und der benötigten Kühlleistung kann der Hybridkühlturm als reiner Trockenkühlturm oder Nasskühlturm betrieben werden. Auch beim Hybridkühlturm sind offene und geschlossene Kreisläufe möglich.

Der Wasserverbrauch liegt bei einem Hybridkühlturm bei etwa $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$, sodass die Schwadenbildung, zumindest zeitlich minimiert werden kann. Aufgrund der hohen Investitions-Kosten sind Hybridkühltürme nicht weit verbreitet. Im Vergleich dazu kann der Wasserverbrauch bei einem Nasskühlturm mit offenem Kreislauf bis zu $2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$ betragen.

Hybridkühltürme werden in einem Leistungsbereich (Leistung des Industrieprozess) von 0,15 und 2,5 MW eingesetzt. Durch Kombination mehrerer Anlagen oder Kühlsysteme in Spezialbauweise sind höhere Leistungen erreichbar. Die Hybrid-Kühlturm-Technologie ist immer dann vorteilhaft, wenn der Wasserverbrauch und die Schwadenbildung minimiert werden soll und gleichzeitig der Platzbedarf für einen Trockenkühlturm zu hoch ist. Der Hybridkühlturm kann seine Vorteile auch dann ausspielen, wenn die benötigte Kühlleistung variiert und die Trockenkühlung des Hybridkühlturms für die Grundlast ausreicht und die Verdunstungskühlung lediglich für die Leistungsspitzen und bei hohen Außentemperaturen aktiviert wird.

9.3 FAZIT KÜHLUNG

In der Tabelle 25 werden die Durchlaufkühlung mit Oberflächenwasser (vgl. Kapitel 9.1) und die verschiedenen Kühlturmtechnologien hinsichtlich acht relevanter Kriterien bewertet und eingeordnet. Ein grünes Plus bzw. ein Doppelplus kennzeichnet, dass die Technologie bzgl. eines Kriteriums (sehr ausgeprägte) Stärken oder Vorteile aufweist, ein rotes Minus bzw. Doppelminus kennzeichnet, dass die Technologie bzgl. eines Kriteriums (sehr ausgeprägte) Nachteile oder Schwächen aufweist. Ein gelber Kreis deutet an, dass die Technologie bzgl. eines Kriteriums weder vorteilhaft noch nachteilig ist. Ein Kreis gefolgt von einem Plus bzw. einem Minus zeigt an, dass es lediglich sehr leichte Vor- bzw. Nachteile gibt. Die Eintragung n.v. zeigt an, dass die Technologie hinsichtlich dieser Kategorie nicht vergleichbar ist.

Dies trifft auf den Wasserverbrauch zu: Nasskühltürme verbrauchen Wasser, welches verdunstet und damit in der Region einen Verlust darstellt. Hingegen wird für die Durchlauf-Kühlung Wasser aus einem Gewässer entnommen, genutzt und in unveränderter Menge (mit erhöhter Temperatur) zurückgeführt. Es ist daher kein Verbrauch im klassischen Sinne. Allerdings kann die Entnahme größer Mengen und Einleitung großer Wärmemengen ebenfalls einen erheblichen Eingriff in das Gewässer und damit in den Wasserhaushalt einer Region darstellen.

Tabelle 25: Bewertung der Kühltürme

	Durchlauf- Kühlung aus Fluss- / Ober- flächengewässer	Trocken- kühlturm	Nasskühlturm Offener Kreislauf	Nasskühlturm Geschlossener Kreislauf	Hybrid- kühlturm
Wasserverbrauch	n.v.	++	-	-	o+
Energieverbrauch	+	-	o	o-	-
Investitionskosten	+	o(-)	o	o	-
Betriebskosten	+	-	-	-	-
Temperaturbereich	++	-	o+	-	-
Platzbedarf	+	--	-	-	-
Lärm	++	-	-	-	-
Schwadenbildung	++	++	-	-	o

Quelle: Eigene Darstellung, angelehnt an: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REPO376.pdf>

Zu erkennen ist, dass die Durchlaufkühlung allen Kühlturmtechnologien in allen Kriterien, den Wasserverbrauch ausgenommen, überlegen ist. Dies gilt jedoch nur, wenn der Anlagenstandort in relativer Nähe zu einem Fließgewässer liegt und die Nutzungsrechte der Grundstücke zwischen dem Standort und dem Fließgewässer bereits gesichert oder einfach zu sichern sind. Bei den in Kapitel 9.1 beschriebenen Entfernungen (zwischen 14 und 33 km Luftlinie) fällt die Bewertung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten und auch des Energieverbrauchs weniger positiv aus. Da die Gewässer wie in Kapitel 9.1 beschrieben nach ersten Recherchen als Wärmesenke aus ökologischen Gesichtspunkten nicht in Frage kommen, wird für die beschriebenen Vorhaben die Nutzung von Kühltürmen empfohlen.

9.3.1 GRUNDSÄTZLICHE EIGNUNG DER TECHNOLOGIEN BEI ANWENDUNG AUF DIE BETRACHTETEN ABWÄRMEN

Bei der Wahl der Kühltürme kommt es stark auf die jeweiligen technischen Anforderungen der zu kühlenden Systeme an. Aus der Tabelle 25 geht hervor, dass ein Nasskühlturm mit offenem Kreislauf gegenüber anderen Kühlturmtechnologien Vorteile im Bereich Energieverbrauch und erreichbare Kühltemperaturen mit sich bringt. Diese Vorteile gehen zu Lasten des höheren Wasserverbrauchs, sowie einer Schwadenbildung. Insbesondere die Schwadenbildung ist unter Akzeptanz-Gesichtspunkten aufgrund möglicher negativer Assoziationen als kritisch einzustufen. Um eine optimale individuelle Lösung zu finden, ist eine Bewertungsmatrix empfehlenswert.

Die ausgewählten Kühlsysteme werden in der folgenden Tabelle 26 detailliert hinsichtlich Temperaturen und Leistungsbereichen eingeordnet. Das Kühlmedium ist Luft und im Fall von Nass- und Hybridkühlturm das verdunstende Wasser. Die Kühlleistung, die erzielt wird, ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Prozesswassertemperatur
- Umgebungslufttemperatur
- Sättigungszustand der Luft
- Auslegung des Systems

Tabelle 26: Einsatzbedingungen der Kühlsysteme

Kühlsystem	Kühlmedium	Mindestkühlgrenz- abstand	Minimal erreich- bare Endtempera- tur	Typische Leistung in industriellen Prozessen
Trockenkühlturm	Luft	10 – 15 K	40 - 45 °C	0,1 – 100 MW _{th}
Nasskühlturm Offener Kreislauf	Wasser/Luft	3 - 10 K	24 - 31 °C	0,1 – 2000 MW _{th}
Nasskühlturm Geschlossener Kreislauf	Wasser/Luft	7 - 14 K	28 - 35 °C	0,2 – 10 MW _{th}
Hybridkühlturm	Wasser/Luft	7 - 14 K	28 - 35 °C	0,15 – 2,5 MW _{th}

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REPO376.pdf>

Bei Betrachtung der Leistungsbereiche (siehe Tabelle 26) in Verbindung mit der zu erreichenden Kühltemperaturen bietet sich die Betrachtung eines Nasskühlturms mit einem offenen Kühlkreislauf an.

Für eine Adaption der technisch und wirtschaftlich vorteilhaftesten Option – den Nasskühlkühlturm mit offenem Kreislauf – wird auf die zu untersuchenden Fallstudien, die Leistungsfähigkeit in Bezug auf die jeweiligen Kühlprozesse genauer betrachtet:

In den Projekten gibt es 4 Abwärme-Prozesse (vgl. Tabelle 2):

- 75 °C -Wasser in Elektrolyseausgang muss auf 40 °C abkühlen
- 55 °C -Wasser in Elektrolyseausgang muss auf 40 °C abkühlen
- ■■■ -Wasser in Batterieausgang muss auf ■■■ abkühlen
- ■■■ -Wasser in Batterieausgang muss auf ■■■ abkühlen

Beim Abgleich der benötigten Rücklauftemperaturen mit Tabelle 26 fällt auf, dass die Kühlung der Elektrolyse-Abwärme mit Trockenkühltürmen grundsätzlich möglich sein kann. Unter Berücksichtigung der immer häufiger auftretenden Hitzeereignisse, müsste untersucht werden, ob die Kühlleistung eines sinnvoll dimensionierten Trockenkühlturms über das ganze Jahr hinweg ausreicht oder eine zusätzliche Kühltechnologie eingesetzt werden bzw. die Leistung des Elektrolyseurs spürbar gedrosselt werden müsste. Daher ist der Einsatz eines Trockenkühlungsverfahrens bei den vorliegenden Temperaturen sowohl von der technischen Machbarkeit, der benötigten Investition und den Betriebskosten herausfordernd. Unter Berücksichtigung, dass die benötigte Leistung an der oberen Grenze des typischen Einsatzbereiches von Trockenkühlssystemen liegt, ergibt sich, dass für diese Anwendung ebenfalls der Nasskühlturm die (aus Betreibersicht) zu bevorzugende Lösung ist.

Die Kühlung der Abwärme der Batteriefabrik auf ■■■ hingegen kann nach Tabelle 26 ausschließlich mit Nasskühltürmen mit offenem Kreislauf ganzjährig sichergestellt werden. Die Werte in Tabelle 26 gelten allgemein für Deutschland. Berücksichtigt man das maritime Klima in Heide, so sind möglicherweise auch etwas tiefere Temperaturen ganzjährig realisierbar, sodass auch Nasskühltürme mit hydraulischer Trennung oder Hybridkühltürme in Frage kommen könnten.

Die Kühlung auf Niedrigsttemperaturniveau ■■■ ist mit Kühltürmen allein, gleich welcher Art, nicht möglich. Hier ist eine geeignete Kältetechnologie einzusetzen.

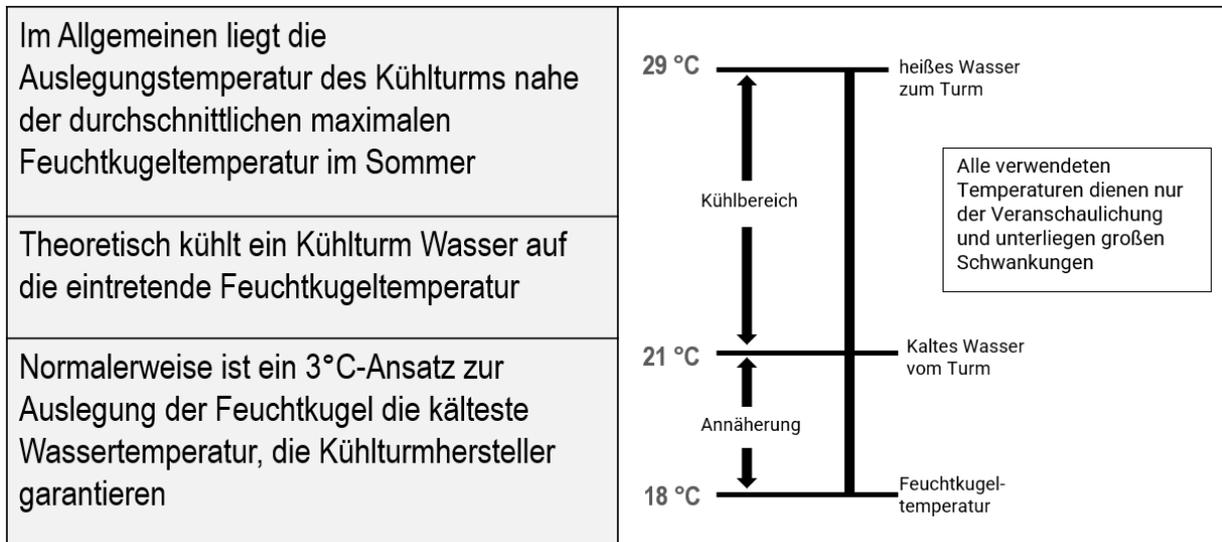
9.3.2 LÖSUNGSVORSCHLAG ZUR KÜHLUNG DER ABWÄRME

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurde für die drei möglichen Abwärme-Prozesse der Einsatz eines Nasskühlturms mit offenem Kreislauf exemplarisch berechnet. Nachfolgend sind die verwendeten Ansätze und Ergebnisse dargestellt.

Die Kühlgrenztemperatur, auch als Feuchtkugeltemperatur bezeichnet, ist die theoretisch erreichbare Minimaltemperatur durch direkte Verdunstungskühlung in Umlaufkühlssystemen. Praktisch lässt sich diese jedoch nicht erreichen, da hierfür eine unendliche Austauschfläche notwendig wäre.

Um den Kühlturm auf die benötigten Temperaturanforderungen auszulegen, wird in der Abbildung 23 die Auslegungstemperatur für den Nass-Kühlturm und die maximale Grenztemperatur für die Wasserabkühlung erklärt. Die erreichbare Kühlwassertemperatur liegt technisch mindestens 3 K über der Feuchtkugeltemperatur. Die Simulation des Kühlturms für die ersten drei Abwärme-Prozesse wurde auf Basis der Wetterdaten aus Sylt anhand stundengenauer Werte für einen Nasskühlturm ermittelt. Die Wetterdaten sind Trockenkugeltemperaturen. Die Trockenkugeltemperatur ist die Lufttemperatur ohne Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit.

Abbildung 23: Auslegungstemperatur für den Nasskühlturm



Eine überschlägige Berechnung hat einen Mittelwert von ca. 16 °C für die Feuchtkugeltemperatur ergeben. Auf dieser Basis können wir mit einem Nasskühlturm das Wasser optimal auf etwa 20-25°C abkühlen. Somit ist der Kühlprozess in der Batteriefabrik [REDACTED] nicht ohne die Hilfe von zusätzlichen Kälteanlagen möglich.

Mit Hilfe der Formel: $Energie = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T$ wurden die Kühlwassermassenströme in Tabelle 27 ermittelt. Die ermittelten Mengen an Wasser sollen mit einem Nass-Kühlturm auf die benötigten Temperaturen abkühlt werden. Die Werte für Wasser-Verbrauch und Luftfluss ergeben sich aus Simulationen.

Tabelle 27: Ergebnisse der Simulation

Tempera- turen	Leis- tung	Kühlwasser- massen- strom	Wasser-Verbrauch (Make-up)		Kühl- turm Höhe	Luftfluss	Leistung des Venti- lators	Leistung Pumpe
			Kg/h	m ³ /h				
°C	MW	m ³ /h	Kg/h	m ³ /h	m	Nm ³ /h	kW _{el}	KW _{el}
75/40	83	2000	116.000	116	5	497.835	30	120
55/40	76	4200	102.000	102	7	758.243	45	170
[REDACTED]	60	5000	95.000	95	7	2.766.126	120	190

Die Kostenschätzung des Kühlturms ist eine flexible Funktion, die von verschiedenen Elementen (Wasser-Verbrauch, Gewicht und Material, elektrische Leistung) abhängig ist. Die Elemente werden verglichen, um ein optimalen Capex / Opex zu finden. Die Investitionskosten für das simulierte Kühlsystem würde um die 7,5 Mio € betragen. Die Kosten zur Erschließung und Errichtung einer Infrastruktur hängt unter anderem von der Lage der Wasserquelle ab, welche in den Investitionskosten nicht erhalten. Eine übersichtliche Darstellung für die ermittelten Werte zur Kühlung der 3 Abwärmeprozesse finden sich in Tabelle 28.

Tabelle 28: Übersicht Nasskühlturm mit einem offenen Kreislauf

Nasskühlturm Offener Kreislauf	75°C auf 40 °C	55°C auf 40°C		
Leistungsbedarf	85 MW	78 MW	60 MW	-
Vollbenutzungsstunden	4.649 h/a		7.920 h/a	
Massenströme (Sekundär)	1.972.070 kg/h	4.222.492 kg/h	5.007.582 kg/h	-
Elektrische Leistung	150 kW	215 kW	310 kW	
Wasserbedarf (Primär)	116 m³/h	102 m³/h	95 m³/h	
Elektr. Energiebedarf	ca. 4.152.000 kWh/a			
Wasserbedarf	ca. 313 m³/h			
CO ₂ -Emmisionen	ca. 20.137 t CO ₂ /a			
Investition	7,5 Mio €			

Die Nutzung von bestehenden Wasserpotentialen in der Umgebung (z.B. behandeltes Abwasser aus der Kläranlage) kann einen Teil des bestehenden Wasserbedarfs der Kühlung decken, ohne vergleichsweise große ökonomisch und ökologische Auswirkungen, wie im Vergleich z.B. der Nutzung des Grundwassers oder die Einleitung in entfernte Fließgewässer.

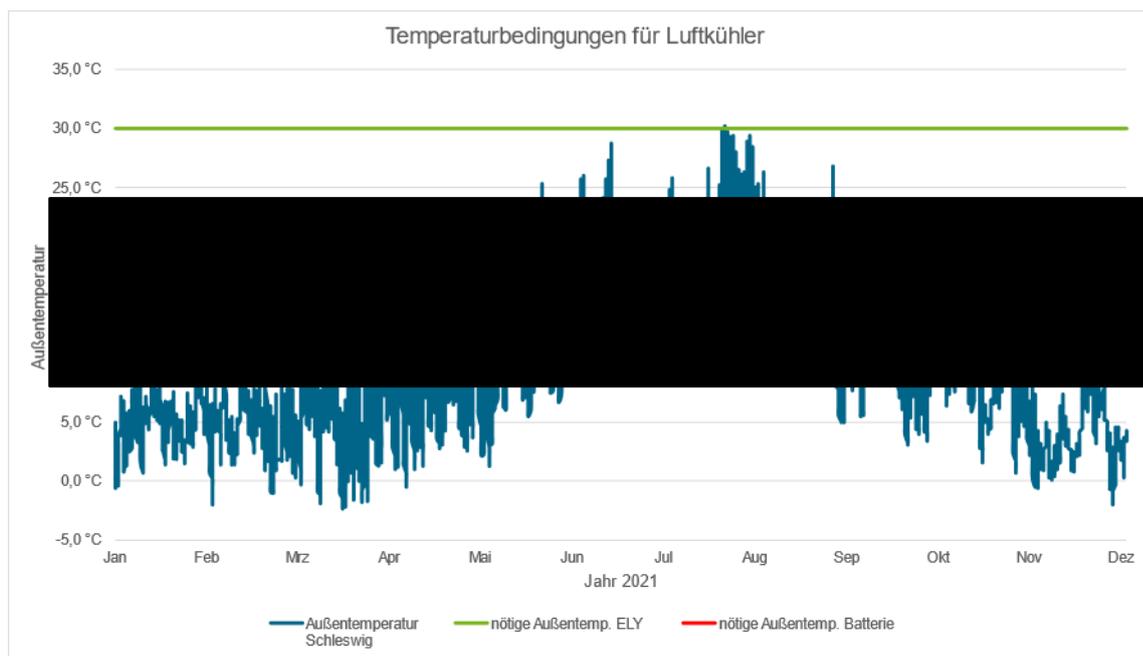
Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, dass Wasser in Deutschland ein knappes, wertvolles Gut ist und daher der Einsatz zur Verdunstungskühlung kritisch betrachtet werden sollte. Daher sollten trotz wirtschaftlicher, technischer und betrieblicher Vorteile des Nasskühlturms geprüft werden ob anderen Technologien, wie z.B. dem mit hohen Investkosten verbundenen Hybridkühlturm der Vorzug gegeben werden sollte. Hierbei sei jedoch darauf hingewiesen, dass die möglichst vollständige Nutzung der Abwärme, wie in Kapitel 7 betrachtet, die ökologisch und wirtschaftlich sinnvollste Möglichkeit ist, den jährlichen Kühlbedarf und damit den Wasserverbrauch (unabhängig von der gewählten Technologie) zu senken.

Eine Abkühlung auf 40°C in den Elektrolyseprozessen ist alternativ auch mit Luftkühlern (wie Trockenkühlturm) möglich. Luftkühler brauchen kein Wasser zum Kühlen von Abwärme. Mittels Ventilatoren durchströmt die Luft Wärmetauscher und sorgt für den Kühlungsprozess. Luftkühler benötigen Strom für den Betrieb.

Insgesamt wird eine Kühlleistung von ca. 500 MW benötigt, um die Abwärme der Elektrolyse abzuführen. Die zu erreichenden Kühltemperaturen bei dem Einsatz von Tischkühlern liegen etwa bei 10 Kelvin über der Lufttemperatur.

In der Abbildung 24 wird in blau der Außentemperaturverlauf von Schleswig für das Jahr 2021³⁰ dargestellt. Aufgrund der Einsatzbedingungen der Luftkühler dürfen die Außentemperaturen für einen ordnungsgemäßen Betrieb bei den Prozessen der Elektrolyse nicht über 30°C liegen (grün) und bei dem Prozess der Batteriefabrik nicht über [REDACTED] liegen. In den Zeiten, in denen die Außentemperatur die jeweiligen Grenzwerte in rot und grün dargestellt überschreitet ist eine (zusätzliche) Kühleinrichtung notwendig, welche (z.B. durch Verdunstung) die benötigte Kühltemperatur sicherstellen kann.

Abbildung 24: Temperaturbedingungen für einen Luftkühler



Quelle: Eigene Darstellung

Um die gesamte Leistung der Elektrolyse über Luftkühler abzusichern werden 500 MW Kühlleistung benötigt. Der Platzbedarf für derartige Leistungen beträgt überschlägig ca. 0,75 ha ohne Berücksichtigung der einzuhaltenden Aufstellabstände³¹. Der Gerätepreis für einen Tischkühler mit einer Kühlleistung von 800 kW liegt bei ca. 30.000€ netto³².

³⁰ Deutscher Wetterdienst

³¹ Jaggi Hybridtechnologie

³² Erfahrungswerte/ Angebot aus anderen Projekten

LITERATURVERZEICHNIS

- (BfS), B. f. (12 2005). *DORIS*. Von <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201102045013> abgerufen (2013). *Abflussverbessernde Maßnahmen an der Unteren Mittelbe.* <https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/>.
BO4_Wärmenutzung&Abwärme. (25. 03 2022).
- BAFA. (10 2022). Von https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html, abgerufen
- Baganz, G., Baganz, D., Staaks, G., Monsees, H., & Kloas, W. (2020). *Profitability of multi-loop aquaponics: Year-long production data, economic scenarios and a comprehensive model case.* *Aquac Res.*
- Bas Paris, F. V. (21. März 2022). *Energy Use in Greenhouses in the EU: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption.* Von <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/10/5150> abgerufen
- Brunner, J. (2010). DIN EN 1991-1-4: 2010-12 . *Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.* Beuth.
- Bundesamt für Justiz. (11 2022). *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts 1) 2).* Von https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/ abgerufen
- Bundesministerium für Wohnen, S. u. (14. 07 2022). www.bmwsb.bund.de. Von https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf;jsessionid=DF78ECC02D560B470C37240607C5A477.1_cid322?__blob=publicationFile&v=5 abgerufen
- Bundesregierung. (30. 06 2016). *Auswirkung der Kühlwassernutzung von Kraftwerken.*
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2. (15. 04 2015). *Primärenergiefaktoren.* Berlin, Deutschland.
- Bürgerliches Gesetzbuch.* (Februar 2023). Von https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/_556c.html abgerufen
- C.B., B. (2006). *Wärmeemission von Stromkabeln in Windparks. Diplomarbeit - Laboruntersuchungen zum Einfluss auf die benthische Fauna.* .
- Colijn, F., Fanger, H., Boersma, M., Franke, H., Ehrich, S., Kraberg, A., . . . Wiltshire, K. (2011). *Klimabedingte Änderungen in aquatischen Ökosystemen: Elbe, Wattenmeer und Nordsee.* In: von Storch H, Claussen M (Hrsg) *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg.* . Berlin: Springer.
- correctiv.* (2022). Von correctiv.github.io abgerufen
- Deutsche Thermo.* (2022). Von [Deutsche Thermo: https://www.deutsche-thermo.de/kuehlturm/](https://www.deutsche-thermo.de/kuehlturm/) abgerufen
- Deutscher Wetterdienst.* (11 2022). Von https://www.dwd.de/DE/Home/home_node.html abgerufen

- dpa. (11 2022). *Tagesschau*. Von <https://www.tagesschau.de/inland/elbe140.html> abgerufen
- Eigene Darstellung . (2022).
- Fernwärmeversorgung GewerbePark Westküste. (2022).
- Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden*. (10 2022). Von https://www.gesetze-im-internet.de/geg/___22.html abgerufen
- Hehnke, T. (22. 02 2023). Anfrage Abwärmeabführung Nordsee. (J. Mehl, Interviewer)
- Heide, A. (2022). Klärschlammrocknung. (M. Rickert, Interviewer)
- Helden, D. W. (04 2021). Wärmespeicher. *Wärmespeicher: Giganten im Untergrund*, S. 1-2.
- interpipe*. (2022). Von Interpipe: www.interpipe.de abgerufen
- IWU. (10. Februar 2015). *Deutsche Wohngebäudetypologie*. Von [episcope.eu: https://www.episcope.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf](https://www.episcope.eu/downloads/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf) abgerufen
- Klima-Navi Schleswig-Holstein*. (10 2022). Von <https://klima-navi-public.greenited.net/> abgerufen
- Landesvorschriften und Landesrechtsprechung S-H*. (2022 10). Von <https://www.gesetzesrechtsprechung.sh.juris.de/bssh/document/jlr-EWKSGSHV1P9> abgerufen
- Lorenz, D. M. (02. 08 2022). Nutzung des Grundwassers in Heide für Kühlzwecke. (J. Mehl, Interviewer)
- Ministerium für Landwirtschaft, U. u. (Dezember 2008). Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Hamburg.
- openstreetmap*. (2022). Von openstreetmap: www.openstreetmap.org abgerufen
- Paris, B., Vandorou, F., Balafoutis, A., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolakos, D., & Papadakis, G. (2022). *Energy Use in Greenhouses in the EU: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption*.
- Prokop, O. (2006). Untersuchung der Auswirkungen von Kabelwärme (Offshorewindkraftanlagen) in Küstengewässern. *Einfluss eines inversen Temperaturgradienten auf die biogeochemischen Prozesse in Sedimenten*. Diplomarbeit.
- Schleswig-Holstein, S. A. (2022). *Bevölkerung der Gemeinden in Schleswig-Holstein 1. Quartal 2022*.
- Schwartz, D. R. (10 2022). Wärmelastplan Tideelbe.
- Simon, M. (2018). *Die Elbe im Raum Magdeburg*.
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein*. (09 2022). Von <https://www.statistik-nord.de/> abgerufen
- Tenbrink, N. (12. 02 2022). B01_Kühlbedarfe_Nutzmengen.
- ubl energie*. (2022). Von ubl energie: <https://www.ubl-energie.com/projects-2> abgerufen
- Umweltbundesamt* . (2022). Von <https://www.umweltbundesamt.de/> abgerufen

- Umweltbundesamt.* (09 2022). Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#hochster-anteil-am-energieverbrauch-zum-heizen> abgerufen
- Umweltbundesamt.* (10 2022). *Wasserrahmenrichtlinie.* Von <https://www.umweltbundesamt.de/wasserrahmenrichtlinie> abgerufen
- Umweltbundesamt AT.* (12 2022). Von *Umweltbundesamt AT:* <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0376.pdf> abgerufen
- Wärmeatlas IPP ESN.* (2015). *Wärmeatlas.*
- Wärmespeicher: Giganten im Untergrund.* (2021). *ÖKO + fachmagazin für Ökonomie + Ökologie*, 2.
- Wedell, R. (2022). Welsfarm in Norddeutschland. (M. Rickert, & J. Mehl, Interviewer) Von welsfarm-law.de abgerufen
- Wikipedia.* (2022). Von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/> abgerufen
- Wiltshire K. H., B. M. (2011). Küsten und Schelfmeere: Temperaturveränderungen und Biodiversität. In B. M. Wiltshire K. H., *Küsten und Schelfmeere: Temperaturveränderungen und Biodiversität* (S. 37-42). Hamburg: Lozan J. L., Graßl, H., Karbe, L., Reise, K.
- Wulfes, N. (12. 07 2022). 220602_Daten_NV_Nils Wulfes.

Datenquellen	Beispiele vorhandener bzw. abrufbarer Daten
Umweltportal Schleswig-Holstein	Webanwendung ermöglicht Zugang zu sämtlichen Informationen des Umweltressorts Schleswig-Holsteins für Fachanwender*Innen und auch interessierte Bürger*Innen.
ZeBIS	<p>Zentraler Betrieb der Informationssysteme im Geschäftsbereich des MELUND. Zu wasserwirtschaftlichen Themen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserkarten • Wasserschutzgebiete • Wasserkörper- und Nährstoffinformationssystem Schleswig-Holstein (WANIS) mit: <ul style="list-style-type: none"> ○ Digitale Karte der Wasserkörper ○ Wasserkörpersteckbriefe ○ Nährstoffdaten
DigitalerAtlasNord (Wasserland SH)	Bestandteil des Geoportals SH und ermöglicht einen zentralen Zugriff auf dezentral vorliegende Geodaten für Öffentlichkeit, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft. Zu wasserwirtschaftlichen Themen zum Beispiel <ul style="list-style-type: none"> • Gewässerlinien (auch nicht-berichtspflichtige Gewässer) • Hangneigung • Talraum
Umweltdaten – Seen Schleswig - Holstein	Wasserwirtschaftliches Fach-Informationssystem zu den Seen Schleswig-Holsteins zum Beispiel mit <ul style="list-style-type: none"> • Badestellen • Luftbilder • Bewertung • Schutzgebiete
AWGV-Karten-Dienste dDataBox (dataport.de) oder über DigitalerAtlasNord (AWGV)	Amtliche Wasserwirtschaftliche Gewässerverzeichnis zum Beispiel mit <ul style="list-style-type: none"> • Fließgewässer (Wasserkörper) • Seen • Anlagenverzeichnis
Gewässerpegel (Oberirdische Gewässer)	Teil des Hochwasser-Sturmflut-Information Portals Alternativ sind Pegeldata auch über opendata.schleswig-holstein.de - Pegeldaten oder über umweltdaten.landsh.de - hydrologische Pegel abrufbar.
Hochwasserdaten und Überschwemmungsgebiete	Die Daten zum Download sind über opendata.schleswig-holstein.de - Flusshochwasser abrufbar