

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR FERTIGUNGSTECHNIK UND
ANGEWANDTE MATERIALFORSCHUNG IFAM
ABTEILUNG ENERGIESYSTEMANALYSE (EHEMALS BREMER ENERGIE INSTITUT)

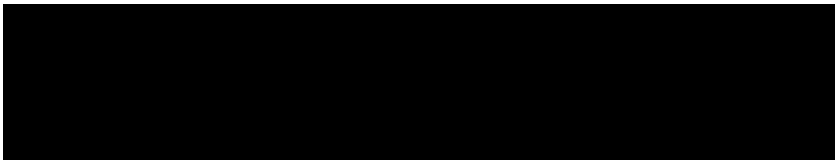
ENERGIEKONZEPT GEWERBEGEBIET LUNEPLATE

Auftraggeber:

BIS Bremerhavener Gesellschaft
für Investitionsförderung und
Stadtentwicklung mbH



Juli 2018




Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik
und Angewandte Materialforschung IFAM

Abteilung Energiesystemanalyse
(ehemals Bremer Energie Institut)

Wiener Straße 12 | 28359 Bremen | Germany

Tel. + 49 421 2246-7020 | Fax 2246-300



Projektnummer: 

Auftraggeber: BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung
und Stadtentwicklung mbH

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Ziel des Gutachtens	8
2	Das Untersuchungsgebiet	10
2.1	Die Gebäudestruktur.....	11
2.2	Verkehrstechnische Situation	14
3	Energieverbrauch im Gewerbegebiet Luneplate	16
3.1	Wärmeverbrauch	16
3.2	Stromverbrauch	19
3.3	Endenergieverbrauch Strom und Wärme.....	22
3.4	Sensitivitätsbetrachtung	23
4	Potenziale erneuerbarer Energien	24
4.1	Potenziale zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien.....	24
4.1.1	Potenzial Photovoltaik	25
4.1.2	Potenzial Windenergie	26
4.1.3	Zeitlicher Verlauf der Strombereitstellung.....	28
4.1.4	Zeitlicher Verlauf der Residuallast	28
4.1.5	Stromspeicher	30
4.1.6	Strompotenzial der Zentralkläranlage	31
4.1.7	Blockheizkraftwerk (BHKW).....	32
4.2	Power-to-Gas.....	33
4.3	Potenziale zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien.....	34
4.3.1	Geothermie.....	34
4.3.2	Wärmepumpen mit Weser / Alte Lune als Wärmequelle	35
4.3.3	Abwärme Zentralkläranlage	38
4.3.4	Abwärme Unternehmen Fischereihafen.....	40
4.3.5	Abwärme des Müllheizkraftwerks	42
4.4	Zusammenfassung der Kenndaten der relevanten Potenziale erneuerbarer Energien	43
5	Energiekonzept	47
5.1	Energiekonzept - Bereitstellung von Strom	48
5.2	Energiekonzept – Wärmeversorgung	49
5.2.1	Energiekonzept Wärmeversorgung Gesamtgebiet (Bauabschnitt BA I – BA V)	51
5.2.2	Energiekonzept Wärmeversorgung Bauabschnitt I.....	54
5.3	Nachhaltiger Verkehr	58
5.3.1	Nachhaltiger Individualverkehr	58
5.3.2	Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	59
5.3.3	Güterverkehr.....	59
6	Fazit und Zusammenfassung	60
	Literaturverzeichnis	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Das Untersuchungsgebiet.....	10
Abbildung 2-2:	Das Untersuchungsgebiet – die Bauabschnitte	11
Abbildung 2-3:	Die Größe der Gebäude	12
Abbildung 2-4:	Die Geschossigkeit der Gebäude	13
Abbildung 2-5:	Ausschnitt aus dem Liniennetzplan Bremerhaven Bus.....	14
Abbildung 2-6:	Ausschnitt Radkarte Bremerhaven	15
Abbildung 2-7:	Straßenbegleitender Rad- und Fußweg (a) und schwerlasttaugliche Straße ohne Rad- und Fußwege (b)	15
Abbildung 3-1:	Verbrauch Brenn- und Kraftstoffe nach Bauabschnitten	17
Abbildung 3-2:	Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs des BA I.....	18
Abbildung 3-3:	Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs BA I bis BA V	19
Abbildung 3-4:	Stromverbrauch im Gewerbegebiet Luneplate nach Bauabschnitten.....	20
Abbildung 3-5:	Jahresdauerlinie des Stromverbrauches nur BA I.....	21
Abbildung 3-6:	Jahresdauerlinie des Stromverbrauches BA I bis BA V	21
Abbildung 3-7:	Endenergieverbrauch (Strom und Wärme) des Gewerbegebiets Luneplate nach Bauabschnitten	22
Abbildung 4-1:	Übersicht Potenziale erneuerbarer Energien im Gewerbegebiet Luneplate	24
Abbildung 4-2:	Potenzial PV-Dachanlagen im Gewerbegebiet	25
Abbildung 4-3:	Windenergieanlagen in Bremerhaven (Stand 31.12.2016).....	26
Abbildung 4-4:	Strom aus PV und Wind – geordnete Jahresdauerlinie (BA I – BA V)	28
Abbildung 4-5:	Stromüberschuss bzw. Stromdefizit (Jahresverlauf) – Nutzung 100% des regenerativen Strom-Potenzials (BA I – BA V)	29
Abbildung 4-6:	Residuallast – geordnete Jahresdauerlinie – Nutzung 100% des regenerativen Strom-Potenzials (BA I bis BA V)	29
Abbildung 4-7:	Residuallast – geordnete Jahresdauerlinie – Nutzung 50 % des regenerativen Strom-Potenzials (BA I – BA V).....	30
Abbildung 4-8:	Stromdefizit in Abhängigkeit von Speichergröße – Nutzung 100 % des regenerativ erzeugten Stroms	31
Abbildung 4-9:	Lage der Zentralkläranlage nördlich des Gewerbegebiets	31
Abbildung 4-10:	Gasnetz nordöstlich des Untersuchungsgebiets	32
Abbildung 4-11:	Dimensionierung Elektrolyseur	33
Abbildung 4-12:	Lage des Dedesdorfer Salzstocks	35
Abbildung 4-13:	Mögliche Entnahmestellen für Flusswasser – Weser (oben), Alte Lune (unten).....	36
Abbildung 4-14:	Schema Wärmebereitstellung mit Abwasserwärme	38
Abbildung 4-15:	Schema der Zentralkläranlage Bremerhaven	39

Abbildung 4-16:	Position des Ablaufpumpwerks und einer Freifläche	39
Abbildung 4-17:	Ablaufpumpwerk der ZKA – Draufsicht und Schnitt	40
Abbildung 4-18:	Lage der Nordfrost GmbH & Co. KG	41
Abbildung 5-1:	Entwurf Wärmenetz Gesamtgebiet (BA I – BA V) und Bauabschnitt I.....	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Annahmen Branchenmix Gewerbegebiet Luneplate	16
Tabelle 3-2:	Gesamt-Energieverbrauch Brenn- und Kraftstoffe pro Jahr	17
Tabelle 3-3:	Wärmeverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)	18
Tabelle 3-4:	Gesamt-Stromverbrauch pro Jahr	19
Tabelle 3-5:	Stromverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)	20
Tabelle 3-6:	Endenergieverbrauch Strom und Wärme	22
Tabelle 3-7:	Gesamt-Energieverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)	23
Tabelle 4-1:	Möglichkeit des Bezugs von regenerativ erzeugtem Strom aus dem Umland	27
Tabelle 4-2:	Abschätzung Wasserstoff	34
Tabelle 4-3:	Abwärmepotenzial Nordfrost	41
Tabelle 4-4:	Übersicht Potenzial Photovoltaik auf Dachflächen	43
Tabelle 4-5:	Übersicht Potenzial Windkraft	43
Tabelle 4-6:	Übersicht Potenzial Elektrokessel	44
Tabelle 4-7:	Übersicht Potenzial Tiefengeothermie	44
Tabelle 4-8:	Übersicht Potenzial Wärmepumpen mit Weser / Alte Lune	45
Tabelle 4-9:	Übersicht Potenzial Abwärme Zentralkläranlage	45
Tabelle 4-10:	Übersicht Potenzial Abwärme Fischereihafen	46
Tabelle 4-11:	Übersicht Potenzial Müllheizkraftwerk mit Latentwärmespeicher	46
Tabelle 5-1:	Energieverbrauch des Gewerbegebiets - Wärme (Brenn- und Kraftstoffe) und Strom	47
Tabelle 5-2:	Stromverbrauch und regenerativ erzeugtes Strom-Potenzial nach Bauabschnitten	48
Tabelle 5-3:	Annahmen technische Daten der Wärmeerzeugungsoptionen (Basisfall)	50
Tabelle 5-4:	Annahmen wirtschaftliche Daten der Wärmeerzeugungsoptionen	50
Tabelle 5-5:	Auslegung der Wärmeversorgung des Gesamtgebiets - Basisfall	52
Tabelle 5-6:	Ergebnisse Wärmeversorgung Basisfall – Variante A - Latentwärmespeicher	52
Tabelle 5-7:	Ergebnisse Wärmeversorgung Basisfall – Variante B - Tiefengeothermie	53
Tabelle 5-8:	Kenndaten der Versorgungsvarianten für Bauabschnitt I	55
Tabelle 5-9:	Ergebnisse Wärmeversorgungsvarianten Bauabschnitt BA I	57

Abkürzungsverzeichnis

BA	Bauabschnitt
BEAN	Bremerhavener Entwicklungsgesellschaft Alter / Neuer Hafen mbH & Co. KG
BEG	Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH
BIS	Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH
BHKW	Blockheizkraftwerk
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ct	(Euro-) Cent
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FBG	Fischereihafen-Betriebsgesellschaft mbH
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWh	Gigawattstunden (= 1 Mio. Kilowattstunden)
IuK	Informations- und Kommunikationstechnik
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LWS	Latentwärmespeicher
MHKW	Müllheizkraftwerk
Mio.	Million
MWh	Megawattstunden (=1.000 Kilowattstunden)
MW	Megawatt
MW _{el}	Megawatt – elektrische Leistung
MW _{th}	Megawatt – thermische Leistung
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
WW	Warmwasser
ZKA	Zentralkläranlage

1 Hintergrund und Ziel des Gutachtens

In der Stadt Bremerhaven sind Unternehmen aus einer breiten Palette von Wirtschaftsbereichen angesiedelt – von der Logistik über die Lebensmittelverarbeitung bis hin zu Windenergieanlagenherstellern und Klimaforschung. Ein Ziel der weiteren Entwicklung ist es, Betriebe der „Green Economy“ an die Stadt zu binden. Hierfür müssen zukunftsorientierte und bedarfsgerechte Infrastrukturen geschaffen werden. Die Stadt Bremerhaven strebt daher die Realisierung eines „grünen“ Gewerbegebiets auf der Luneplate an. Vor dem Hintergrund der Klimaziele der Stadt – Reduzierung der CO₂-Emission bis zum Jahr 2020 um 40 % gegenüber 1990 – soll auch aufgezeigt werden, dass die Energiewende nicht an technischen oder wirtschaftlichen Hemmnissen scheitert, wenn der politische Gestaltungswille vorhanden ist.

Das geplante Gewerbegebiet Luneplate umfasst 155 ha und soll in fünf Bauabschnitten für die Ansiedlung von Produktions-, Handwerks- und Dienstleistungsunternehmen erschlossen werden. Da sich das Gebiet in unmittelbarer Nähe zum Naturschutzgebiet Luneplate befindet, wird eine nachhaltige Ausrichtung angestrebt. Eine wichtige Infrastrukturkomponente ist dabei die Energiebereitstellung. Diese soll möglichst ausschließlich durch erneuerbare Energien erfolgen, insbesondere durch Photovoltaik, Tiefengeothermie, Windenergie und Abwärmepotenziale aus angrenzenden Bereichen. Zur Abpufferung von Lastspitzen und in Zeiten zu geringer Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien sollen Speicher zum Einsatz kommen.

In der aktuellen Planungsphase erarbeitet die Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH (BIS) im Auftrag der Bremerhavener Entwicklungsgesellschaft Alter / Neuer Hafen mbH & Co. KG (BEAN) die Grundlagen zur Erstellung eines Bebauungsplanes für die Luneplate. Im Rahmen der Planung wurden bereits ein städtebaulicher Entwurf und ein städtebaulicher Rahmenplan erarbeitet, die zentrale Grundlagen für die Erstellung des Energiekonzeptes sind. Ergänzend wurde eine Studie zur Tiefengeothermie aus dem Dedesdorfer Salzstock aktualisiert [Brand, Sperber 2018]. Für den ersten Bauabschnitt liegt darüber hinaus bereits ein städtebauliches Entwicklungskonzept vor, das erste Ideen für die Energieversorgung dieses Bereichs enthält [cityförster 2017].

Ziel der vorliegenden Studie ist die Erstellung eines Energiekonzeptes für das Gewerbegebiet Luneplate. Dabei werden die bisherigen Überlegungen und Untersuchungen aufgegriffen, weitere Versorgungsoptionen geprüft und in einem Gesamtkonzept zusammengeführt. Das Energiekonzept soll insbesondere folgende Inhalte enthalten:

- Nutzung der im Gebiet vorhandenen Potenziale der verschiedenen CO₂-neutralen („grünen“) Energieversorgungsoptionen sowie von Energiepotenzialen aus angrenzenden Gebieten,
- Bewertung der Energieversorgungsoptionen für den Einsatz im Untersuchungsgebiet, auch hinsichtlich des Zeithorizonts (kurz-, mittel und langfristig),
- Rolle von Energiespeichern,
- Systemkonfiguration für flexible Energienetze zur Einbindung verschiedener CO₂-neutraler Versorgungsoptionen inkl. Speicher,
- Einbindung der Elektromobilität

Im Folgenden wird zunächst das Untersuchungsgebiet Luneplate vorgestellt und genauer betrachtet (Kapitel 2) sowie im nächsten Schritt der Energieverbrauch des Gewerbegebiets analysiert (Kapitel 3). Die Potenziale der erneuerbaren Energien werden in Kapitel 4 vorgestellt. Anhand der Ergebnisse dieser Vorarbeiten wird das Energiekonzept für das Gewerbegebiet Luneplate abgeleitet (Kapitel 5). Zum Abschluss werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Fazit gezogen (Kapitel 6).

Die zentralen Grundlagen für die Erarbeitung des Energiekonzepts sind:

- der städtebauliche Entwurf und der städtebauliche Rahmenplan,
- Wärmeversorgung durch ein Nahwärmenetz mit möglichst hohen Anteilen erneuerbarer Energien,
- ein Anschluss- und Benutzungszwang an das Nahwärmenetz im Gebiet,
- der Verzicht auf die Verlegung eines Gasnetzes im Gewerbegebiet der Luneplate,
- die Ergebnisse der Studie zur Tiefengeothermie.

Diese Grundlagen, insbesondere der Verzicht auf ein Gasnetz im Gebiet und die Perspektive, dass ein Anschluss- und Benutzungszwang beschlossen wird, sind gute Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Betrieb eines Nahwärmenetzes. Für nachhaltig arbeitende Unternehmen könnte dies ein Argument für die Ansiedlung im Gewerbegebiet Luneplate sein.

Die genannten Annahmen könnten aber auch andere Auswirkungen auf die Ansiedlung von Unternehmen haben. So kann z. B. der Prozesswärmeverbrauch, der zwingend durch fossile Energien (Gas, Kohle, Öl) gedeckt werden muss, im Rahmen des Energiekonzepts nicht berücksichtigt werden. Während im Falle des Öls und der Kohle ohnehin dezentrale Lösungen für einzelne Unternehmen in Frage kämen, könnte das nicht Vorhandensein eines Gasnetzes für solche Unternehmen, die auf einen Gasanschluss angewiesen sind, ein Ausschlusskriterium für die Ansiedlung sein, sofern keine Alternativlösungen wie z. B. der Einsatz anderer Produktionstechnologien gefunden werden.

Das vorliegende Energiekonzept enthält keine Lösungsansätze für diese möglichen Interessenskonflikte. Es müssen vielmehr individuelle Lösungen erarbeitet werden, wenn konkrete Fragestellungen im Zuge der Unternehmensansiedlungen aufkommen.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Energiekonzept angesichts vieler noch offener Fragen einen Rahmen darstellt und die Möglichkeit einer nachhaltigen (fast) 100%igen Versorgung mit erneuerbaren Energien aufzeigt. Die erarbeiteten Konzepte müssen im Zuge der weiteren Planungen konkretisiert werden. Hierfür sind in einigen Bereichen auch weiterführende Untersuchungen erforderlich. An den jeweiligen Stellen wird auf den weiteren Untersuchungsbedarf hingewiesen. Auch kann es erforderlich sein, Anpassungen aufgrund aktueller Entwicklung z. B. aufgrund von Ansiedlungen besonders energieintensiver Unternehmen vorzunehmen.

2 Das Untersuchungsgebiet

Die Luneplate ist eine ehemalige Weserinsel, die im Jahr 2009 an die Stadt Bremerhaven übertragen wurde und die zum Großteil unter Naturschutz steht. Das Untersuchungsgebiet umfasst 155 ha im nordöstlichen Teil der Luneplate. Dieses Areal soll in Zukunft vollständig gewerblich genutzt werden. Ziel ist die Entwicklung der Luneplate als zukunftsfähiges, nachhaltiges Gewerbegebiet („Green Economy“). Wichtige Komponenten sind hierbei die Versorgung des Gebiets mit erneuerbaren Energien und innovative Mobilitätskonzepte.



Abbildung 2-1: Das Untersuchungsgebiet

Quelle: cityförster 2017

Es ist vorgesehen, das Gebiet in fünf Bauabschnitten (BA) zu erschließen. Derzeit kann noch keine verlässliche Aussage getroffen werden, in welchem Zeitraum die Erschließung erfolgen wird. Daher werden in der vorliegenden Studie in Abstimmung mit der BIS zwei Szenarien betrachtet: einerseits die vollständige Erschließung in fünf Bauabschnitten bis zum Jahr 2035 („Best Case“) und andererseits nur die Erschließung des ersten Bauabschnitts („Worst Case“). Die Annahmen zur zeitlichen Entwicklung der Erschließung im Szenario „Best Case“ wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt und sind in der nachfolgenden Abbildung 2-2 dargestellt¹.

Wie in Abbildung 2-2 zu sehen ist, soll im Szenario „Best Case“ der erste Bauabschnitt bereit im Jahr 2022 fertiggestellt werden, die folgenden Bauabschnitte dann in den Jahren 2026, 2029, 2032 und 2035.

¹ Die dargestellte Anordnung der Gebäude entspricht dem derzeitigen Planungsstand der BIS.

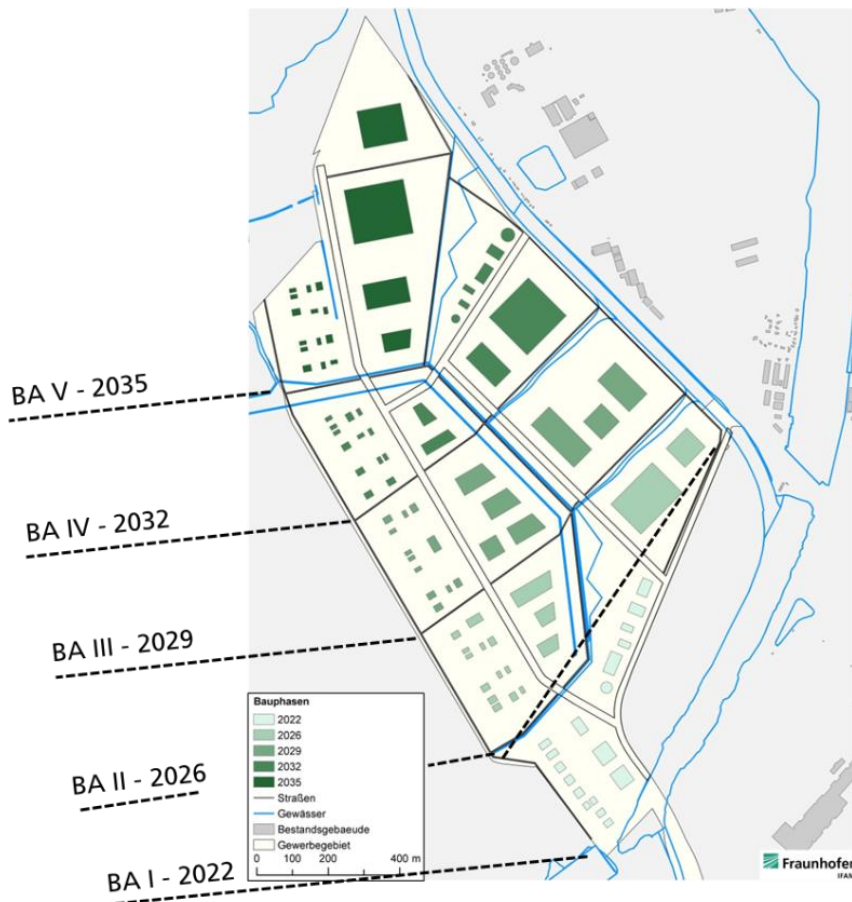


Abbildung 2-2: Das Untersuchungsgebiet – die Bauabschnitte
Quelle: Fraunhofer IFAM

2.1 Die Gebäudestruktur

Für die Abschätzung des zu erwartenden Energieverbrauchs sind Annahmen hinsichtlich der Gebäudestruktur und –nutzung, sowie bezüglich des voraussichtlichen Branchenmixes zu treffen. Die bisherige Planung sieht vor, dass die Größe der Gebäude von Südwesten nach Nordosten zunimmt. Hierdurch soll ein fließender Übergang zum südwestlich angrenzenden Naturschutzgebiet geschaffen werden.

In Abbildung 2-3 sind die Gebäudegrößen dargestellt. Dabei werden drei Kategorien unterschieden: S – kleine Gebäude, M – mittelgroße Gebäude und L – große Gebäude. Entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers wird davon ausgegangen, dass die Gebäude der Kategorie „S“ eine Höhe von vier bis sechs Metern haben können. Dies bedeutet, dass es sich um ein- bis zweigeschossige Gebäude handeln wird. Für die Kategorie „M“ wird von einer Gebäudehöhe von 10 bis 20 m ausgegangen. Diese können - je nach Nutzung - ein- bis dreigeschossig sein. Bei den Gebäuden der Kategorie „L“ handelt es sich um solche mit einer Höhe von 30 m bis zu 50 m. Es wird erwartet, dass hier überwiegend eingeschossige Produktionshallen errichtet werden. In den mit „Commons“ gekennzeichneten Bereichen sind gemeinschaftlich genutzte Einrichtungen wie z. B. Veranstaltungsräume und Nahversorgungsangebote (Einzelhandel, Kindertagesstätte o. ä.) vorgesehen. Diese sollen wirtschaftliche Synergien ermöglichen und sozialen Mehrwert schaffen. Die Annahmen zur erwarteten Geschossigkeit der Gebäude sind Abbildung 2-4 zu entnehmen. Bezüglich der Gebäudestruktur wird davon ausgegangen, dass die Dächer als Flachdächer ausgeführt werden. Da angestrebt wird, die Luneplate zu einem nachhaltigen Gewerbegebiet zu entwickeln („Green Economy“), wird bei der Ermittlung des Wärmeverbrauchs zugrunde gelegt, dass die Gebäude nach dem Niedrigst-Energiestandard gemäß GebäudeEnergieGesetz-Entwurf errichtet werden.

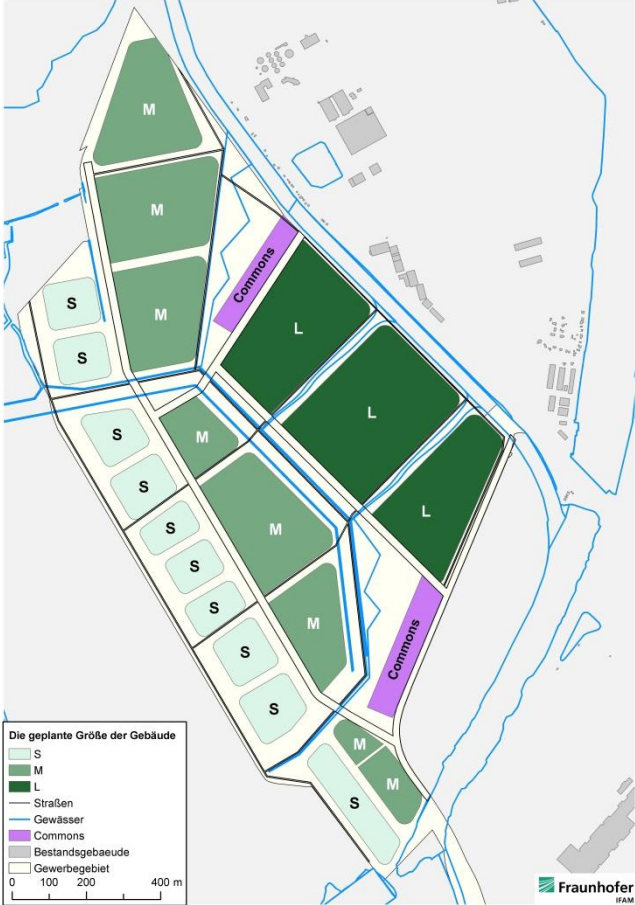


Abbildung 2-3: Die Größe der Gebäude
Quelle: Fraunhofer IFAM

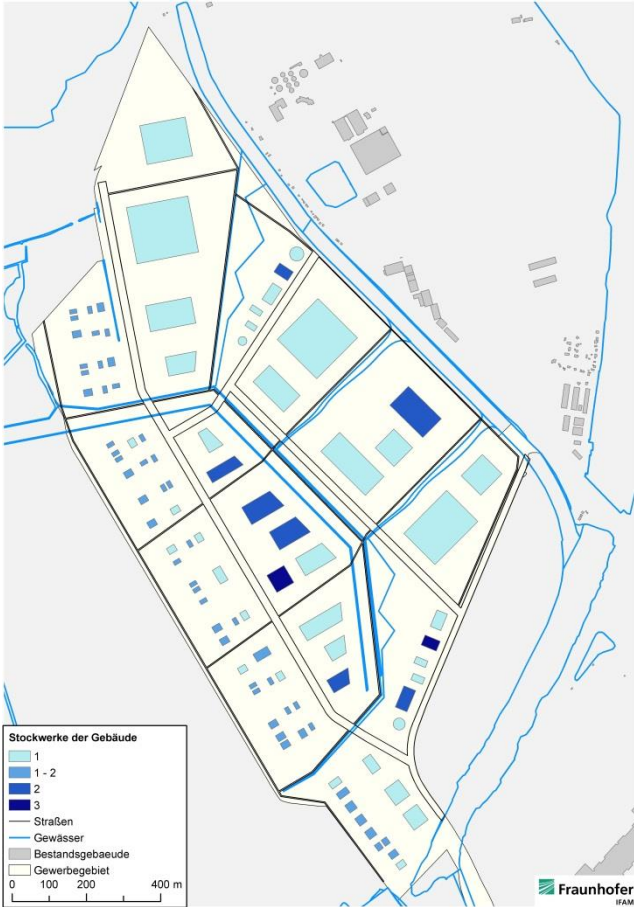


Abbildung 2-4: Die Geschossigkeit der Gebäude
Quelle: Fraunhofer IFAM

2.2 Verkehrstechnische Situation

Bislang ist die Luneplate am besten mit dem Auto zu erreichen. So wurde z. B. die Straßenanbindung an das östlich anschließende, bestehende Gewerbegebiet bereits hergestellt. Der Bahnhaltepunkt Wulsdorf befindet sich in ca. 4 bis 5 km Entfernung (siehe Abbildung 2-5) und die Haltestellen der regelmäßig bedienten Buslinien 504 und 505 sind je nach Standort rund 0,6 bis 2 km vom Untersuchungsgebiet entfernt. Die näher gelegene Haltestelle Seewindstraße wird nur durch ein Anruf-Linientaxi bedient, hier ist eine Anmeldung bis spätestens 45 Minuten vor Abfahrt erforderlich. Allerdings gibt es seitens Bremerhaven Bus bereits Planungen zur Verlängerung der bestehenden Buslinien in das Gewerbegebiet hinein (siehe Kapitel 5.3).

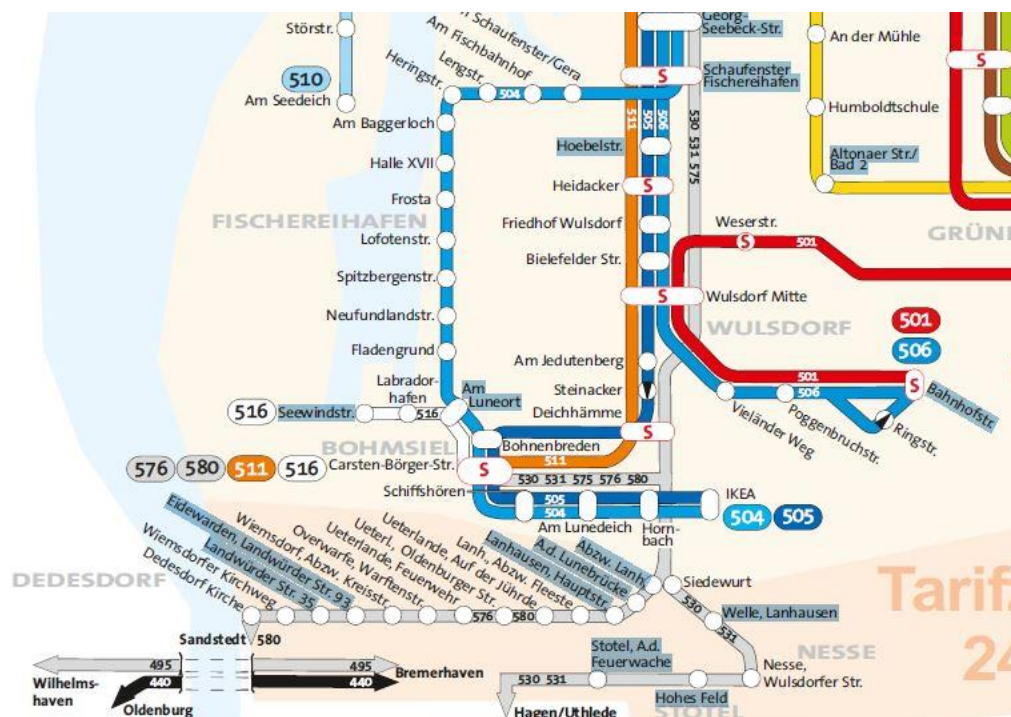


Abbildung 2-5: Ausschnitt aus dem Liniennetzplan Bremerhaven Bus

Quelle: [Bremerhaven Bus 2018]

Im Prinzip ist das Gebiet der Luneplate an das Radwegenetz der Stadt Bremerhaven angebunden (siehe Abbildung 2-6). Jedoch weist das Radwegenetz Lücken auf und einige der dorthin führenden Straßen sind nicht mit wichtigen Sicherheitsmerkmalen abgesichert (siehe Abbildung 2-7 b).



Abbildung 2-6: Ausschnitt Radkarte Bremerhaven

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis der Radkarte Bremerhaven [Erlebnis Bremerhaven 2017]



a)

b)

Abbildung 2-7: Straßenbegleitender Rad- und Fußweg (a) und schwerlasttaugliche Straße ohne Rad- und Fußwege (b)

Quelle: BPW 2017

3 Energieverbrauch im Gewerbegebiet Luneplate

Der Energieverbrauch des Gewerbegebiets Luneplate wird im Wesentlichen durch drei verschiedene, voneinander abhängige Faktoren beeinflusst – die Art der zukünftig angesiedelten Gewerbe (Branchenmix), die Größe der (beheizten) Nutzfläche der Gebäude und dem energetischen Standard der Gebäude. Hinsichtlich des zu erwartenden Branchenmixes gibt es derzeit noch keine Einschätzungen seitens des Auftraggebers. Nur bezüglich der in den mit „Commons“ gekennzeichneten Flächen (siehe Abbildung 2-3) gibt es erste Vorstellungen zu gewünschten, gemeinsam genutzten Infrastruktureinrichtungen. Hier sollen unter anderem Gastronomie, eine Kindertagesstätte und Veranstaltungsräume entstehen.

Für die Abschätzung des Energieverbrauchs im Gewerbegebiet wurden daher auf Basis des Vergleichs mit ähnlichen Gewerbegebieten in Bremen und Bremerhaven und unter Berücksichtigung der möglichen Aufteilung auf die im Gewerbegebiet geplanten Gebäude die in Tabelle 3-1 aufgeführten Annahmen zum Branchenmix erarbeitet. Eine weitergehende Differenzierung der Wirtschaftszweige ist bei derzeitigem Planungsstand nicht zielführend.

Tabelle 3-1: Annahmen Branchenmix Gewerbegebiet Luneplate

Branche	Anteil an sozialpflichtig Beschäftigten
Produzierendes Gewerbe	29 %
<i>darunter verarbeitendes Gewerbe</i>	24 %
Dienstleistungen	71 %
<i>davon</i>	
<i>wirtschaftsnahe Dienstleistungen</i>	42 %
<i>Handel und Logistik</i>	24 %
<i>öffentliche Einrichtungen und Veranstaltungs- und Seminargebäude</i>	5 %
Gesamt	100 %

Quelle: Fraunhofer IFAM

3.1 Wärmeverbrauch

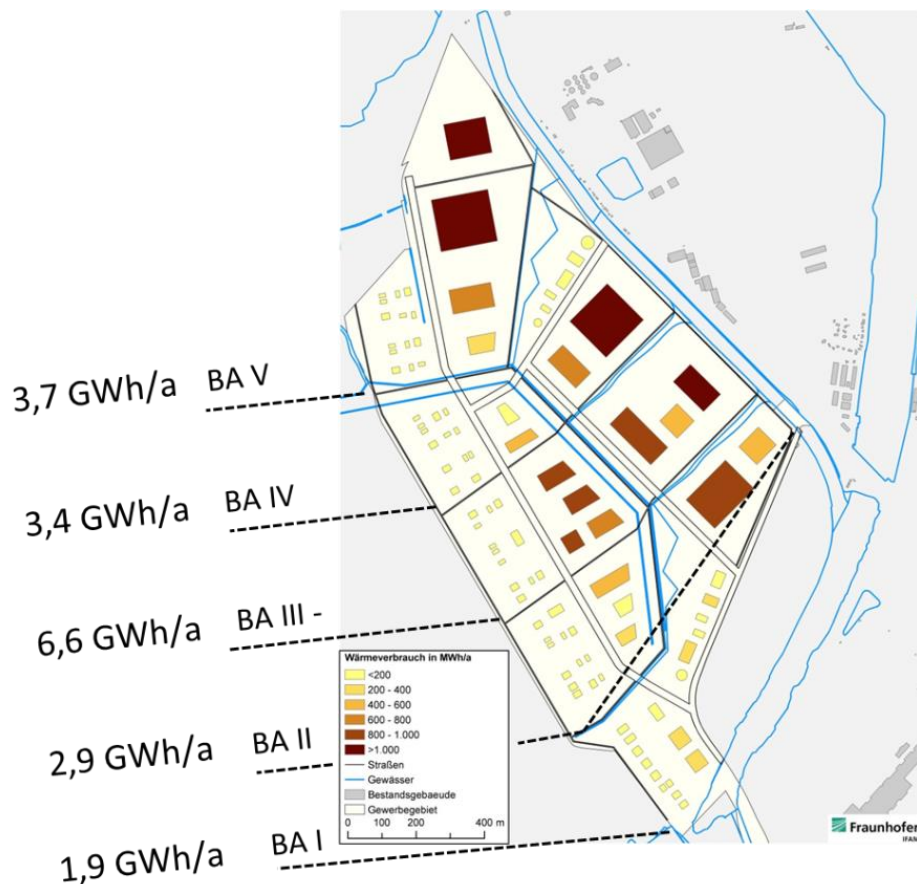
Für die einzelnen Bauphasen wurden die Branchen den geplanten Gebäuden so zugeordnet, dass möglichst derselbe Branchenmix wie in Tabelle 3-1 vorliegt. Mit den Ergebnissen von [FH ISI 2016] zum Energieverbrauch an Brenn- und Kraftstoffen für verschiedene Branchen wurde der Energieverbrauch für das Gesamtgebiet sowie die fünf Bauabschnitte ermittelt. Zusätzlich wurde eine Differenzierung des Verbrauchs an Brenn- und Kraftstoffen nach den verschiedenen Anwendungen - Raumwärme, Prozesswärme, Warmwasserbereitung und Einsatz für die Bereitstellung mechanischer Energie vorgenommen. Hinsichtlich des Energieverbrauchs für die Raumheizung wurden die Ergebnisse von [FH ISI 2016] modifiziert, da davon ausgegangen wird, dass die Gebäude gemäß dem Entwurf des GEG errichtet werden [GEG 2017]. Die nachfolgende Tabelle 3-2 zeigt das Ergebnis der Abschätzung für den jährlichen Energieverbrauch an Brenn- und Kraftstoffen im Gewerbegebiet Luneplate.

Tabelle 3-2: Gesamt-Energieverbrauch Brenn- und Kraftstoffe pro Jahr

Bauabschnitt	Energieverbrauch in GWh/a
I	1,9
II	2,9
III	6,6
IV	3,4
V	3,7
Gesamt	18,5

Quelle: Fraunhofer IFAM

Am geringsten ist der erwartete jährliche Verbrauch an Brenn- und Kraftstoffen mit 1,9 GWh/a im Bauabschnitt I, der nur eine Reihe kleinerer Betriebe sowie Gebäude für Infrastruktur- und Gemeinschaftseinrichtungen umfasst (siehe auch Abbildung 3-1). Den höchsten Wert weist der Bauabschnitt III aufgrund der Anzahl größerer Gebäude auf. Der Energieverbrauch der anderen drei Bauabschnitte BA II, BA IV und BA V liegt im mittleren Bereich zwischen 2,9 und 3,7 GWh pro Jahr. In Abbildung 3-1 ist der Energieverbrauch an Brenn- und Kraftstoffen den Bauabschnitten und den einzelnen geplanten Gebäuden zugeordnet.

**Abbildung 3-1: Verbrauch Brenn- und Kraftstoffe nach Bauabschnitten**

Quelle: Fraunhofer IFAM

Die Analyse des Brenn- und Kraftstoffverbrauchs nach den verschiedenen Anwendungsbereichen zeigt, dass auch im Fall der Errichtung der Gebäude gemäß des Entwurfs des GEG der Großteil auf die Raumwärme entfällt (siehe Tabelle 3-3). Deutlich geringer sind die Anteile der Prozesswärme (15 %) und der Warmwasserbereitung (5 %). Der Einsatz von Brenn- und Kraftstoffen für die Bereitstellung mechanischer Energie ist mit 2 % vernachlässigbar. Bei der Erarbeitung des Energiekonzepts wurde dieser Energieverbrauch nicht berücksichtigt, da er von den jeweiligen Produktionsprozessen abhängt und in der Regel dezentral sichergestellt wird. Bei der weiteren Untersuchung wird somit der Energieverbrauch für die Raumheizung, die Warmwasserbereitung und die Prozesswärme berücksichtigt.

Tabelle 3-3: Wärmeverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)

Verwendungszweck	Anteil am Energieverbrauch Wärme (%)
Raumheizung	78
Prozesswärme	15
Warmwasser	5
Mech. Energie	2

Quelle: Fraunhofer IFAM

Für die Erarbeitung des Energieversorgungskonzeptes für das Gewerbegebiet ist – neben dem jährlichen Energieverbrauch – auch die benötigte Wärmeleistung eine entscheidende Auslegungsgröße. Daher wurden die Lastkurven für den ersten Bauabschnitt und das Gesamtgebiet ermittelt. Hierfür wurden für die verschiedenen Branchen typische Lastkurven des Wärmeverbrauchs zugrunde gelegt. Für den Bauabschnitt I ergeben sich für die Wärmebereitstellung eine Spitzenlast von 1,1 MW und eine Grundlast von 0,01 MW (siehe Abbildung 3-2). Die sehr niedrige Grundlast ist dadurch bedingt, dass der angenommene Branchenmix nur sehr wenige Unternehmen aus solchen Branchen enthält, bei denen auch an den Wochenenden ein Wärmeverbrauch vorhanden ist.

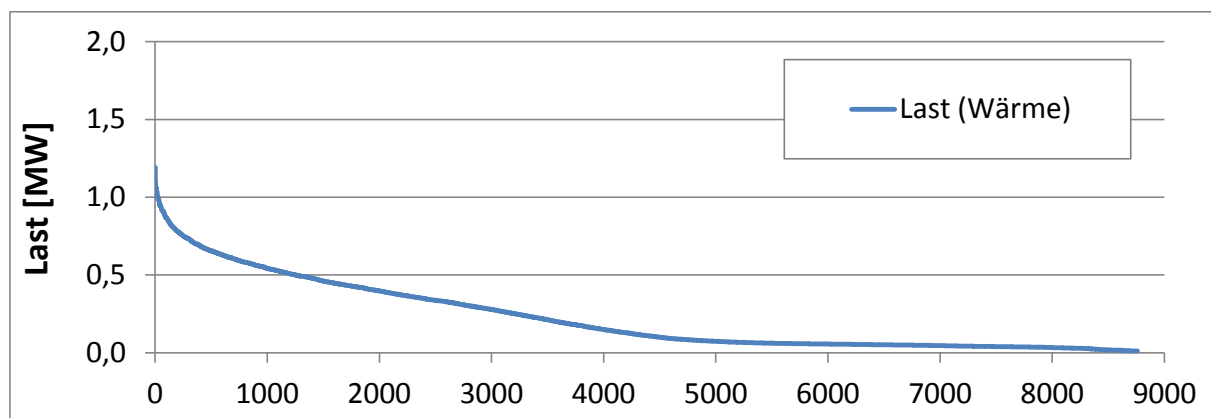


Abbildung 3-2: Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs des BA I

Quelle: Fraunhofer IFAM

Abbildung 3-3 zeigt das Ergebnis für das gesamte Gewerbegebiet. Hier ergibt sich eine Spitzenlast von 11,7 MW, während die Grundlast bei 0,1 MW liegt.

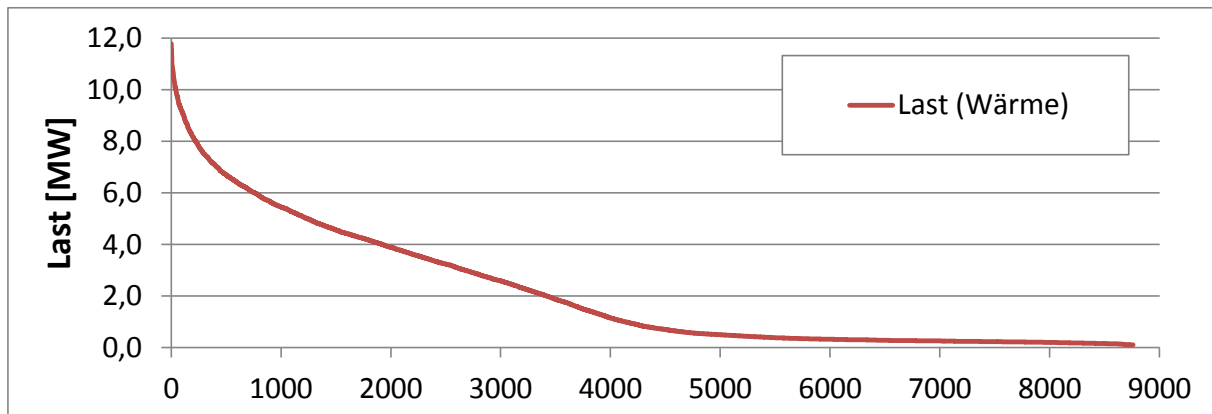


Abbildung 3-3: Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs BA I bis BA V
Quelle: Fraunhofer IFAM

3.2 Stromverbrauch

Die Abschätzung des zu erwartenden Stromverbrauchs erfolgte ebenfalls auf Basis des Branchenmixes und der Ergebnissen von [FH ISI 2016] zum Stromverbrauch verschiedener Branchen. Der Stromverbrauch des Gewerbegebiets wird damit auf 14,1 GWh pro Jahr abgeschätzt (siehe Tabelle 3-4). Auch hinsichtlich des Stromverbrauchs ergibt sich für den Bauabschnitt I der niedrigste Wert (1,4 GWh/a) und für Bauabschnitt III der höchste (5,3 GWh/a). Der jährliche Stromverbrauch der drei anderen Bauabschnitte liegt zwischen 2,1 GWh/a (BA II) und 2,7 GWh/a (BA IV).

Tabelle 3-4: Gesamt-Stromverbrauch pro Jahr

Bauabschnitt	Energieverbrauch in GWh/a
I	1,4
II	2,1
III	5,3
IV	2,7
V	2,6
Gesamt	14,1

Quelle: Fraunhofer IFAM

In der nachfolgenden Abbildung 3-4 ist der Stromverbrauch den Bauabschnitten und den einzelnen geplanten Gebäuden zugeordnet.

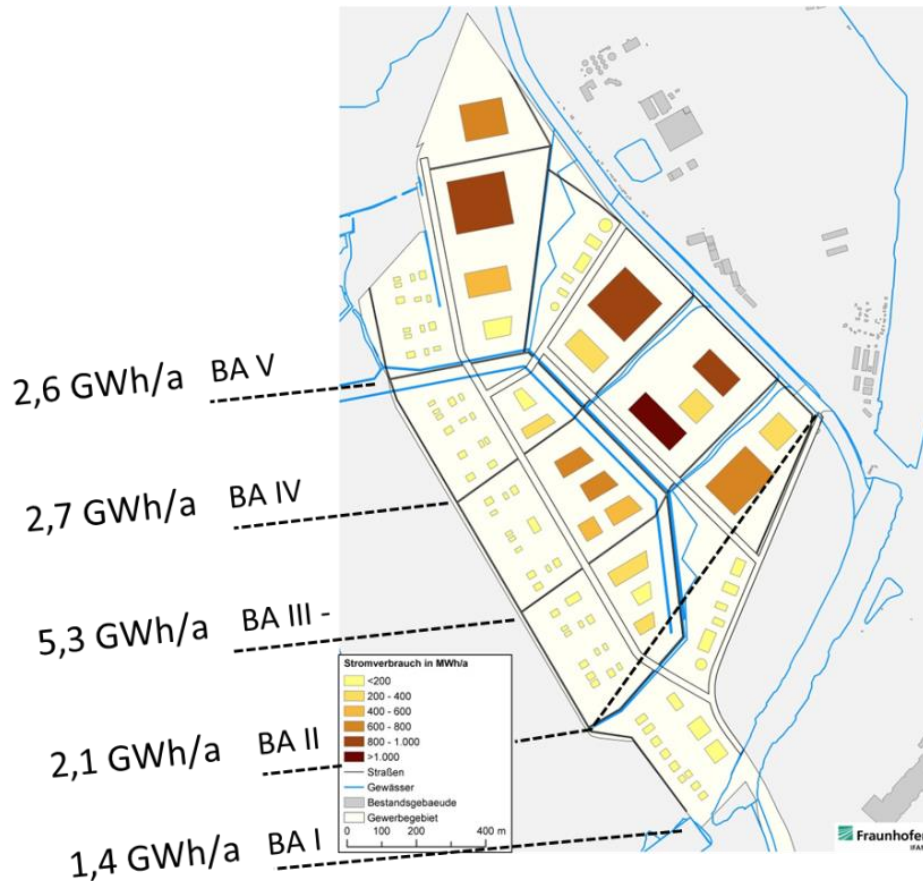


Abbildung 3-4: Stromverbrauch im Gewerbegebiet Luneplate nach Bauabschnitten

Quelle: Fraunhofer IFAM

Betrachtet man die Anteile des Stromverbrauchs, die auf verschiedene Anwendungen entfallen, so wird fast die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs für die Beleuchtung aufgebracht (siehe Tabelle 3-5). Etwa jeweils ein Fünftel wird für die Bereitstellung mechanischer Energie und die Versorgung der Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) genutzt werden. Deutlich geringere Anteile entfallen auf Prozesskälte und sonstige Anwendungen wie z.B. Warmwasserbereitung oder Klimakälte (jeweils 8 %).

Tabelle 3-5: Stromverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)

Verwendungszweck	Anteil am Stromverbrauch (%)
Beleuchtung	46
Mech. Energie	19
IuK	19
Prozesskälte	8
Sonstige (WW, Klima, ...)	8

Quelle: Fraunhofer IFAM

Es ist möglich, dass durch signifikante Effizienzmaßnahmen bei der Beleuchtung der Stromverbrauch für diese Anwendung zukünftig sinken könnte. Allerdings ist zu erwarten, dass die Reduktion durch eine Zunahme des Stromverbrauchs für die Anwendungen IuK und Klimakälte kompensiert werden und sich der Gesamtstromverbrauch nicht signifikant verändern wird [prognos, ewi, gws 2014]. Auf eine differenzierte Betrachtung der Entwicklung des Stromverbrauchs der einzelnen Anwendungen wurde verzichtet, da die genaue Entwicklung im Gebiet vom zukünftig vorhandenen Branchenmix abhängt.

Allerdings ist es, wie im Fall der Wärmeversorgung, auch hinsichtlich des Stromverbrauchs erforderlich, die Lastgänge zu berücksichtigen. Diese wurden unter Zugrundelegung von Typtagen für unterschiedliche Gewerbetypen sowohl für den BA I als auch das Gesamtgebiet auf Grundlage von [VDEW 2000] ermittelt.

Für den Bauabschnitt I ergeben sich für den Stromverbrauch eine Spitzenlast von ca. 540 kW und eine Grundlast von rund 50 kW. Wie im Fall der Wärme ist auch beim Strom die sehr niedrige Grundlast dadurch bedingt, dass der angenommene Branchenmix nur sehr wenige Unternehmen aus solchen Branchen enthält, bei denen auch an den Wochenenden ein Stromverbrauch vorliegt.

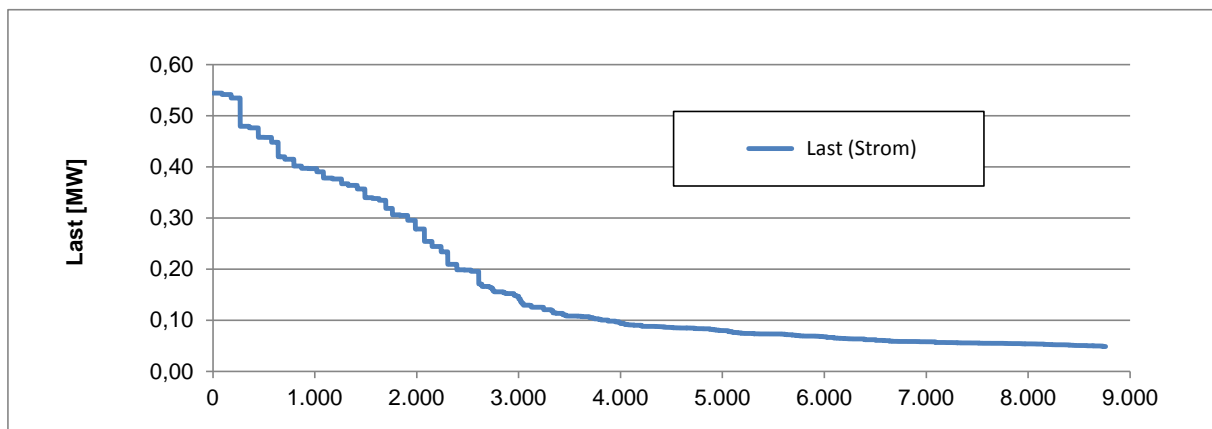


Abbildung 3-5: Jahresdauerlinie des Stromverbrauches nur BA I

Quelle: Fraunhofer IFAM

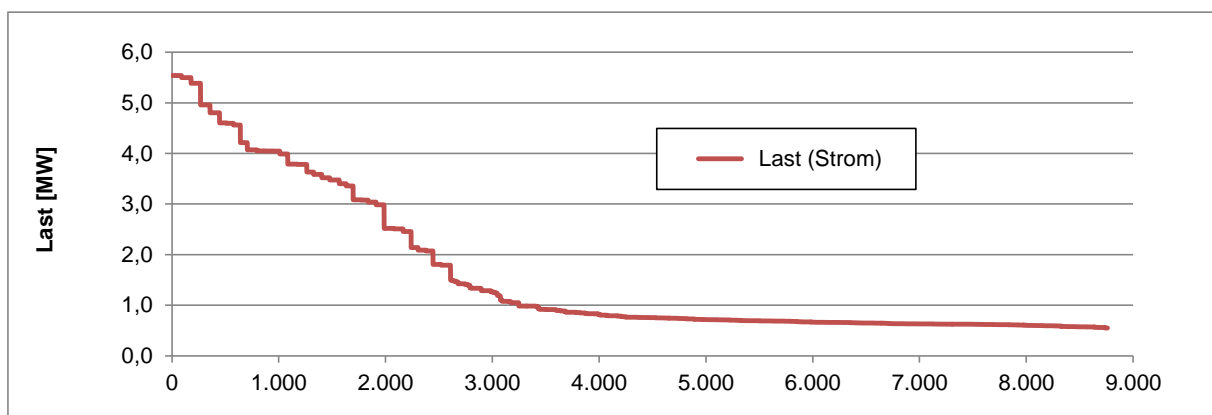


Abbildung 3-6: Jahresdauerlinie des Stromverbrauches BA I bis BA V

Quelle: Fraunhofer IFAM

Für das gesamte Gewerbegebiet Luneplate ergeben sich eine Stromspitzenlast von 5,5 MW und eine Grundlast von 0,6 MW (siehe Abbildung 3-6).

3.3 Endenergieverbrauch Strom und Wärme

Aus den vorherigen Ergebnissen ergibt sich ein jährlicher Endenergieverbrauch von Strom und Wärme von 32,6 GWh für das gesamte Gewerbegebiet Luneplate. Davon entfällt gut ein Drittel auf den Bauabschnitt III, nur rund 10 % auf den ersten Bauabschnitt und zwischen 15 % und 19 % auf die restlichen Bauabschnitte (siehe Tabelle 3-6).

Tabelle 3-6: Endenergieverbrauch Strom und Wärme

Bauabschnitt	Energieverbrauch in GWh/a
I	3,4
II	5,0
III	11,9
IV	6,0
V	6,3
Gesamt	32,6

Quelle: Fraunhofer IFAM

In Abbildung 3-7 ist der Endenergieverbrauch (Strom und Wärme) den Bauabschnitten und den einzelnen geplanten Gebäuden zugeordnet.

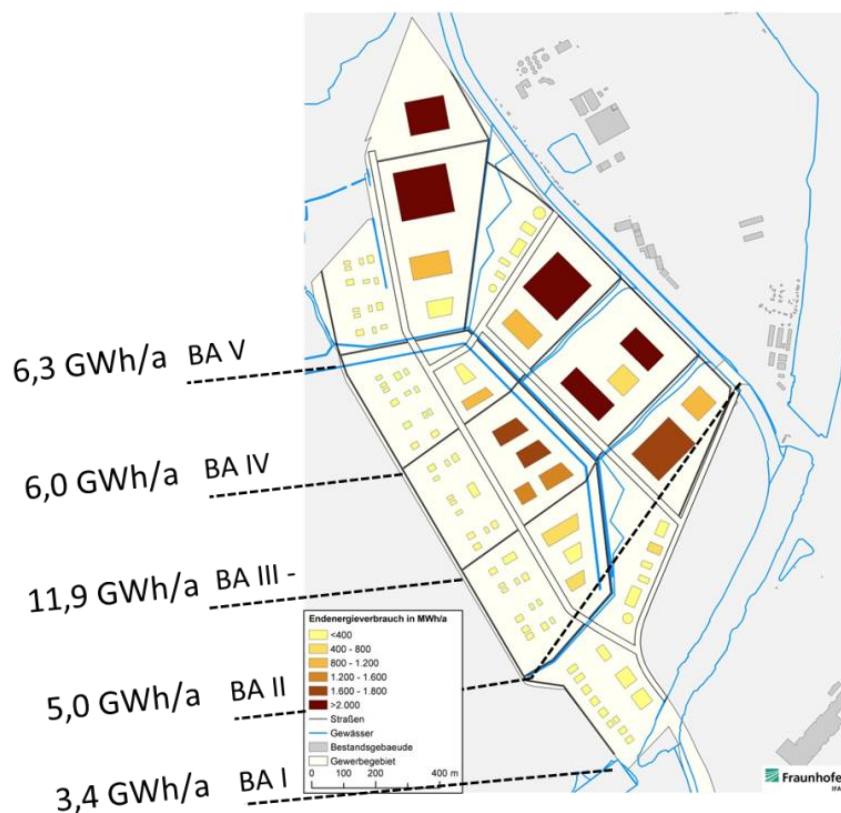


Abbildung 3-7: Endenergieverbrauch (Strom und Wärme) des Gewerbegebiets Luneplate nach Bauabschnitten

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 3-7 zeigt die Aufteilung des Endenergieverbrauchs an Strom und Wärme des Gewerbegebiets Luneplate auf die einzelnen Verwendungszwecke.

Tabelle 3-7: Gesamt-Energieverbrauch nach Verwendungszweck (Anteile)

Verwendungszweck	Anteil am Gesamt-Energieverbrauch (%)
Raumheizung	44
Beleuchtung	20
WW und Prozesswärme	14
Mech. Energie	9
luK	8
Prozess- und Klimakälte	5

Quelle: Fraunhofer IFAM

Aus Tabelle 3-7 ist ersichtlich, dass knapp die Hälfte der gesamten Endenergie für die Raumheizung benötigt wird (44 %). Auch auf die Beleuchtung (20 %), die Warmwasserbereitung und Prozesswärme (zusammen 14 %) sowie die luK (8 %) entfallen nennenswerte Anteile. Prozess- und Klimakälte spielen demnach nur eine untergeordnete Rolle. Für die Bereitstellung der letztgenannten Anwendungen wird in der Regel Strom genutzt.

3.4 Sensitivitätsbetrachtung

Eine zentrale Größe bei der Abschätzung des Endenergieverbrauchs ist der Branchenmix. Hierzu gibt es keine verlässlichen Angaben, sondern nur plausible Annahmen aufgrund des Vergleichs mit ähnlichen Gewerbegebieten. Daher soll die nachfolgende Betrachtung zeigen, wie sich Veränderungen des Branchenmixes auf den Endenergieverbrauch auswirken könnten.

Nimmt man z. B. an, dass ein Unternehmen aus dem Wirtschaftszweig der Nahrungsmittelindustrie mit einer Grundfläche von 5.000 m² im Gewerbegebiet angesiedelt wird, hätte dieses ungefähr einen jährlichen Endenergieverbrauch von rund 2 GWh. Das entspricht ca. 6 % des zuvor abgeschätzten Endenergieverbrauchs des gesamten Gewerbegebiets. Im bislang zugrunde gelegten Branchenmix ist die Nahrungsmittelindustrie nur mit geringen Anteilen vertreten. Sollte dieser Anteil durch die Ansiedlung einschlägiger Unternehmen signifikant höher sein, würde sich das in einem deutlich erhöhten Endenergieverbrauch niederschlagen. Es wird daher empfohlen, bei der Planung des Energieversorgungssystems einen entsprechenden Sicherheitszuschlag vorzusehen. Die in Kapitel 5 genannten Zahlen wurden auf Basis der Annahmen zum Branchenmix abgeleitet und enthalten noch keinen Sicherheitszuschlag.

4 Potenziale erneuerbarer Energien

Die Energieversorgung des Gewerbegebiets Luneplate soll möglichst ausschließlich durch erneuerbare Energien erfolgen. Zudem wird angestrebt, dass hierfür überwiegend die im Gebiet bzw. in unmittelbarer Nähe vorhandenen Ressourcen - erneuerbare Energien (Solarenergie, Tiefengeothermie, Windenergie) sowie Abwärmepotenziale – genutzt werden. Außerdem sollen zur Abpufferung von Lastspitzen und in Zeiten zu geringer Energiebereitstellung durch (lokale) erneuerbare Energien Speicher zum Einsatz kommen. In Abbildung 4-1 ist dargestellt, welche Potenziale prinzipiell für die Bereitstellung CO₂-freier Energien für das Untersuchungsgebiet vorhanden sind und wo entsprechende Anlagen platziert werden könnten. Im Fall der Windenergie handelt es sich um die bereits vorhandene 8 MW-Anlage.



● mögliche Standorte

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis von
cityförster architecture + urbanism“

Abbildung 4-1: Übersicht Potenziale erneuerbarer Energien im Gewerbegebiet Luneplate

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis von [cityförster 2017]

Im Folgenden wird für die einzelnen Optionen aufgezeigt, welche Energiepotenziale für die Versorgung des Untersuchungsgebiets vorhanden sind.

4.1 Potenziale zur Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien

Strom aus erneuerbaren Energiequellen kann im Gewerbegebiet entweder durch Photovoltaikanlagen oder Kleinwindanlagen an den zukünftig entstehenden Gebäuden oder durch die in der Nähe vorhandene 8 MW-Windenergieanlage bereitgestellt werden (siehe Abbildung 4-1).

4.1.1 Potenzial Photovoltaik

Für die Abschätzung des Potenzials der Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen wurde davon ausgegangen, dass alle Dachflächen mit PV-Modulen belegt werden. Mittels Simulationsrechnungen wurde ermittelt, mit welcher Ausrichtung und Neigung der Module die höchsten jährlichen Stromerträge erreicht werden können². Dabei wurde die Ausrichtung der Gebäude entsprechend der derzeitigen Planung (siehe Abbildung 2-2) berücksichtigt. Eine Belegung der geeigneten Fassaden der Gebäude ist im Prinzip möglich. Da bisher – abgesehen von möglichen Gebäudehöhen - keine Angaben zu den künftig erwarteten Gebäuden vorliegen und Anlagen an Fassaden deutlich geringere Stromerträge als Dachanlagen erbringen, wurde davon abgesehen, PV-Fassaden in die Potenzialbetrachtung einzubeziehen.

Das Potenzial des Gesamtgebiets für Strombereitstellung aus PV-Dachanlagen beträgt 17,8 GWh jährlich. Dies ist mehr als der in Kapitel 3.2 für das Gebiet ermittelte Stromverbrauch von 14,1 GWh pro Jahr. Die größten Anteile des PV-Potenzials entfallen auf die Bauabschnitte V (4,9 GWh/a) und III (4,2 GWh/a).

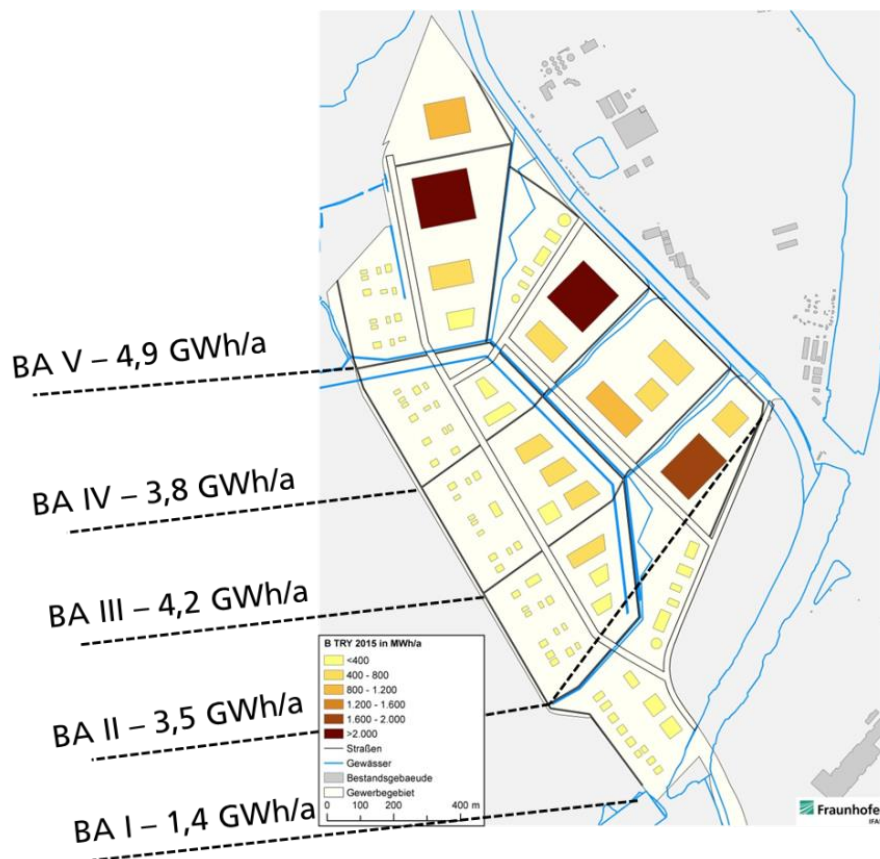


Abbildung 4-2: Potenzial PV-Dachanlagen im Gewerbegebiet

Quelle: Fraunhofer IFAM

Bei der Erarbeitung des Energiekonzepts wurden zwei Varianten betrachtet. Einerseits wurde davon ausgegangen, dass das gesamte PV-Potenzial durch entsprechende Vorschriften zur Errichtung von PV-Anlagen an den Gebäuden erschlossen wird. Zum anderen wurde der Fall betrachtet, dass das Potenzial nur zu 50 % erschlossen werden kann.

² Die Berechnungen wurden auf Grundlage des Testreferenzjahres für 2015 des Deutschen Wetterdienstes für Bremerhaven durchgeführt [DWD 2017]

4.1.2 Potenzial Windenergie

Strom könnte im Prinzip bereitgestellt werden durch:

- größere Windkraftanlagen im Gewerbegebiet
- Kleinwindanlagen auf Gebäuden im Gewerbegebiet
- Windkraftanlagen in der näheren Umgebung
- Windkraftanlagen aus der Region

Die Installation größerer Windkraftanlagen im Gebiet selbst ist aufgrund von erforderlichen Sicherheitsabständen zu Gebäuden nicht möglich.

Im Prinzip könnten auf höheren Gebäuden Kleinwindanlagen errichtet werden. Ein wirtschaftlicher Betrieb von Kleinwindanlagen ist jedoch kaum möglich. So zeigen Untersuchungen, dass selbst mittelgroße Kleinwindanlagen mit einer Leistung von 10 MW_{el} auch an windstarken Standorten Stromgestehungskosten von mindestens 18 ct/kWh haben [BWE 2010]. Dies liegt deutlich über den Werten für größere PV-Dachanlagen (5 – 8 ct/kWh), aber auch kleine PV-Dachanlagen erzeugen Strom mit 7 – 11,5 ct/kWh noch deutlich günstiger [Fh ISE 2018]. Zudem sind gemäß der Bremischen Bauordnung nur Masten, Antennen und ähnliche Anlagen mit einer Höhe bis zu 10 m verfahrensfrei, höhere Aufbauten sind nur mit Genehmigung möglich [BremLBO 2009]. Für Gebäudeeigentümer ist die Installation von PV-Anlagen wirtschaftlich deutlich attraktiver als die Errichtung von Kleinwindanlagen. Im Folgenden wurde deshalb die Option der Kleinwindanlagen nicht weiter betrachtet.

Die Standorte der Windkraftanlagen in der näheren Umgebung sind in der nachfolgenden Abbildung 4-3 dargestellt.

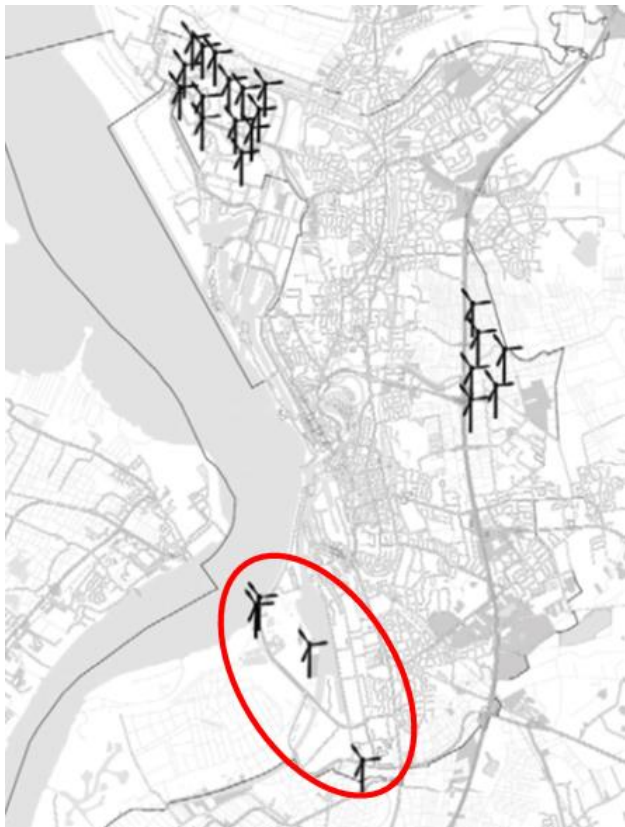


Abbildung 4-3: Windenergieanlagen in Bremerhaven (Stand 31.12.2016)

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis der Darstellung von [BIS 2017]

In direkter Nähe zum Untersuchungsgebiet befinden sich vier Anlagen. Bei den beiden nordöstlich gelegenen Anlagen handelt es sich um kleinere, ältere Anlagen. Die etwas weiter entfernte Anlage befindet sich bereits auf niedersächsischem Gebiet. Für die Stromversorgung besonders interessant ist die mittlere Anlage. Hierbei handelt es sich um eine 8 MW-Anlage, einen Prototyp, der vom Fraunhofer IWES messtechnisch betreut wird. Diese Anlage kann pro Jahr maximal 23 GWh Strom erzeugen. Ein kleiner Teil dieser Stromerzeugung soll nach derzeitigem Stand im Rahmen eines Pilotprojekts für die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse genutzt und in Gas-Wasserstoff-Hybridbussen der Bremerhaven Bus eingesetzt werden (siehe Kapitel 5.3). Auch wenn man die hierfür erforderliche Strommenge von 21 MWh/a berücksichtigt, ist das Potenzial dieser einen Windenergieanlage bilanziell mit 23 GWh/a deutlich größer als der Stromverbrauch des Gewerbegebiets (14,1 GWh/a).

Erste Gespräche haben ergeben, dass eine Stromabgabe an das Gewerbegebiet möglich sein könnte. Hierzu müssen im weiteren Verlauf der Planung noch entsprechenden Vereinbarungen getroffen werden. Für das Energiekonzept wurden zwei Varianten untersucht. Zum einen wurde angenommen, dass das gesamte Potenzial der Windkraftanlage zur Verfügung steht. Zum anderen wurde davon ausgegangen, dass nur 50 % des Potenzials der 8 MW-Anlage für das Gewerbegebiet verfügbar steht (siehe Kapitel 5.1).

Eine weitere Möglichkeit wäre der Bezug von Windstrom aus der Region. Vorzugsweise sollte dieser Strom aus solchen Bereichen bezogen werden, in denen die Stromerzeugung aus Windkraftanlagen deutlich größer ist als der Strombedarf der Region. Das trifft für die Bereiche Butjadingen und Langen zu (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Möglichkeit des Bezugs von regenerativ erzeugtem Strom aus dem Umland

Gemeinde	Leistung Wind lt. EEG-Anlagenregister	Grobschätzung EE-Strom auf Basis [IKS 2014]	Stromverbrauch lt. [IKS 2014]	Strombilanz EE-Strom minus Stromverbrauch
	MW	GWh/a	GWh/a	GWh/a
Bremerhaven	93,54	257,2	867,9	-610,7
Butjadingen	75,30	200,6	48,6	152,0
Nordenham	12,58	42,6	205,0	-162,4
Stadland	40,50	87,9	58,9	29,0
Langen	115,06	280,1	136,9	143,2
Loxstedt	11,64	54,4	123,4	-69,0
Schiffdorf	15,00	49,9	103,9	-54,0

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis EEG-Anlagenregister und [IKS 2014]

Sollte sich erweisen, dass die Potenziale für regenerativ erzeugten Strom im Untersuchungsgebiet und in der direkten Umgebung nur zu einem geringen Anteil genutzt werden können, könnte der Strombezug aus Anlagen aus der Region eine weitere Option sein. Bei der Erarbeitung des Energiekonzepts wurde diese Option allerdings nicht in Betracht gezogen, da davon ausgegangen wird, dass bereits die erschließbaren Potenziale für Strom aus erneuerbaren Energien im Gebiet und in der direkten Umgebung deutlich größer sind als der zu erwartende Stromverbrauch. Für das Energiekonzept wurde somit nur das Potenzial von PV-Anlagen auf den Dächern der Gebäude im Untersuchungsgebiet und der 8 MW-Windenergieanlage berücksichtigt. Dieses beträgt 40,8 GWh/a und ist damit fast dreimal so groß wie der erwartete Stromverbrauch von 14,1 GWh/a. Daher spielt auch die Wärmebereitstellung durch strombasierte Technologien eine wichtige Rolle im Untersuchungsgebiet (siehe Kapitel 5.2).

4.1.3 Zeitlicher Verlauf der Strombereitstellung

Für das Gewerbegebiet wird zunächst eine bilanzielle Versorgung durch erneuerbare Energien angestrebt. Hinsichtlich des Stromeinsatzes ist es in der Regel auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wünschenswert, einen möglichst hohen Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch zu nutzen. Daher wurde auch untersucht, in welchem Umfang jederzeit ausreichend viel Strom erzeugt werden kann, um den Verbrauch abzudecken. Ein weiterer Aspekt ist die Frage, in welchem Umfang Stromüberschüsse eventuell für die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse genutzt werden kann (Power-to-Gas).

In Abbildung 4-4 ist die geordnete Jahresdauerlinie für die Strombereitstellung durch die PV-Anlagen im Gebiet und die 8 MW-Windenergieanlage bei vollständiger Nutzung der Potenziale dargestellt. Diese zeigt auf, an wie vielen Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung abgegeben wird. Die maximale Leistung der PV-Anlagen liegt bei 18 MW, die der Windenergieanlage unter Berücksichtigung von Verlusten bei 6,7 MW und die zeitgleiche Spitzenlast der beiden Anlagentypen zusammen beträgt 22,7 MW.³

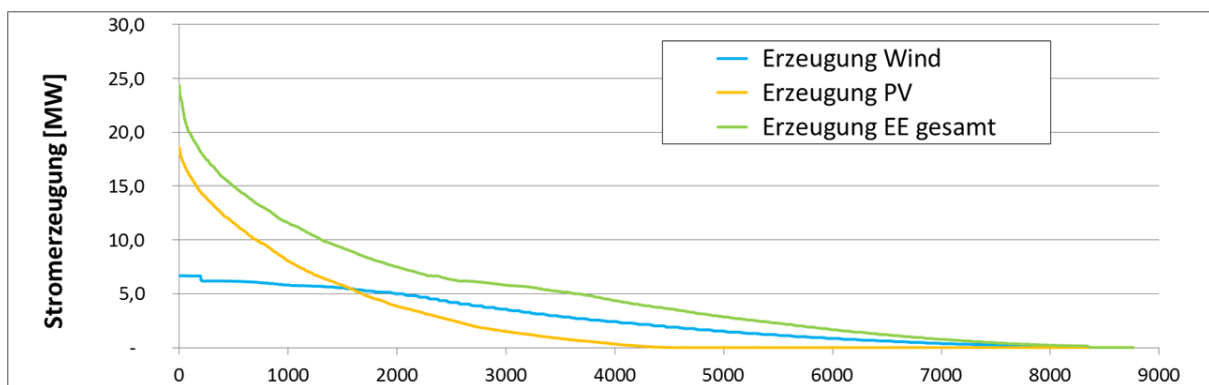


Abbildung 4-4: Strom aus PV und Wind – geordnete Jahresdauerlinie (BA I – BA V)

Quelle: Fraunhofer IFAM

4.1.4 Zeitlicher Verlauf der Residuallast

Als Residuallast wird hier die um die lokal erzeugte Strommenge (PV und Wind) reduzierte Last bezeichnet, also der im Kapitel 3.2 beschriebene Stromverbrauch zu jeder Stunde des Jahres minus die Stromerzeugung aus PV und Wind zu jeder Stunde des Jahres (siehe Kapitel 4.1.1 und 4.1.2). Wie die folgende Abbildung zeigt, kann die Residuallast positiv sein (wenn nach Abzug der Stromerzeugung eine Last verbleibt) oder negativ werden, wenn die PV- und Windstromerzeugung in der betreffenden Stunde die Last übersteigt. In diesem Fall erzeugt das betrachtete Gebiet einen Stromüberschuss.

³ Eine Addition der Einzelwerte ist nicht möglich, da die Leistungsspitzen der PV-Anlagen und der Windenergieanlage zu unterschiedlichen Zeiten auftreten.

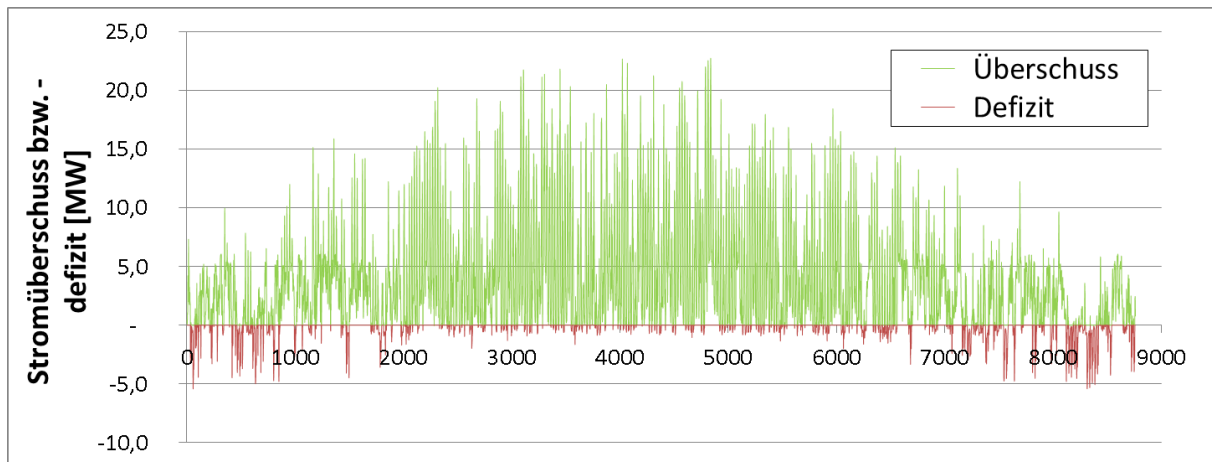


Abbildung 4-5: Stromüberschuss bzw. Stromdefizit (Jahresverlauf) – Nutzung 100% des regenerativen Strom-Potenzials (BA I – BA V)

Quelle: Fraunhofer IFAM

Das Ergebnis der Analyse des zeitlichen Verlaufs der Stromlast (Verbrauch) und der Strombereitstellung aus Wind und PV ist in Abbildung 4-5 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass Stromüberschüsse vermehrt im Sommerhalbjahr⁴ auftreten (positive Werte – grün), Stromdefizite (negative Werte – rot) dagegen meist im Winterhalbjahr.

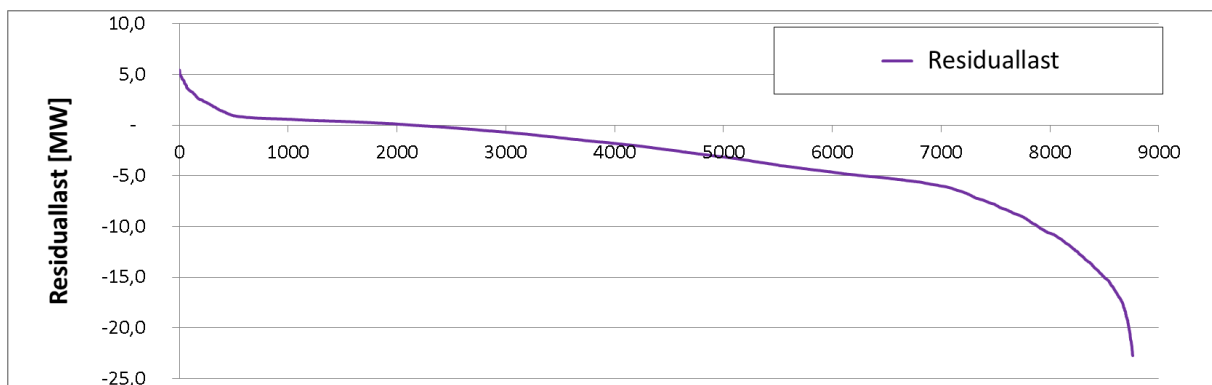


Abbildung 4-6: Residuallast – geordnete Jahresdauerlinie – Nutzung 100% des regenerativen Strom-Potenzials (BA I bis BA V)

Quelle: Fraunhofer IFAM

Ordnet man den in Abbildung 4-5 dargestellten zeitlichen Verlauf danach, in wie vielen Stunden im Jahr eine bestimmte Leistung bereitgestellt wird bzw. fehlt, so ergibt sich die geordnete Jahresdauerlinie der Residuallast (siehe Abbildung 4-6). Bei dieser Darstellung kann man deutlich erkennen, dass

- es trotz des hohen Potenzials der Strombereitstellung durch PV- und Windanlagen immer noch Zeiten gibt, in denen der Stromverbrauch nicht durch diesen Strom aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann (positive Werte bis ca. 2.150 h). Die positiven Werte summieren sich auf eine Energiemenge von insgesamt rund 1,9 GWh, welche durch die allgemeine Stromversorgung gedeckt werden müsste;
- in der überwiegenden Zeit die Stromerzeugung höher ist als der Stromverbrauch (ab ca. 2.150 h);
- es hohe Erzeugungsspitzen gibt, die im Gebiet nicht genutzt werden können und

⁴ Sommerhalbjahr: 20.03. bis 22.09. bzw. von Stunde 1.872 bis Stunde 6.360.

- der bilanzielle Stromüberschuss etwa 30 GWh/a beträgt (Summe der negativen Werte).

Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn man annimmt, dass nur 50 % des Potenzials an PV- und Windstrom ausgeschöpft werden kann. Dann fällt die fehlende Strommenge mit 3,5 GWh/a höher aus und der bilanzielle Überschuss liegt nur bei 8 GWh/a.

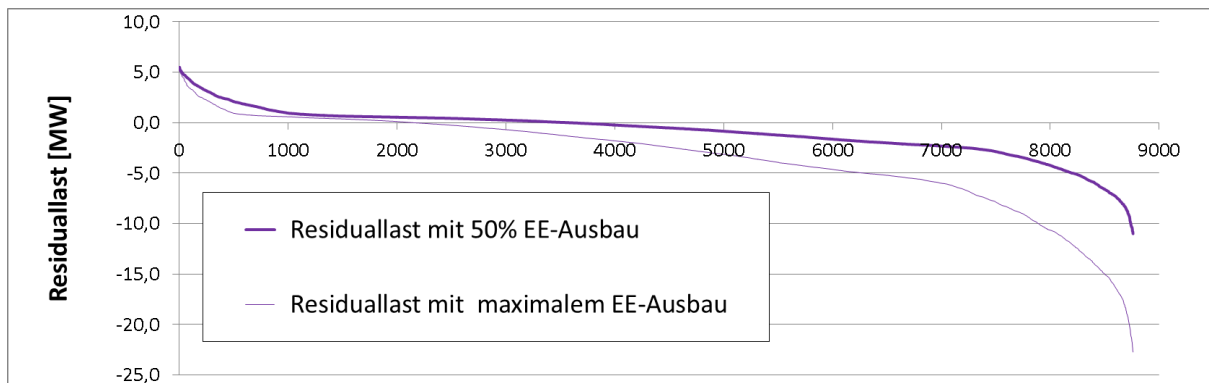


Abbildung 4-7: Residuallast – geordnete Jahresdauerlinie – Nutzung 50 % des regenerativen Strom-Potenzials (BA I – BA V)

Quelle: Fraunhofer IFAM

Es stellen sich daher die Fragen,

- ob durch die Nutzung von Stromspeichern nicht nur eine bilanzielle Deckung des Stromverbrauchs durch die Potenziale erreicht werden kann und
- in welchem Umfang die erheblichen Überschüsse vielleicht für die Erzeugung von Wasserstoff (Power-to-Gas) genutzt werden können.

4.1.5 Stromspeicher

Zur Beantwortung der ersten Frage wurden Simulationsrechnungen mit verschiedenen Größen von Batteriespeichern durchgeführt. Hierbei wurde angenommen, dass Überschüsse so lange vom Speicher aufgenommen werden, bis dieser vollständig gefüllt ist. Der gespeicherte Strom wird immer dann abgegeben, wenn der Stromverbrauch nicht durch die zeitgleiche Erzeugung durch PV- und Windanlagen gedeckt werden kann. Eine wirtschaftliche Optimierung unter Berücksichtigung der Preise an der Strombörse findet dagegen nicht statt.

In Abbildung 4-8 ist dargestellt, wie sich das zuvor genannte Stromdefizit von 1,9 GWh/a mit zunehmender Größe eines Batteriespeichers verändert. Bis zu einer Speicherkapazität von 10 MWh erfolgt eine deutliche Abnahme des Defizits auf ca. 1.150 MWh/a. Eine weitere Zunahme der Speichergröße führt nur noch zu einer deutlich geringeren Reduktion des Defizits. Eine komplette Autarkie könnte nur mit extrem großen Speichern erreicht werden. Dies ist wirtschaftlich nicht darstellbar.

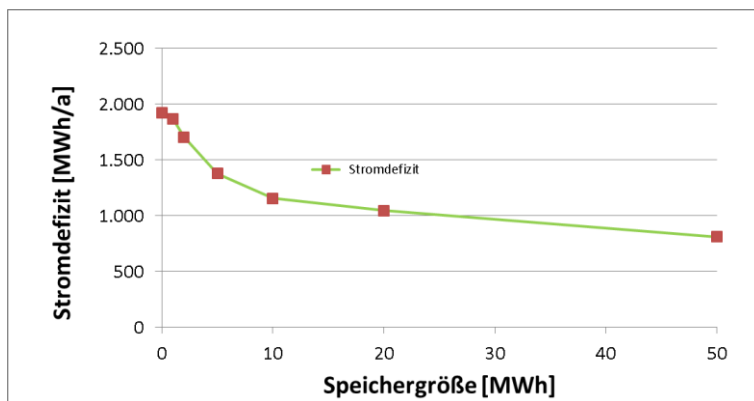


Abbildung 4-8: Stromdefizit in Abhängigkeit von Speichergröße – Nutzung 100 % des regenerativ erzeugten Stroms

Quelle: Fraunhofer IFAM

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass der genannte Wert von 10 MWh keine Optimierung der Speichergröße darstellt. Hierfür wären detailliertere Simulationen unter Berücksichtigung der Börsenstrompreise und der durch gezielten Einsatz des Speichers möglichen Gewinne erforderlich. Dies übersteigt den Umfang der vorliegenden Studie und wäre im weiteren Verlauf der Planung zu untersuchen.

4.1.6 Strompotenzial der Zentralkläranlage

Die Zentralkläranlage (ZKA) der Stadt Bremerhaven befindet sich in unmittelbarer Nähe des Gewerbegebiets Luneplate (siehe Abbildung 4-9).



Abbildung 4-9: Lage der Zentralkläranlage nördlich des Gewerbegebiets

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis von Google Earth

Die ZKA verfügt über ein Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 3 MW_{th}, das pro Jahr ca. 7.500 MWh Strom und rund 4.500 MWh Wärme erzeugt. Der Strom wird vollständig für den Betrieb der Kläranlage benötigt. Die vom BHKW erzeugte Wärme wird ebenfalls überwiegend in der Kläranlage genutzt, höchst-

tens ein kleiner Teil könnte für die Versorgung des Gewerbegebiets eingesetzt werden. Interessanter ist die Nutzung der Abwärme des Abwassers der Kläranlage (siehe Kapitel 4.3.3).

4.1.7 Blockheizkraftwerk (BHKW)

In Nahwärmesystemen werden heutzutage häufig Blockheizkraftwerke zur Bereitstellung der Grundlast für die Strom- und Wärmeversorgung eingesetzt. Diese werden in der Regel mit Gas bzw. Biogas betrieben. Im Untersuchungsgebiet ist kein Gasnetz vorgesehen. Daher müsste ein BHKW außerhalb des Gebiets platziert werden. Hier würde sich das Gelände der Zentralkläranlage anbieten, die über einen Gasanschluss verfügt (siehe Abbildung 4-10). Um das Ziel einer 100%igen Versorgung des Gebiets mit erneuerbaren Energien zu erreichen, müsste dieses BHKW mit Biogas oder „grünem Gas“, das mittels Elektrolyse und Methanisierung erzeugt wird, betrieben werden. Aufgrund der Diskussion über die Konkurrenz der Biogaserzeugung mit der Lebens- und Futtermittelerzeugung einerseits und der auch langfristig noch extrem hohen Kosten des „grünen Gases“ andererseits, wird die Option eines BHKW als nachrangig eingestuft. Die Installation eines BHKW käme daher erst in Betracht, wenn die anderen Optionen zur Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien nicht für die Versorgung des Gebiets ausreichen würden.

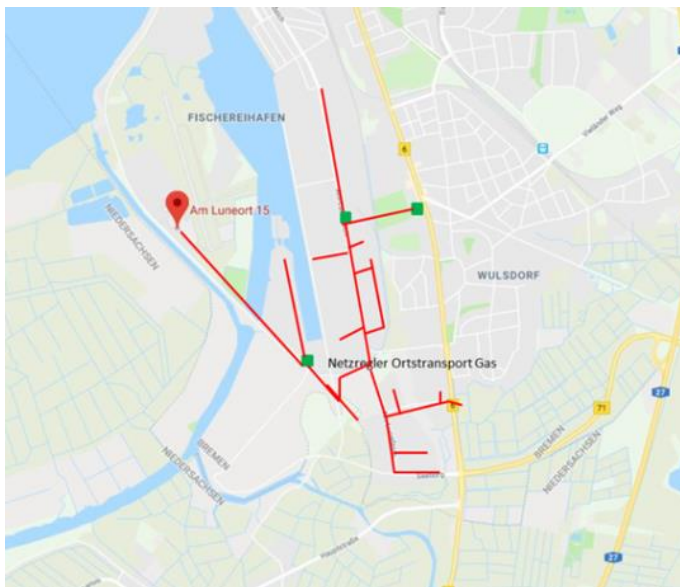


Abbildung 4-10: Gasnetz nordöstlich des Untersuchungsgebiets

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis Google Maps und [wesernetz 2018]

4.2 Power-to-Gas

Wie in Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7 dargestellt, kann ein Großteil des durch PV- und Windenergieanlagen bereitgestellten Stroms nicht im Untersuchungsgebiet genutzt werden. Gleichzeitig wird angestrebt, Überschussstrom für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse einzusetzen, z. B. durch Wasserstoffbeimischung in gasbetriebenen Bussen. Daher wurde für die beiden Fälle „Nutzung 100 % des PV- und Windpotenzials“ bzw. „Nutzung 50 % des PV- und Windpotenzials“ eine Abschätzung vorgenommen, welche Größen von Elektrolyseuren einsetzbar sein könnten und wieviel Wasserstoff hierdurch bereitgestellt werden könnte. Studien zeigen, dass selbst in der Zukunft ein wirtschaftlicher Betrieb von Elektrolyseuren erst ab Nutzungsdauern von ca. 4.000 h pro Jahr erreicht werden kann [Brandstätt et. al 2018], [NOW 2011]. Legt man diese Annahme zugrunde und geht davon aus, dass der Elerktroyseur nur mit Überschussstrom betrieben werden soll, so ergibt sich die in der nachfolgenden Abbildung 4-11 dargestellte Dimensionierung:

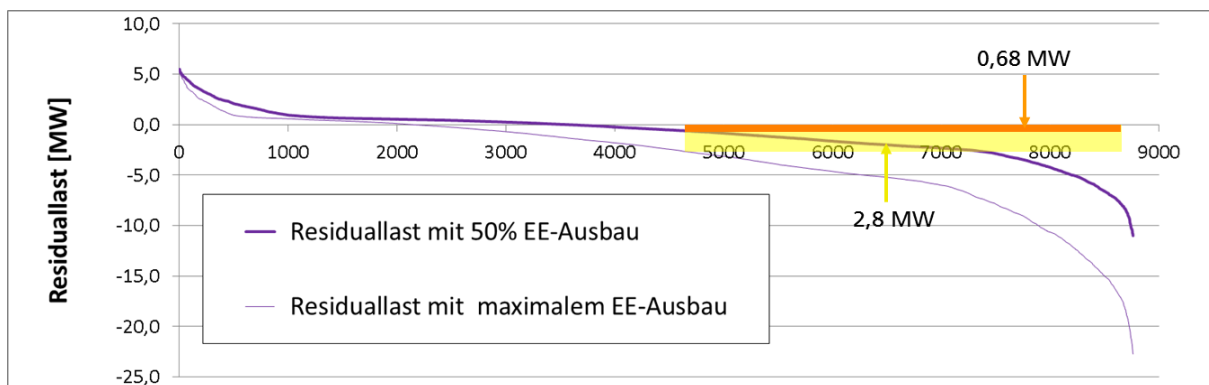


Abbildung 4-11: Dimensionierung Elektrolyseur

**orange: Nutzung 50 % des regenerativ erzeugten Strom-Potenzials:
0,68 MW**

**orange + gelb: Nutzung 100 % des regenerativ erzeugten Strom-Potenzials:
2,8 MW**

Quelle: Fraunhofer IFAM

Durch Elektrolyseure dieser Größe könnten im Betrieb mit 4.000 Volllaststunden die in Tabelle 4-2: Abschätzung Wasserstoff aufgeführten Mengen an Wasserstoff erzeugt werden. Eine größere Dimensionierung würde dazu führen, dass der lokal erzeugte Strom zum Betrieb der Anlagen nicht ausreichen würde oder der Betrieb auf weniger als 4.000 Stunden pro Jahr beschränkt werden müsste. Durch den Einsatz von Elektrolyseur würde der bilanzielle Überschuss an regenerativ erzeugtem Strom prinzipiell von 30 GWh/a auf rund 19 GWh/a (Nutzung 100 % regenerativ erzeugten Stroms) bzw. von 8 GWh/a auf 6,5 GWh/a (Nutzung 50 % regenerativ erzeugten Stroms) reduziert.

Tabelle 4-2: Abschätzung Wasserstoff

	Nutzung EE-Strom-Potenzial	
	zu 100 %	zu 50 %
Leistung Elektrolyseur (kW)	2.800	680
H ₂ -Menge (GWh/a)	7,8	1,9
H ₂ -Menge (t/a)	235	57,2
Erforderliche Strommenge (GWh/a)	11,2	2,7

Quelle: Fraunhofer IFAM

Der so erzeugte Wasserstoff könnte für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden. Denkbar wären z. B. die Beimischung in einen gasbetriebenen Bus (siehe Kapitel 5.3) oder die Einspeisung in das Gasnetz in der Nähe der Zentralkläranlagen (siehe Abbildung 4-10).

4.3 Potenziale zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

4.3.1 Geothermie

Das Potenzial der Tiefengeothermie, das für die Wärmebereitstellung im Gewerbegebiet Lunplate vorhanden ist, wurde im Rahmen der Studie von [Brand, Sperber 2018] untersucht. Demnach bietet der Salzstock Dedesdorf aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit gute Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung. Empfohlen wird eine Ausführung mit einer Teufe von 4.500 m. Für den Bohrplatz zur Errichtung der Anlage wäre eine Fläche von ca. 80 m mal 110 m erforderlich. Mit einer Tiefenerdwärmesonde kann dabei für einen Zeithorizont von 30 Betriebsjahren eine Vorlauftemperatur von 60 bis 75°C und - je nach Ausführung der Sonde - dauerhaft eine thermische Leistung von 0,565 MW_{th} bis 0,69 MW_{th} bereitgestellt werden. Die jährlich bereitgestellte Energiemenge und die resultierenden Wärmeerzeugungskosten hängen entscheidend von der Systemgröße und der Systemkonfiguration ab. Die Wärmeerzeugungskosten sind jedoch aufgrund der vergleichsweise niedrigen Temperaturen im Salzstock deutlich höher als bei vergleichbaren Anlagen in anderen Regionen oder auch die Kosten anderer Erzeugungsoptionen (siehe Kapitel 5.1).

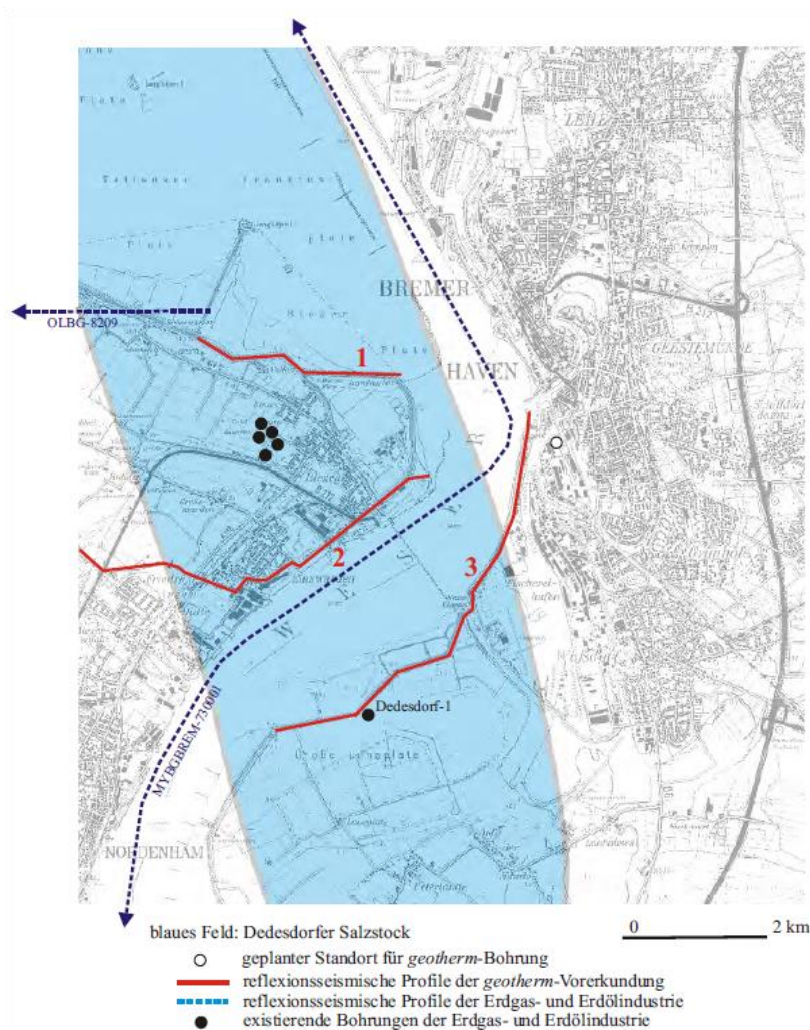


Abbildung 4-12: Lage des Dedesdorfer Salzstocks

Quelle: [REDACTED] 2002]

4.3.2 Wärmepumpen mit Weser / Alte Lune als Wärmequelle

Eine weitere Alternative zur Nutzung von Umweltwärme in Fern- und Nahwärmesystemen ist der Einsatz großer Wärmepumpen mit einer Leistung von mehreren MW zur Nutzung der Wärme aus Flüssen. Hierbei handelt es sich um eine Technologie, die zwar in Deutschland noch Pilotcharakter hat, in anderen europäischen Ländern aber bereits erfolgreich eingesetzt wird. Hierdurch können große Wärmemengen bereitgestellt werden. Allerdings ist die Technologie nicht zur Abdeckung der Spitzenlasten geeignet und muss daher in einem Wärmenetz immer in Kombination mit anderen Wärmeerzeugern betrieben werden. Für das Gewerbegebiet wurden zwei Optionen als Wärmequelle betrachtet – die Weser und die Alte Lune (siehe Abbildung 4-13).



Abbildung 4-13: Mögliche Entnahmestellen für Flusswasser – Weser (oben), Alte Lune (unten)
Quelle: Fraunhofer IFAM auf Basis von Google Earth

Ein möglicher Entnahmepunkt an der Weser befindet sich nördlich des Untersuchungsgebietes, flussabwärts. Eine Position näher zum Untersuchungsgebiet wird von der zuständigen Wasserbehörde des Bremer Senators für Umwelt, Bau und Verkehr als kritisch erachtet, da die an das Gebiet angrenzenden Uferbereiche Wattflächen und damit Rastflächen für Vögel sind [SUBV 2018]. Die Entfernung zum Untersuchungsgebiet und insbesondere zu den ersten Bauabschnitten wäre somit sehr groß, weshalb diese Option nicht weiter verfolgt wurde.

Die zweite Option für die Entnahme von Flusswasser ist der Entnahmepunkt an der Alten Lune (siehe unteren Rand der Abbildung 4-13). Vorteilhaft ist hier die Nähe zum ersten Bauabschnitt. Ein Nachteil ist dagegen die extrem geringe Fließgeschwindigkeit der Alten Lune, die ein (nahezu) stehendes Gewässer ist. Daher könnte die Wärmeentnahme ein Problem darstellen, da es zwischen dem Bereich der Entnahme- und Einleitungsstellen sowie dem restlichen Gewässer nur einen geringen Austausch gibt. Insbesondere die Wärmeentnahme im Winter könnte problematisch sein. Zum einen könnte die sehr niedrige Wassertemperatur ungünstig für den effizienten Betrieb der Wärmepumpe sein. Und zum anderen könnte die

Temperaturabsenkung auch negative Einflüsse auf die Limnologie der Alten Lune haben. Im Sommer könnte es möglicherweise zu unerwünschten Temperaturerhöhungen des Flusswassers kommen.

Hierfür wurde eine erste Grobabschätzung vorgenommen. Geht man z. B. von einer Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 4 MW mit einer Jahresarbeitszahl von 3,5 aus, so wäre bei einer maximalen Temperaturerhöhung des entnommenen Wassers von 1 K eine Durchflussmenge von rund 2.500 m³/h erforderlich. Wäre eine Temperaturerhöhung von 3 K zulässig, würde sich die erforderliche Durchflussmenge auf ca. 800 m³/h reduzieren. Berücksichtigt man den Querschnitt der Alten Lune im Bereich der Entnahme- und Einleitungsstellen und geht davon aus, dass Entnahme und Einleitung im Abstand von 100 m erfolgen, beträgt das Volumen in diesem Bereich rund 15.000 m³.⁵ Hieraus resultiert eine Reduktion der Wassertemperatur in diesem Bereich innerhalb einer Stunde um knapp 0,2°C.

Da davon auszugehen ist, dass aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit der Alten Lune der Temperatureausgleich mit den anderen Bereichen sehr langsam erfolgt, könnte es im Verlauf der Zeit zu einer weiteren, deutlich größeren Temperaturabsenkung kommen. Für eine fundierte Ermittlung möglicher Effekte ist jedoch eine genauere Untersuchung erforderlich als dies im Rahmen der vorliegenden Studie möglich ist.

Gespräche mit den zuständigen Genehmigungsbehörden, der Wasserbehörde der Stadt Bremerhaven und der Wasserbehörde des Bremer Senators für Umwelt, Bau und Verkehr, haben bestätigt, dass für den Betrieb in beiden Fällen (sowohl Weser als auch Alte Lune) ergänzende Untersuchungen erforderlich wären, insbesondere ein limnologisches Gutachten und wasser- sowie deichrechtliche Genehmigungen.

Die Option der Nutzung der Weser als Wärmequelle für eine große Wärmepumpe wird nicht weiter untersucht und die Option einer großen Wärmepumpe mit der Alten Lune als Wärmequelle wird als nachrangige Versorgungsmöglichkeit angesehen.

⁵ Die Abschätzung dieses Volumens erfolgt auf Basis der Informationen der BIS zu Planungsdaten für die Brücke über die Alte Lune zur Erschließung des Gewerbegebiets von Südosten her.

4.3.3 Abwärme Zentralkläranlage

Die Nutzung der Abwärme des Abwassers zur Bereitstellung von Wärme wurde in den vergangenen Jahren in einer Reihe von Pilotprojekten erprobt⁶. Da das Temperaturniveau des Abwassers für die Wärmeversorgung zu niedrig ist, erfolgt in diesen Systemen eine Temperaturerhöhung mittels Wärmepumpe. Für die Sicherstellung von Spitzenlasten ist ein weiterer Wärmeerzeuger erforderlich. Die nachfolgende Abbildung 4-14 zeigt das Schema einer Anlage, bei der ein Wärmetauscher im Kanal platziert wird und die Abwasserwärme durch eine nachgeschaltete Wärmepumpe auf das erforderliche Temperaturniveau gehoben wird. Im diesem Beispiel trägt zusätzlich ein Blockheizkraftwerk zur Abdeckung der Grundlast bei, die Spitzenlast wird durch einen Heizkessel bereitgestellt.

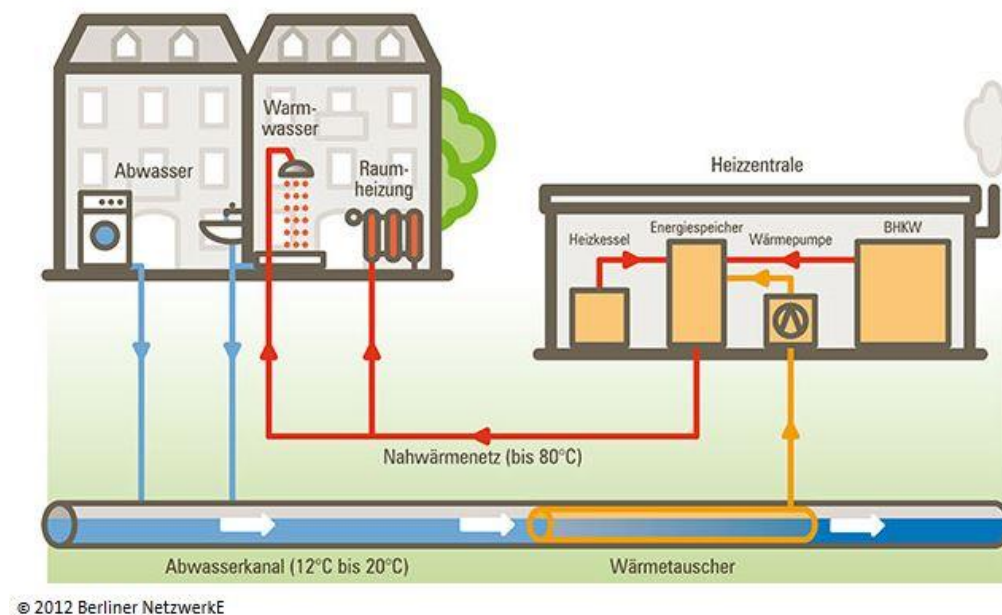


Abbildung 4-14: Schema Wärmebereitstellung mit Abwasserwärme

Quelle: Berliner Netzwerke 2012

Für das Untersuchungsgebiet ist dies eine interessante Option, da sich die Zentralkläranlage (ZKA) in unmittelbarer Nähe befindet (siehe Kapitel 4.1.6, Abbildung 4-9). Die ZKA wurde 1983 in Betrieb genommen und aufgrund der Abwasserströme aus der Fischindustrie auf 600.000 Einwohnerwerte und eine Abwassermenge von 55.000 m³ pro Tag ausgelegt. Das Schema der ZKA ist in Abbildung 4-15 dargestellt.

In Gesprächen mit der Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH (BEG) als Betreiber der ZKA hat sich gezeigt, dass die Wärmeentnahme an der ZKA am besten vor dem Ablaufpumpwerk erfolgt. Die Position des Ablaufpumpwerks ist in Abbildung 4-16 zu erkennen. Dies hat einerseits den Vorteil, dass die Temperatur im Zulauf nicht reduziert wird und die biologischen Vorgänge in der Kläranlage ungestört erfolgen können. Zum anderen enthält das Abwasser im Ablauf deutlich weniger Verunreinigungen als vor der ZKA, was einen Vorteil für Betrieb und Wartung der Wärmetauscher darstellt.

⁶ Siehe auch <https://www.abwasserwaermenutzung.com/hauptnavigation/projekte/projektreferenzen/>



Abbildung 4-15: Schema der Zentralkläranlage Bremerhaven

Quelle: [BEG ZKA 2018]



Abbildung 4-16: Position des Ablaufpumpwerks und einer Freifläche

Quelle: BEG 2018

Der Wärmetauscher könnte primärseitig an den Zulauf des Ablaufpumpwerkes gekoppelt werden. Abhängig von der erforderlichen Größe des Wärmetauschers muss gegebenenfalls eine separate Entnahme vorgenommen werden [BEG 2018]. Dies hängt insbesondere davon ab, ob die Platzverhältnisse im Ablaufpumpwerk für die Installation der Wärmepumpe bzw. der Wärmepumpen ausreichen (siehe Abbildung 4-17). Diese Prüfung muss im weiteren Verlauf der Planung erfolgen.

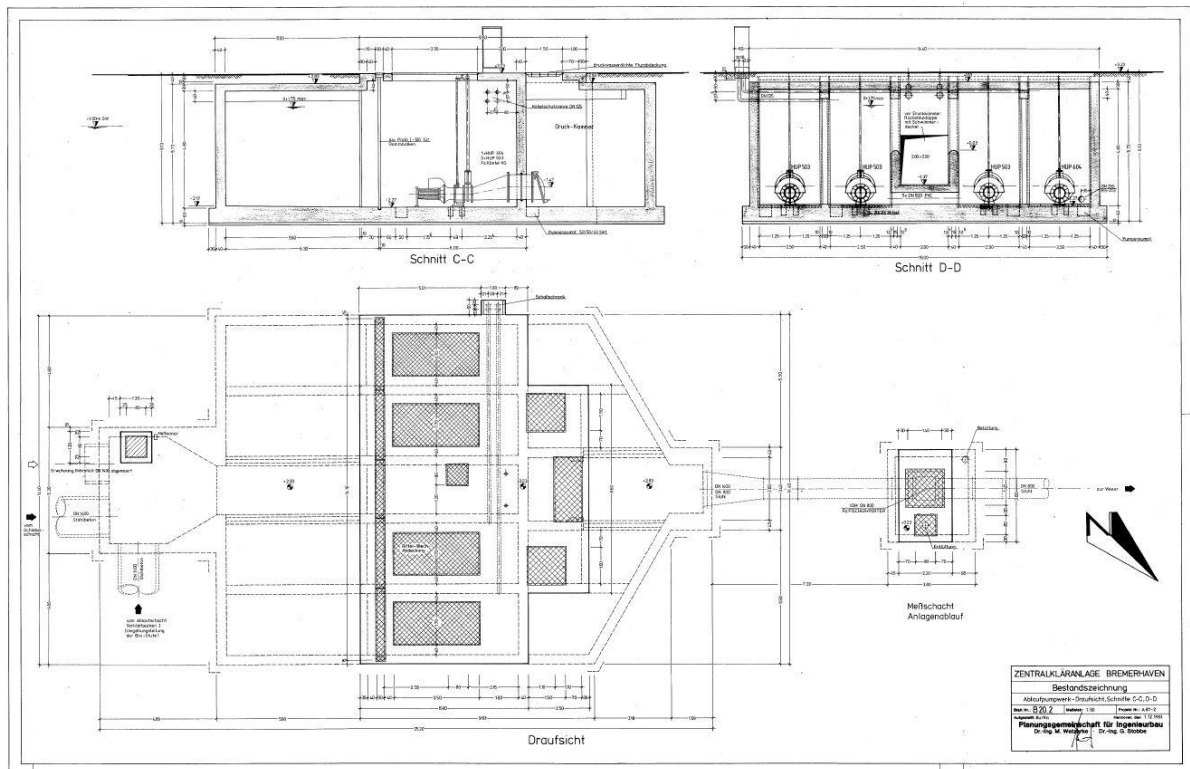


Abbildung 4-17: Ablaufpumpwerk der ZKA – Draufsicht und Schnitt

Quelle: BEG 2018

Die Abwassermenge schwankte in den letzten Jahren zwischen ca. 780.000 m³ pro Monat und rund 1.500.000 m³ pro Monat. Die Temperatur des Abwassers am Auslauf der ZKA beträgt je nach Jahreszeit zwischen ca. 9° - 11°C im Winter und bis zu 20°C im Sommer [BEG 2018]. Die ZKA stellt somit eine sehr gute Wärmequelle für den Einsatz einer großen Wärmepumpe dar. Abschätzungen zeigen, dass durch eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 4 MW_{th} und einer elektrischen Leistung von 1.430 kW pro Jahr rund 12 GWh Wärme für ein Nahwärmenetz bereitgestellt werden könnten. Die Temperatur des Abwassers würde dabei maximal um ca. 2 K gesenkt. Das Abwasser wird in die Weser als Vorfluter geleitet. Dort wird sich eine Reduktion der Abwassertemperatur um 2 K angesichts der hohen Fließgeschwindigkeit der Weser und des großen Wasservolumens kaum auf die Temperatur des Weserwassers auswirken.

Die Option der Nutzung der Abwärme der Zentralkläranlage wurde bei den Überlegungen zum Energiekonzept des Gewerbegebiets Luneplate berücksichtigt. Hinsichtlich der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit dieser Wärmeversorgungsoption wurden – neben den Kosten der Technik (Investition und Betrieb) – zwei Varianten bezüglich der Kosten der Abwärme betrachtet. Einerseits wurde davon ausgegangen, dass Kosten für die Abwärme von 5 EUR/MWh anfallen, andererseits wurde angenommen, dass die Abwärme kostenlos abgegeben wird. Die Frage der Kosten der Abwärme aus der ZKA müsste im weiteren Verlauf der Planung geklärt werden.

4.3.4 Abwärme Unternehmen Fischereihafen

In Nachbarschaft zum Gewerbegebiet Luneplate befindet sich der Fischereihafen. Von Seiten der Fachleute der BIS wurden zwei Unternehmen benannt, bei denen große Abwärmepotenziale vermutet werden: Nordceram GmbH, einem Hersteller von Wand- und Bodenfliesen und Nordfrost GmbH & Co. KG, die im Fischereihafen Tiefkühlhäuser betreibt und ihre Kapazität aktuell ausbaut. In Gesprächen mit den entspre-

chenden Unternehmensvertretern stellt sich heraus, dass eine Abgabe von Abwärme durch die Nordceram GmbH nicht möglich ist [Norddeutsche Steingut 2018].

Dagegen gibt es bei der Nordfrost GmbH & Co. KG Abwärmepotenziale, die bei der Kühlung entstehen. Insgesamt beträgt das Abwärmepotenzial 12,8 GWh pro Jahr (siehe Tabelle 4-3). Im ersten, bereits bestehenden Bauabschnitt fällt pro Jahr Abwärme in Höhe von rund 4,5 GWh an. Der Anteil im Sommer beträgt rund 1,8 GWh, ca. 2 GWh fallen in den Übergangszeiten und 0,7 GWh fallen im Winter an. Es ist geplant, die Kühlkapazitäten bis 2022 zu erweitern. In diesem 2. Bauabschnitt wird das Abwärmepotenzial ca. 8,3 GWh/a betragen, davon 3,5 GWh im Sommer, 3,8 GWh in der Übergangszeit und 1 GWh im Winter. Die Auskopplung könnte auf einem Temperaturniveau von 30 °C erfolgen [Nordfrost 2018].

Tabelle 4-3: Abwärmepotenzial Nordfrost

	1. Bauabschnitt			2. Bauabschnitt		
	Sommer	Übergang	Winter	Sommer	Übergang	Winter
Leistung (kW)	1.200	800	600	1.900	1.296	800
Abwärme (GWh) nach Jahreszeiten	1,8	2,0	0,7	3,5	3,8	1,0
pro Jahr	4,5			8,3		

Quelle: Nordfrost 2018

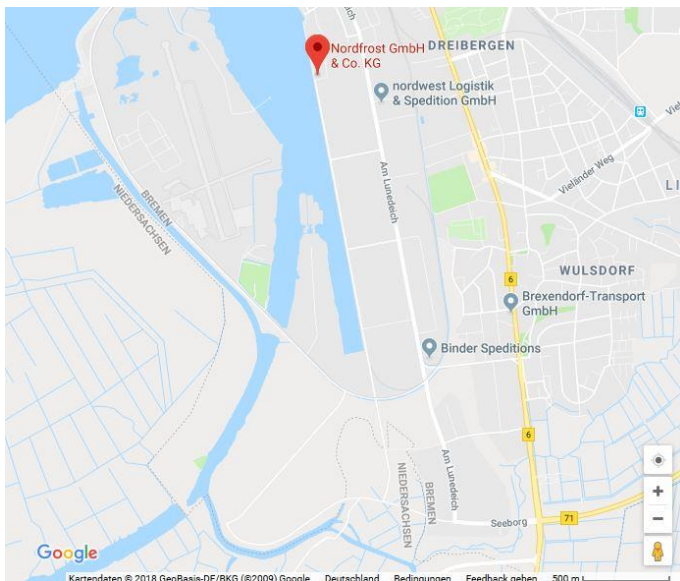


Abbildung 4-18: Lage der Nordfrost GmbH & Co. KG

Quelle: Google Maps

Das Abwärmepotenzial der Nordfrost könnte theoretisch zwei Drittel des Wärmeverbrauchs des Untersuchungsgebiets decken. Allerdings beträgt die Temperatur nur 30°C, weshalb eine Temperaturerhöhung z. B. mittels Wärmepumpen erforderlich wäre. Neben dem niedrigen Temperaturniveau der Abwärme ist die Entfernung des Unternehmens zum Gewerbegebiet kritisch für die Nutzung dieser Abwärme. Ein an Land verlegtes Wärmenetz von Nordfrost bis ins Untersuchungsgebiet hätte, je nach Leitungsführung, eine Länge von 2 bis 3 km (siehe Abbildung 4-18).

Die Entfernung der ZKA zum Gewerbegebiet beträgt dagegen nur wenige hundert Meter. Eine Verlegung durch den Fischereihafen und eine Querung des ehemaligen Flughafens wäre prinzipiell denkbar und kürzer, aber mit erheblichem technischem Aufwand verbunden.

Das Abwärmepotenzial der Nordfrost wird daher für die Versorgung des Gewerbegebiets nicht in Betracht gezogen. Es wird allerdings empfohlen zu prüfen, ob im Fischereihafen eine Nutzung dieses Abwärmepotenzials im Sinne einer Energienachbarschaft möglich wäre.

4.3.5 Abwärme des Müllheizkraftwerks

Das Müllheizkraftwerk der BEG hat eine installierte Wärmeleistung von 100 MW_{th} und erzeugt rund 250 GWh Wärme pro Jahr. Nach Information der BEG wird ein erheblicher Teil der Abwärme des Müllheizkraftwerks der BEG bislang noch nicht energetisch genutzt. Die Abwärme fällt bei Temperaturen an, die für die Versorgung des Wärmenetzes im Gewerbegebiet Luneplate hoch genug sind.

Allerdings ist das bestehende Fernwärmenetz mehr als 7 km von der Luneplate entfernt. Ein Anschluss des Gebiets an das bestehende Fernwärmenetz kommt daher nicht in Frage. Die Wärme könnte jedoch mit Latentwärmespeichern in das Gewerbegebiet Luneplate transportiert werden. Große Latentwärmespeicher haben typischerweise eine Speicherkapazität von rund 2 MWh und eine Wärmeleistung von ca. 200 kW. Sie eignen sich nur zur Bereitstellung von Grundlast und sind nur dann wirtschaftlich darstellbar, wenn eine hohe Zyklenzahl erreicht wird.

Große Latentwärmespeicher wurden in Pilotprojekten eingesetzt, haben aber noch keine weite Verbreitung gefunden. Hemmnisse sind einerseits die Anforderungen, hohe Zyklenzahlen zu erreichen, die Übereinstimmung des Temperaturniveaus der Abwärmequelle mit dem Temperaturbedarf der Abwärmesenke und nicht zuletzt die Frage der langfristigen Zuverlässigkeit der Wärmelieferung durch die Abwärmequelle. Alle drei Aspekte stellen im Fall des Gewerbegebiets Luneplate kein Hindernis dar. Deshalb könnte die Abwärme aus dem MHKW in diesem Fall einen Beitrag zur Abdeckung der Grundlast leisten (siehe Kapitel 5.2). Allerdings gibt es am Markt nur eine begrenzte Zahl von Anbietern von Latentwärmespeichern.

4.4 Zusammenfassung der Kenndaten der relevanten Potenziale erneuerbarer Energien

In den nachfolgenden Tabellen werden die wichtigsten Kenndaten der für das Gebiet in Frage kommenden Techniken zusammengefasst.

Tabelle 4-4: Übersicht Potenzial Photovoltaik auf Dachflächen

Technologie	Photovoltaik Dachflächen	Bemerkungen
Potenzial	Gesamt: 17,8 GWh/a BA I: 1,4 GWh/a	Bei Belegung aller Dachflächen
Realisierungshorizont	Bauabschnittsweise, im Verlauf der Errichtung der Gebäude	Besonders große Dachflächen in BA III & V
Spezifische Investitionskosten	1.125 €/kW _p	
Leistung	Von Größe der Dachfläche abhängig	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure	Gebäudeeigentümer / Bauherren	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Klärung Vorschrift Installation PV-Anlagen in Bauverträgen	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-5: Übersicht Potenzial Windkraft

Technologie	Windkraft	Bemerkungen
Potenzial	23 GWh/a	
Realisierungshorizont	Bestand	
Leistung	8 MW (Bestandsanlage)	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure	Fraunhofer IWES	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Klärung Eigentumsverhältnisse Windkraftanlage; Vereinbarungen zur Nutzung des Stroms im Gewerbegebiet notwendig	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-6: Übersicht Potenzial Elektrokessel

Technologie	Elektrokessel	Bemerkungen
Potenzial	Flexibel	
Realisierungshorizont	Mit Erstellung Wärmenetz; modular erweiterbar	
Spezifische Investitionskosten	80.000 €/MW _{th}	
Leistung	0-13 MW	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure	Betreiber	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Genauere Ermittlung der zu erwartenden Wärmekosten unter Berücksichtigung der variablen Stromkosten (verschiedenen Energiemärkte, flexibler Einsatz durch Wärmespeicher etc,)	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-7: Übersicht Potenzial Tiefengeothermie

Technologie	Tiefengeothermie	Bemerkungen
Potenzial	3,8 GWh/a	
Realisierungshorizont	BA I	
Spezifische Investitionskosten	15,3 Mio. €/MW _{th}	Absolut: 8,7 Mio. € Invest.
Leistung	0,565 MW (Schema A)	
Technologiereife	Pilot-Projekte	
Akteure	Betreiber	

Quelle: Fraunhofer IFAM auf Grundlage von [Brand, Sperber 2018]

Tabelle 4-8: Übersicht Potenzial Wärmepumpen mit Weser / Alte Lune

Technologie	Flusswärme+Wärmepumpen	Bemerkungen
Potenzial	Abhängig von weiteren Untersuchungen	
Realisierungshorizont	Alte Lune BA I	Weser aufgrund der großen Entfernung für weitere Betrachtungen ausgeschlossen
Spezifische Investitionskosten	680.000 €/MW _{th}	
Leistung	2-10 MW	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure		
Weitere erforderliche Untersuchungen	Einzelfallprüfung; limnologisches Gutachten erforderlich; genauere Ermittlung der zu erwartenden Wärmekosten unter Berücksichtigung der variablen Stromkosten (verschiedenen Energiemärkte, flexibler Einsatz durch Wärmespeicher etc.,)	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-9: Übersicht Potenzial Abwärme Zentralkläranlage

Technologie	Abwärme Zentralkläranlage	Bemerkungen
Potenzial	ausreichend, das gesamte Gebiet zu versorgen	
Realisierungshorizont	BA I oder später	
Spezifische Investitionskosten	680.000 €/MW _{th}	
Leistung	0-13 MW	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure	BEG	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Genauere Ermittlung der zu erwartenden Wärmekosten unter Berücksichtigung der variablen Stromkosten (verschiedenen Energiemärkte, flexibler Einsatz durch Wärmespeicher etc.,)	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-10: Übersicht Potenzial Abwärme Fischereihafen

Technologie	Abwärme Fischereihafen	Bemerkungen
Potenzial	1. Bauabschnitt: 4.500 MWh/a 2. Bauabschnitt: 8.300 MWh/a	Nordfrost GmbH & Co. KG; Auskopplung der Abwärme auf einem Temperaturniveau von 30°C; aufgrund der großen Entfernung für weitere Betrachtungen ausgeschlossen
Realisierungshorizont	Fertigstellung 2. Bauabschnitt bis 2022	
Leistung	600-1.900 kW	
Technologiereife	ausgereift	
Akteure	Nordfrost GmbH & Co. KG, Betreiber	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Prüfung, ob Abwärmepotenziale in Betrieben im unmittelbaren Umfeld genutzt werden können	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 4-11: Übersicht Potenzial Müllheizkraftwerk mit Latentwärmespeicher

Technologie	Müllheizkraftwerk / Latentwärmespeicher	Bemerkungen
Potenzial	2 MWh je LWS	
Realisierungshorizont	flexibel	
Spezifische Investitionskosten	350.000 €/MW	
Leistung	0,2 MW je LWS	
Technologiereife	Prototypen	
Akteure	BEG	
Weitere erforderliche Untersuchungen	Anfrage bzw. Verhandlung Wärmepreis; Recherche Hersteller von LWS; Planung der erforderlichen Transportlogistik	

Quelle: Fraunhofer IFAM

5 Energiekonzept

Auf der Basis der Ergebnisse zum Strom- und Wärmeverbrauch des Gebiets (siehe Kapitel 3) und der Untersuchung der Potenziale zur Strom- und Wärmebereitstellung im Gebiet (siehe Kapitel 4) wurden im Rahmen eines Workshops mit Fachleuten aus Bremerhaven erste Ideen für die Energieversorgung, insbesondere die Wärmeversorgung entwickelt. Aufgrund der hohen Potenziale für regenerativ erzeugten Strom wurde deutlich, dass auch die Wärmeversorgung voraussichtlich überwiegend strombasiert erfolgen könnte. Allerdings lagen zum Zeitpunkt des Workshops Anfang Mai noch nicht zu allen Optionen der Wärmeversorgung ausreichende Informationen vor. Dies betraf insbesondere die Abwärmepotenziale der ZKA und der Unternehmen im Fischereihafen.

Im Folgenden wird dargestellt, welche Versorgungsoptionen auf Basis der Analyse aus Kapitel 4 für die Bereitstellung von Strom und Wärme für das Gewerbegebiet in Frage kommen. Hierbei ist die Sicherstellung der Energieversorgung das übergeordnete Kriterium. Weitere Kriterien sind die Wärmeerzeugungskosten der jeweiligen Versorgungsvariante und der Anteil des Beitrags der lokalen erneuerbaren Energien bzw. der noch erforderliche Energiebezug von außerhalb. Basis für die Erarbeitung der Konzepte sind die Ergebnisse zum Strom- und Wärmeverbrauch aus Kapitel 3. Die wichtigsten Daten sind in der nachfolgenden Tabelle noch einmal zusammengefasst.

Sowohl für die Strombereitstellung als auch für die Wärmeversorgung werden zwei Szenarien betrachtet. Einerseits wird davon ausgegangen, dass das gesamte Gewerbegebiet (BA I bis BA V) erschlossen wird, andererseits wird angenommen, dass nur der erste Bauschnitt (BA I) errichtet wird.

Tabelle 5-1: Energieverbrauch des Gewerbegebiets - Wärme (Brenn- und Kraftstoffe) und Strom

	Bauabschnitt BA I	Gesamtgebiet (BA I – BA V)
Wärmeverbrauch (Brenn- und Kraftstoffe) (GWh/a)	1,9	18,5
Spitzenlast Wärme (MW)	1,1	11,7
Grundlast Wärme (MW)	0,01	0,1
Stromverbrauch (GWh/a)	1,4	14,1
Spitzenlast Strom (MW)	0,54	5,5
Grundlast Wärme (MW)	0,05	0,6

Quelle: Fraunhofer IFAM

5.1 Energiekonzept - Bereitstellung von Strom

Der jährliche Energieverbrauch ist sowohl für den Bauabschnitt I als auch für das Gesamtgebiet deutlich niedriger als das jährliche Potenzial für die Bereitstellung von regenerativ erzeugtem Strom durch PV-Anlagen auf den Dächern der vorgesehenen Gebäude und durch die 8 MW-Windkraftanlage (siehe Kapitel 4.1.3). In der nachfolgenden Tabelle 5-2 sind die Verbrauchswerte und die Potenziale gegenübergestellt. Dabei wird angenommen, dass der Strom der 8 MW-Windkraftanlage bereits für den ersten Bauabschnitt verfügbar ist.

Tabelle 5-2: Stromverbrauch und regenerativ erzeugtes Strom-Potenzial nach Bauabschnitten

	Bauabschnitt I	Gesamtgebiet (BA I – BA V)
Stromverbrauch (GWh/a)	1,4	14,1
Regenerativ erzeugtes Strom-Potenzial	24,4	40,8
Bilanzieller Überschuss regenerativ erzeugten Stroms (GWh/a)	23,0	36,7

Quelle: Fraunhofer IFAM

Die Zahlen verdeutlichen, dass eine bilanzielle Deckung des Stromverbrauchs gegeben ist und noch erhebliche Mengen an Überschussstrom verbleiben. Allerdings kann der Stromverbrauch nicht immer zeitgleich durch regenerativ erzeugten Strom gedeckt werden. Wie in Kapitel 4.1.5 dargestellt, ist dies auch nicht durch die Nutzung großer Batteriespeicher zu 100 % möglich. Es gibt immer noch Zeiten, in denen der Bezug von Strom aus dem übergeordneten Stromnetz erforderlich ist. So müssten bei einer vollständigen Erschließung des lokalen erneuerbaren Strompotenzials (Eigenstrom) pro Jahr noch rund 1,9 GWh bzw. bei Einsatz eines 10 MWh-Batteriespeichers immer rund 1,4 GWh/a durch Strom von außerhalb des Gebiets gedeckt werden. Wenn nur 50 % des Potenzials erschlossen würden, würde diese Lücke auf 3,5 GWh ansteigen (siehe Kapitel 4.1.4).

Dies bedeutet, dass für eine zeitgleiche Deckung des Stromverbrauchs eine gewisse Menge Netzstrom erforderlich ist. Prinzipiell wäre denkbar, diese Lücke durch Verträge mit Anbietern von regenerativ erzeugtem Strom zu schließen, um eine 100 %ige Stromversorgung des Gebiets durch Strom aus erneuerbaren Energiequellen sicherzustellen.

Auch durch den Einsatz von Batteriespeichern kann keine vollständige Stromautarkie des Gebiets erreicht werden. Die geringe Abnahme der „Stromlücke“ durch Speichereinsatz verdeutlicht allerdings, dass der Einsatz eines Batteriespeichers durch die Reduktion des Verbrauchs an Netzstrom allein nicht gerechtfertigt ist (siehe Abbildung 4-8). Vielmehr kann ein wirtschaftlicher Einsatz eines Batteriespeichers im Untersuchungsgebiet nur durch eine Auslegung unter Berücksichtigung der Börsenstrompreise erreicht werden. Diese Untersuchung übersteigt den Rahmen der vorliegenden Studie, könnte aber mittels eines entsprechenden Modells vorgenommen werden.

5.2 Energiekonzept – Wärmeversorgung

Für die Wärmeversorgung gibt es eine größere Zahl von Optionen der Wärmebereitstellung durch lokal verfügbare erneuerbare Energien oder Abwärmepotenziale. Einige dieser Optionen wurden aufgrund technischer bzw. wirtschaftlicher Überlegungen bereits ausgeschlossen (siehe Kapitel 4.3). Bei der weiteren Untersuchung wurden folgende Optionen der Wärmebereitstellung berücksichtigt:

- Einsatz einer großen Wärmepumpe mit der Abwärme der Zentralkläranlage als Wärmequelle
- Tiefengeothermie
- Nutzung von Abwärme des Müllheizkraftwerks mittels Latentwärmespeicher
- Einsatz einer großen Wärmepumpe mit der Alten Lune als Wärmequelle (nur Bauabschnitt I)
- Elektrokessel als Spitzenlastheizung

Für diese Optionen wurde für die beiden Szenarien – Betrachtung nur des Bauabschnitt I bzw. des Gesamtgebiets – mittels Simulationsrechnungen untersucht, durch welche Kombinationen der Energieverbrauch und die Spitzenlast gedeckt werden können. Hierbei wurde keine bilanzielle Betrachtung durchgeführt, sondern analysiert, ob die lokalen Ressourcen jederzeit zur Deckung der Wärmelast und des Wärmeverbrauchs ausreichen oder ob noch Energiebezug von außerhalb des Gebiets erforderlich ist. Zudem wurde eine Grobabschätzung der Wärmeerzeugungskosten der verschiedenen Versorgungsvarianten vorgenommen.

Für die Simulation wurden folgende Basisannahmen getroffen:

- Es wird das gesamte Potenzial an erneuerbar erzeugtem Strom berücksichtigt (bzw. weniger in Variantenrechnungen).
- regenerativ erzeugter Strom aus Anlagen aus dem Gebiet (= PV-Anlagen auf allen Dächern + Strom von der 8 MW-Windkraftanlage) wird zunächst zur Deckung des Stromverbrauchs des Gewerbegebiets genutzt.
- Für die Wärmeerzeugung wird vorzugsweise der lokal erzeugte, verbleibende erneuerbar erzeugte Überschussstrom eingesetzt.
- Der Überschussstrom, der dann noch vorhanden ist, wird ins Netz eingespeist. Diese Menge ist abhängig vom jeweiligen Wärmeversorgungsszenario.
- Netzstrom wird nur eingesetzt, wenn regenerativ erzeugter Überschussstrom und Wärme aus einem Wärmespeicher nicht ausreichen, um den Wärmeverbrauch zu decken.
- Die Speicherung von Wärme erfolgt immer dann, wenn nach Deckung des Wärmeverbrauchs noch zusätzlich Wärme mit Überschussstrom aus regenerativen Energiequellen erzeugt werden kann und der Speicher genügend freies Speichervolumen aufweist.
- Es wird keine ökonomische Optimierung unter Berücksichtigung der Preise an der Strombörse vorgenommen.
- Kosten von Wärmeleitungen, die für alle Varianten erforderlich sind, werden nicht betrachtet. Es werden nur die Kosten von Wärmeleitungen berücksichtigt, die nur in einzelnen Varianten anfallen (siehe Kapitel 5.2.2).
- Verluste des Wärmenetzes werden nicht berücksichtigt.
- Kosten für Gebäude, z. B. die Wärmezentrale werden beim Vergleich der Versorgungsvarianten nicht berücksichtigt.
- Die Kosten von Speichern wurden nicht berücksichtigt, da deren Wirtschaftlichkeit nur durch Berücksichtigung erzielter Gewinne an der Strombörse unter Berücksichtigung der Börsenstrompreise ermittelt werden können.

In Tabelle 5-3 sind die Daten des Basisfalls angegeben. Mehrfachangaben ergeben sich aus Dimensionierungen für unterschiedliche Versorgungsvarianten.

Tabelle 5-3: Annahmen technische Daten der Wärmeerzeugungsoptionen (Basisfall)

	Leistung (MW)	Kapazität (MWh)	Jahresarbeitszahl
Wärmepumpe BA I Gesamtgebiet (BA I - BA V)	0,2 / 0,4 4,0	-- --	2,8 / 3,5 3,5
Elektrokessel BA I Gesamtgebiet (BA I - BA V)	1,4 – 1,8 12,0		0,99 0,99
Tiefengeothermie (4.500 m, Schema A)	0,565		
Latentwärmespeicher BA I Gesamtgebiet (BA I - BA V)	0,2 / 0,4 --	2 – 4 --	
Wärmespeicherspeicher BA I Gesamtgebiet (BA I - BA V)	-- --	2,4 25	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Die Annahmen, die in die Simulation und die Grobschätzung der Wärmeerzeugungskosten eingehen, sind in der nachfolgenden Tabelle 5-4 zusammengefasst. Für Wärmepumpen und Wärmespeicher wurden Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

Tabelle 5-4: Annahmen wirtschaftliche Daten der Wärmeerzeugungsoptionen

	Investitionskosten	Wartung und Betrieb	Nutzungsdauer (Jahre)
Wärmepumpe	680 EUR/kW	2,0 %	30
Elektrokessel	80 EUR/kW	1,5 %	15
Tiefengeothermie (4.500 m, Schema A)	8.660.000 EUR	60.000 EUR/a	30
Latentwärmespeicher	35.000 EUR/MWh	2,0 %	25
Zugmaschine für Latentwärmespeicher (gebraucht)	25.000 EUR	10 %	10
Transport LWS (Treibstoff+Personal)		17.500 EUR (2 Speicher)	
Wärmenetz (Grünland)	600 EUR/m	1,0 %	40
Kosten Eigenstrom	40 EUR/MWh		
Kosten Netzstrom	60 EUR/MWh		
Wärmekosten MHKW	0 bzw. 20 EUR/MWh		
Wärmekosten ZKA	0 bzw. 5 EUR/MWh		

Quelle: Fraunhofer IFAM

Im Fall des Wärmenetzes wird bei den Kostenannahmen davon ausgegangen, dass

- die Verlegung der Wärmeleitungen im Grünland bzw. entlang der vorhandenen Wirtschaftswege oder zeitgleich mit dem Bau der Straßen erfolgt, bzw.
- bei späterem Straßenbau der Verlauf der Straßen dem der Wirtschaftswege entspricht und bereits verlegte Wärmeleitungen durch den nachfolgenden Straßenbau nicht beeinträchtigt werden.

Sollten bei einem späteren Straßenbau oder durch den Verlauf der Straßen Maßnahmen zum Schutz bereits vorhandener Wärmeleitungen erforderlich sein, würden die Kosten der Verlegung des Wärmenetzes höher ausfallen.

5.2.1 Energiekonzept Wärmeversorgung Gesamtgebiet (Bauabschnitt BA I – BA V)

Für die Versorgung des Gesamtgebietes kommen prinzipiell alle zuvor genannten Optionen der Wärmebereitstellung in Frage. Jedoch ist bei der Auswahl der Kombinationen der Wärmeversorger zu beachten, dass nicht nur der Wärmeverbrauch [MWh], sondern dass auch die Wärmelast des Gebiets von 11,7 MW sichergestellt werden muss.

Für die Bereitstellung der geringen Grundlast kommen die Optionen „Nutzung der Abwärme des MHKW mittels Latentwärmespeicher“ und „Tiefengeothermie“ in Frage. Im Folgenden werden beide Optionen betrachtet. Dabei wird angenommen, dass insgesamt 4 Latentwärmespeicher à 0,2 MW bzw. 2 MWh zum Einsatz kommen. Jeweils 2 Speicher sind an das Nahwärmenetz angeschlossen während die beiden anderen am MHKW beladen werden. Der Beitrag der beiden Technologien zur Bereitstellung der Last für das Gesamtgebiet ist mit 0,4 MW (Latentwärmespeicher) bzw. 0,565 MW (Tiefengeothermie) nur gering.

Wärmepumpen können signifikant zur Bereitstellung der Wärme beitragen. Hierfür gibt es im Gebiet zwei mögliche Wärmequellen, die Abwärme der ZKA und die Alte Lune. Die ZKA hat den Vorteil, dass das Abwasser insbesondere im Winter deutlich höhere Temperaturen aufweist als die Alte Lune. Zudem wäre zur Nutzung des Wassers der Alten Lune als Wärmequelle ein höherer genehmigungstechnischer Aufwand erforderlich. Daher wird für die Versorgung des Gesamtgebiets nur die ZKA als Wärmequelle berücksichtigt. Für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wärmepumpen sollten diese möglichst hohe Volllaststunden haben. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass 3.000 h nicht unterschritten werden sollten. Dies hat Auswirkungen auf die Leistung der eingesetzten Wärmepumpen. Für den Basisfall wurde daher eine Leistung von 4 MW angenommen. Die Auswirkungen größerer und kleinerer Leistungen der Wärmepumpe auf Volllaststunden und die Nutzung des lokal erzeugten erneuerbaren Stroms werden weiter unten dargestellt.

Zur Sicherstellung der Spitzenlast ist ein weiterer Wärmeerzeuger mit einer ausreichend hohen Leistung erforderlich. Hierfür wird ein Elektrokessel vorgesehen, da durch das große Potenzial erneuerbar erzeugten Stroms viel Überschussstrom verfügbar ist, der zur Wärmebereitstellung genutzt werden kann. Die Leistung des E-Kessels wird mit 12 MW so gewählt, dass er bei Bedarf die Spitzenlast des Gebiets von 11,7 MW allein decken kann. Weiterhin wurde angenommen, dass ein Wärmespeicher mit einer Kapazität von 25 MWh vorhanden ist. Dieser kann die Spitzenlast über zwei Stunden decken. Die Auslegung für den Basisfall der Wärmeversorgung des Gesamtgebiets ist in der nachfolgenden Tabelle 5-5 zusammengefasst.

Tabelle 5-5: Auslegung der Wärmeversorgung des Gesamtgebiets - Basisfall

Wärmeerzeuger	Leistung (MW) / Kapazität (MWh)	Jahresarbeitszahl
Wärmeerzeuger 1:		
Variante A: Latentwärmespeicher + MHKW	0,4 MW _{th} / 4 MWh	--
Variante B: Tiefengeothermie (4.500 m, 1 Sonde)	0,565 MW _{th} / --	--
Wärmeerzeuger 2: Wärmepumpe	4 MW _{th} / --	3,5
Wärmeerzeuger 3: Elektrokessel	12 MW _{th} /	0,99
Wärmespeicher	--/ 25 MWh	

Quelle: Fraunhofer IFAM

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Investitionskosten des Wärmenetzes nicht berücksichtigt, da diese für alle im Folgenden betrachteten Fälle identisch wären. Geht man davon aus, dass das Netz entlang der vorhandenen Wirtschaftswege verlegt wird, ergibt sich eine Netzlänge von rund 5,7 km ohne die Hausanschlussleitungen (siehe Abbildung 5-1). Mit spezifischen Kosten von 600 EUR/m lägen die Kosten für das Wärmenetz bei rund 3,4 Mio. EUR.

Die Ergebnisse der Simulation und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Basisfall sind in den beiden nachfolgenden Tabellen aufgeführt. Diese unterscheiden sich lediglich hinsichtlich des Wärmeerzeugers 1, in Variante A Latentwärmespeicher und in Variante B Tiefengeothermie.

Tabelle 5-6: Ergebnisse Wärmeversorgung Basisfall – Variante A - Latentwärmespeicher

Wärmeerzeuger	Latentwärmespeicher	Wärmepumpe	Elektrokessel	Gesamtsystem*
Wärmeerzeugung (MWh/a)	3.000	12.850	2.650	18.520
aus Eigenstrom (MWh/a / %)				12.230 / 66 %
aus Netzstrom (MWh/a / %)				6.290 / 34 %
spez. Kosten Wärmeerzeugung (€ / MWh/a) ohne Förderung				
Abwärme kostenlos	21	24	86	33
Abwärme 20 €/MWh	41	24	86	36
Stromeinsatz zur Wärmeerzeugung (MWh/a)				6.375
Eigenstrom (MWh/a / %)				3.025 / 47 %
Netzstrom (MWh/a / %)				3.350 / 53 %

* ohne Wärmenetz

Quelle: Fraunhofer IFAM

Tabelle 5-7: Ergebnisse Wärmeversorgung Basisfall – Variante B - Tiefengeothermie

Wärmeerzeuger	Tiefengeo-thermie	Wärmepumpe	Elektrokessel	Gesamtsystem*
Wärmeerzeugung (MWh/a)	3.840	12.260	2.420	18.520
aus Eigenstrom (MWh/a / %)				12.670 / 68 %
aus Netzstrom (MWh/a / %)				5.850 / 32 %
spez. Kosten Wärmeerzeugung (€ / MWh/a)				
ohne Förderung Tiefengeo.	92	25	95	48
50% Förderung Tiefengeo.**	55	25	95	41
75% Förderung Tiefengeo.**	36	25	95	37
100% Förderung Tiefengeo.**	18	25	95	33
Stromeinsatz zur Wärmeerzeugung (MWh/a)				5.950
Eigenstrom (MWh/a / %)				2.850 / 48 %
Netzstrom (MWh/a / %)				3.100 / 52 %

* ohne Wärmenetz

** nur Förderung Tiefenbohrung

Quelle: Fraunhofer IFAM

Ein Aspekt sind die hohen Anfangsinvestitionskosten der Tiefengeothermie. Hier müssen allein für die Bohrung fast 9 Mio. EUR aufgebracht werden. Dagegen belaufen sich die Investitionskosten der 4 Latentwärmespeicher nur auf ca. 280.000 EUR.

Bei den vorangegangenen Analysen wurde davon ausgegangen, dass das Potenzial des lokal erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen vollständig erschlossen wird. Um aufzuzeigen, wie sich eine Teilerschließung des regenerativ erzeugten Strompotenzials auf die Wärmeversorgung auswirkt, wurde für die Basisvarianten A eine weitere Simulation durchgeführt. Bei dieser wurde angenommen, dass nur 50 % der Dachflächen für PV genutzt werden und nur 50 % des Windstromes zur Verfügung stehen. Das Ergebnis ist, dass der Anteil der Wärmeversorgung durch Eigenstrom von 66 % auf 53 % sinkt und rund 2.000 MWh mehr Netzstrom zur Wärmeerzeugung benötigt werden.

Für zwei Systemkomponenten, die Wärmepumpe und den Wärmespeicher, wurde untersucht, wie sich die Variation der Leistung bzw. der Wärmekapazität auf den Einsatz von Netzstrom und den Anteil der Wärmeerzeugung aus lokal und regenerativ erzeugtem Strom auswirkt.

Die Leistung der Wärmepumpe wurde dabei zwischen 0 MW und 10 MW variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Stromeinsatz für die Wärmeerzeugung bis zu einer Leistung der Wärmepumpe von 6 MW deutlich sinkt, von rund 15.600 MWh/a ohne Wärmepumpe auf ca. 5.000 MWh/a bei einer Leistung von 6 MW. Gleichzeitig nimmt bis dahin der Anteil der Wärmeerzeugung aus Eigenstrom zu und steigt dann aber ab einer thermischen Leistung der Wärmepumpe von 6 MW kaum noch an. Eine Grobschätzung ergab, dass die statische Amortisationszeit einer Wärmepumpe von 6 MW für das untersuchte Gesamtgebiet bei rund 18 Jahren liegt und die Volllaststunden mit knapp 2.800 h unter der zuvor genannten Marke von 3.000 h. Aufgrund dieser Sensitivitätsbetrachtung wird empfohlen, für die Versorgung des Gesamtgebiets eine Wärmepumpe mit einer Leistung von maximal 6 MW einzusetzen⁷.

⁷ Um die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvollste Größe der Wärmepumpe zu ermitteln, wäre auch hier eine umfassende Simulation und Auslegung des Wärmespeichers nötig, die auch die schwankenden Strompreise berücksichtigt.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Stromeinsatz für die Wärmeerzeugung kaum von der Speicherkapazität abhängt. Mit zunehmender Speichergröße steigt der Beitrag des Eigenstroms an und der des Netzstroms nimmt ab. Die Verschiebungen führen jedoch nur zu geringen Kosteneinsparungen. Vergleicht man den Fall ohne Wärmespeicher mit dem mit einem Wärmespeicher der Größe 100 MWh_{th}, so würde die Einsparung durch die verstärkte Nutzung des Eigenstroms nur rund 18 T EUR betragen. Ob ein wirtschaftlicher Betrieb eines Wärmespeichers möglich ist, kann daher nur mit einer ökonomischen Betrachtung unter Berücksichtigung der Strommarktpreise untersucht werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass

- in beiden Varianten die Nutzung von Netzstrom zur vollständigen Deckung des Wärmeverbrauchs erforderlich ist und hierfür etwa 6 GWh/a benötigt werden;
- die Tiefengeothermie einen etwas größeren Beitrag zur Wärmebereitstellung leistet als der Einsatz der Latentwärmespeicher zur Nutzung der Abwärme des MHKW;
- mit der Tiefengeothermie etwas weniger Strom für die Wärmebereitstellung erforderlich ist. Diese Einsparungen betragen bei den angesetzten Stromkosten knapp 22 T EUR;
- die Wärmekosten ohne Förderung bei Einsatz des Latentwärmespeichers (Variante A) deutlich günstiger sind als die des Systems mit Tiefengeothermie;
- die Variante B mit Tiefengeothermie erst bei Förderquoten von mindestens 75 % vergleichbare Wärmeerzeugungskosten wie Variante A aufweist;
- Wärmepumpen von max. 6 MW Leistung für das Gebiet vorzusehen sind;
- die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers nur durch eine Betrachtung unter Berücksichtigung der Strommarktpreise beurteilt werden kann.

Der Einsatz der Tiefengeothermie hängt in hohem Maße von einer Förderung der Tiefengeothermiebohrung ab. Da wahrscheinlich auch für die Nutzung von Abwärme mittels Latentwärmespeichern eine Förderung möglich ist, wird die Entscheidung für das eine oder andere System von den jeweiligen Förderkonditionen abhängen. Ebenfalls zu beachten ist, dass es auch für die anderen Wärmeerzeugungstechnologien sowie Wärmenetze Förderprogramme gibt, die die Wirtschaftlichkeit beeinflussen.

5.2.2 Energiekonzept Wärmeversorgung Bauabschnitt I

Der Wärmeverbrauch des ersten Bauabschnitts beträgt ca. 1.900 MWh und die Spitzenlast 1,1 MW. Dies entspricht ca. 10 % des Wärmeverbrauchs bzw. der Spitzenlast des Gesamtsystems. Auch hier gilt es wieder, sowohl den Wärmeverbrauch als auch die Spitzenlast abzudecken und eine möglichst CO₂-freie Wärmeversorgung zu erreichen.

Im Prinzip können für die Versorgung des ersten Bauabschnitts alle zuvor genannten Optionen der Wärmebereitstellung eingesetzt werden. Die Nutzung der Alten Lune als Wärmequelle für eine Wärmepumpe hätte in diesem Fall den Vorteil, dass sich die Wärmequelle in direkter Nachbarschaft zum ersten Bauabschnitt befindet. Im Gegensatz zur ZKA, die sich deutlich weiter nördlich in einer Entfernung von etwas mehr als einem Kilometer befindet. Die Abwärme der ZKA könnte für Bauabschnitt I nur eingesetzt werden, wenn bereits in einem frühen Stadium die Wärmeleitung entlang der (zukünftigen) zentralen Erschließungsstraße verlegt würde. Trotz dieses Nachteils wurde diese Option auch in die Analysen einbezogen. Allerdings wurden in diesem Fall die Kosten, die durch die Verlegung des Wärmenetzes zur ZKA entstehen, bei den Wärmeerzeugungskosten berücksichtigt. Falls nicht nur im ersten Bauabschnitt des Gewerbegebietes Unternehmen angesiedelt werden, sondern das Gesamtgebiet erschlossen wird, würden die Erschließungskosten der restlichen Bauabschnitte geringer ausfallen, da bereits ein erheblicher Teil der Kosten der Wärmeerschließung schon im Zuge der Versorgung des ersten Bauabschnitts getätigt wurden.

Für die Versorgung des Bauabschnitt I wurden insgesamt sieben Versorgungsvarianten untersucht. Die wesentlichen Kenndaten dieser Varianten sind in Tabelle 5-8 aufgeführt. Im Fall der Latentwärmespeicher sind 2 Speicher vorgesehen, von denen in der Regel ein Speicher an das Nahwärmenetz angeschlossen ist, während der zweite Speicher am MHKW beladen wird. Die Leistung des Spitzenlast-Elektrokessels wurde immer so gewählt, dass die Leistung aller Wärmeerzeuger zusammen 1,8 MW ergibt. Durch diese Dimensionierung auf das (rund) 1,5-fach der Spitzenlast des Bauabschnitt I ist einerseits die Versorgung dieses Bauabschnitts zuverlässig sichergestellt, auch wenn die anderen Wärmeerzeuger keine Beiträge liefern können. Andererseits eröffnet die größere Dimensionierung die Möglichkeit auch erste, im folgenden Bauabschnitt II angesiedelte Unternehmen bzw. solche Unternehmen, die sich zukünftig im direkt angrenzenden Gewerbegebiet der FBG befinden, mitzuversorgen.

Tabelle 5-8: Kenndaten der Versorgungsvarianten für Bauabschnitt I

Versorgungsvarianten BA I	Technologien	Wärmeleistung (MW) / Kapazität (MWh)
Variante 0	Elektrokessel	1,8 MW
Variante 1	Latentwärmespeicher (2 Speicher)	0,2 MW / 2 MWh
	Elektrokessel	1,6 MW
Variante 2.1	WP (JAZ=3,5, Anschluss ZKA)	0,2 MW
	Elektrokessel	1,6 MW
Variante 2.2	WP (JAZ=3,5; ZKA)	0,4 MW
	Elektrokessel	1,4 MW
Variante 2.3	WP (JAZ=2.8; Lune)	0,2 MW
	Elektrokessel	1,6 MW
Variante 2.4	WP (0,4: JAZ = 2.8; Lune)	0,4 MW
	Elektrokessel	1,4 MW
Variante 3	Tiefengeothermie (0,565 MW)	0,565 MW
	Elektrokessel	1,235 MW

Quelle: Fraunhofer IFAM

Im Unterschied zur Betrachtung des Gesamtgebiets werden im Fall des Bauabschnitt I der beiden Versorgungsvarianten mit Wärmepumpe und Nutzung der Abwärme der ZKA Netzkosten bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen und zwar die Kosten der Leitung zwischen der ZKA und dem Bauabschnitt I. Hierfür wurde ein Entwurf für die mögliche Verlegung des Wärmenetzes erarbeitet, der in Abbildung 5-1 dargestellt ist. Demnach hat die Verbindungsleitung vom Bauabschnitt I bis zur ZKA eine Länge von 1.910 m.



Abbildung 5-1: Entwurf Wärmenetz Gesamtgebiet (BA I – BA V) und Bauabschnitt I

Quelle: Fraunhofer IFAM

Im Fall der Tiefengeothermie wurde zusätzlich noch untersucht, wie sich verschieden hohe Förderungen für die Tiefengeothermiesonden auf die Wärmeerzeugungskosten auswirken würden. Die Ergebnisse der Simulation und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die sieben Versorgungsvarianten sind in der nachfolgenden Tabelle 5-9 zusammengefasst.

Für die Varianten 2.1 und 2.2 finden sich dort zwei Angaben für die spezifischen Wärmeerzeugungskosten. Der höhere Wert beinhaltet die Kosten für die Anbindung der Wärmepumpe an der ZKA an den Bauabschnitt I, beim niedrigeren Wert sind die Anteile, die auf das Netz entfallen (25 EUR/MWh) herausgerechnet.

Tabelle 5-9: Ergebnisse Wärmeversorgungsvarianten Bauabschnitt BA I

Variante	Technologien	Förderung Tiefen- geoth.- sonden	Wärme- erzeu- gungs- kosten EUR/MWh	Stromverbrauch			el. Anschluss- leistung MW
				Gesamt	Eigen- strom	Netz- strom	
				MWh			
V 0	Elektrokessel	--	50	2.000	1.660	340	1,80
V 1	LWS + E-Kessel	--	53	900	730	170	1,60
V 2.1	WP an ZKA (0,2 MW) + E-Kessel	--	62* / 37**	1.210	1.000	210	1,66
V 2.2	WP an ZKA (0,4 MW) + E-Kessel	--	57* / 32**	790	670	120	1,51
V 2.3	WP an Alte Lune (0,2 MW) + E-Kessel	--	37	1.290	1.070	220	1,67
V 2.4	WP an Alte Lune (0,4 MW) + E-Kessel	--	32	910	780	130	1,55
V 3	Tiefengeothermie + E-Kessel	--	185	70	50	20	1,24
	Tiefengeothermie + E-Kessel	50%	113	70	50	20	1,24
	Tiefengeothermie + E-Kessel	75%	77	70	50	20	1,4
	Tiefengeothermie + E-Kessel	100%	41	70	50	20	1,4

* inkl. Kosten Abwärme + Netz (ohne Förderung für das Netz)

** inkl. Kosten Abwärme, ohne Netzkosten

Quelle: Fraunhofer IFAM

Die Ergebnisse lassen folgende Schlüsse zu:

- Die niedrigsten Wärmeerzeugungskosten weisen die Varianten mit Wärmepumpen auf, wenn die Netzkosten nicht berücksichtigt werden.
- Wenn die Netzkosten für den Anschluss der Wärmepumpe berücksichtigt werden, sind die Wärmekosten rund 8 % höher als in der Variante mit LWS (Variante 2.2 gegenüber Variante 1)
- Sofern die Bereitschaft besteht, die Vorinvestitionen in die Anschlussleitung an die ZKA zu tätigen, wäre Variante 2.2 zu favorisieren, da die Wärmepumpe mit der Abwärme der ZKA effizienter betrieben werden kann als bei Nutzung der Alten Lune.
- Im Fall der Alten Lune könnten Umweltaspekte gegen eine Realisierung sprechen bzw. der genehmigungstechnische Aufwand könnte ein relevantes Hindernis darstellen.
- Die Varianten 0 und 1 haben vergleichbare Wärmeerzeugungskosten.
- In der Variante 0, bei der nur ein Elektrokessel eingesetzt wird, wird deutlich mehr Strom für die Wärmebereitstellung benötigt. In dieser Variante sind auch die elektrische Anschlussleistung und der Verbrauch von Netzstrom am höchsten.
- Die Einbindung der Tiefengeothermie führt im ersten Bauabschnitt zu einem sehr geringen Stromverbrauch für die Wärmebereitstellung.
- Die Variante 3 hat durch die Einbindung der Tiefengeothermie Wärmeerzeugungskosten, die deutlich über denen der anderen Varianten liegen.

- Erst wenn die Investitionskosten für die Herstellung der Wärmesonden zu 100 % gefördert würden, sollte diese Variante in Betracht gezogen werden, da dann vergleichbare Wärmeerzeugungskosten erreicht werden könnten.
- Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers kann nur durch eine Betrachtung unter Berücksichtigung der der Strommarktpreise beurteilt werden.
- Alle ermittelten Wärmekosten sind erste Schätzwerte. Vor einer Investitionsentscheidung, sollten die Varianten unter Berücksichtigung der variablen Stromkosten und der dann vorteilhafteren Wärmespeicher einer detaillierteren Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen werden.

Der Einsatz der Tiefengeothermie hängt in hohem Maße von einer Förderung der Tiefengeothermiebohrung ab. Da wahrscheinlich auch für die Nutzung von Abwärme mittels Latentwärmespeichern eine Förderung möglich ist, wird die Entscheidung für das eine oder andere System von den jeweiligen Förderkonditionen abhängen. Ebenfalls zu beachten ist, dass es auch für die anderen Wärmeerzeugungstechnologien sowie Wärmenetze Förderprogramme gibt, die die Wirtschaftlichkeit beeinflussen.

5.3 Nachhaltiger Verkehr

Neben der Energieversorgung ist eine umweltfreundliche Mobilität ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung eines nachhaltigen Gewerbegebietes. Hierbei sollten alle Formen der Mobilität berücksichtigt werden und neben dem Personenverkehr auch der Güterverkehr in die Verkehrsplanung einbezogen werden.

5.3.1 Nachhaltiger Individualverkehr

Hinsichtlich des Personenverkehrs spielt beim Individualverkehr neben dem motorisierten Individualverkehr, meist mittels PKW, auch der Radverkehr und der Fußverkehr eine wichtige Rolle. Im Fall des Gewerbegebietes ist zu erwarten, dass viele dort Beschäftigte für ihren Weg zum Arbeitsplatz den Privat-PKW nutzen werden. Um den Arbeitsweg möglichst nachhaltig zu gestalten, sollte unnötiger Verkehr soweit wie möglich vermieden werden. Ein Ansatz ist hierbei die Konzentration der Parkmöglichkeiten auf Gemeinschafts-/Sammelparkplätzen, die von den umliegenden Gebäuden gut fußläufig zu erreichen sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des PKW-Verkehrs ist die Bildung von Fahrgemeinschaften. Hier könnte die Einrichtung einer Mitfahrerbörse im Gebiet ein interessanter Ansatz sein.

Zukünftig wird der Anteil der elektrisch betriebenen PKW zunehmen. Daher sollte für diese Fahrzeuge auf den Sammelparkplätzen eine ausreichende Zahl von Ladestationen vorgesehen werden. Hier wäre zu prüfen, ob die Errichtung überdachter Parkplätze mit integrierten PV-Anlagen eine - auch optisch – interessante Möglichkeit wäre. Für Besucher und Lieferanten, die sich nur kurz in dem Gebiet aufhalten, könnte die Bereitstellung von Schnellladestationen einen Anreiz bieten, für die Fahrt zum Gewerbegebiet ein Elektrofahrzeug zu nutzen. Günstige Standorte für Schnellladestationen könnten Sammelparkplätze, aber auch Standorte in der Nähe der Nahversorgungseinrichtungen bzw. der gemeinschaftlich genutzten Einrichtungen sein. Im Zuge der Ansiedlung von Unternehmen könnten diese zudem zur Einrichtung von Ladeinfrastruktur für Mitarbeiterladen motiviert werden.

Aktuell gibt es Überlegungen zur Errichtung einer Elektrolyseanlage für die Erzeugung von Wasserstoff aus überschüssigem Windstrom. Dieser soll zunächst vorzugsweise für gasbetriebene Busse genutzt werden, die auch Wasserstoff mit geringerem Reinheitsgrad nutzen können (siehe Kapitel 5.3.2). Es bietet sich aber auch an, in einer mittelfristigen Perspektive in dem Gewerbegebiet eine Tankmöglichkeit für Brennstoffzellenfahrzeuge einzurichten. Diese sollte für eine gute Zugänglichkeit nach Möglichkeit im Bereich der öffentlichen bzw. Gemeinschaftsgebäude („Commons“) platziert werden. Die Kosten für eine Wasserstofftankstelle liegen je nach Leistung zwischen 1 und 4 Mio. EUR [Qin, Brooker 2014], [WN 2016].

Das Gewerbegebiet sollte zudem gut für den Radverkehr erschlossen werden. Im Prinzip ist die Luneplate bereits an das Radwegenetz der Stadt Bremerhaven angebunden (siehe Abbildung 2-6). Allerdings bieten die entsprechenden Zuwegungen noch Verbesserungspotenzial [BPW 2017]. Auch sollte bei der Erschließung des Gebiets auf eine nutzerfreundliche Gestaltung der Radwege geachtet werden. Sichere Abstellmöglichkeiten sind sowohl für herkömmliche Fahrräder, aber in noch höherem Maß für Elektrofahrräder ein wichtiger Aspekt. Der Anteil der Elektrofahrräder hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen und es ist sehr wahrscheinlich, dass Personen, die in einem nachhaltigen Gewerbegebiet arbeiten, diese Art der Mobilität häufiger wählen. Deshalb wird empfohlen, Lademöglichkeiten für E-Bikes und Pedelecs zu schaffen.

Es ist vorgesehen, in dem Gebiet in zwei Bereichen öffentliche Einrichtungen bzw. gemeinschaftlich genutzte Gebäude zu errichten. Die Fußwege sollten so gestaltet werden, dass diese Einrichtungen möglichst fußläufig zu erreichen sind und der Weg dorthin attraktiv gestaltet wird, z. B. durch ansprechende Bepflanzungen.

5.3.2 Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Das Gewerbegebiet Luneplate ist bislang noch nicht an den ÖPNV angeschlossen (siehe Kapitel 0). Allerdings gibt es seitens Bremerhaven Bus bereits Planungen zur Verlängerung der bestehenden Buslinien in das Gewerbegebiet hinein. Die Linien würden dann eine direkte Verbindung zum Bremerhavener Hauptbahnhof bilden. Es wird angestrebt, dass diese Buslinie durch Busse mit Gasantrieb bedient wird. Zudem könnten diese Busse neben Erdgas auch Wasserstoff als Treibstoff nutzen. Im Zusammenspiel mit der geplanten Elektrolyseanlage kann hier eine attraktive Form des nachhaltigen Busverkehrs etabliert werden. Sofern der Betrieb erster Busse erfolgreich verläuft, könnte dieses Konzept auch auf weitere Bereiche des Bremerhavener ÖPNV ausgedehnt werden.

Überschlägige Rechnungen zeigen, dass bei einer Zumischung von 10 % Wasserstoff (energetischer Anteil) für einen Bus mit einer jährlichen Fahrleistung von ca. 50.000 km rund 15 MWh Wasserstoff benötigt würden.⁸ Für die Herstellung des Wasserstoffs müssten rund 21 MWh Strom eingesetzt werden. Bei einem Potenzial von ca. 40 GWh/a ist dies eine vergleichsweise vernachlässigbare Menge.

Die Nutzung des ÖPNV-Angebots zur Erreichung des Gewerbegebietes könnte auch durch ein Informationssystem intensiviert werden, das alle Mobilitätsformen des öffentlichen Verkehrs einschließt, u. a. auch den Bahnverkehr. Hierbei handelt es sich natürlich nicht um eine spezielle Maßnahmen im Zuge der Erschließung der Luneplate, sie könnte aber die nachhaltige Mobilität im neuen Gewerbegebiet befördern.

5.3.3 Güterverkehr

Im Zuge der Planung des Gewerbegebietes gibt es kaum Möglichkeiten einer Steuerung in Richtung eines nachhaltigen Güterverkehrs. Schnelladestationen könnten zwar mittelfristig für elektrisch betriebene Lieferwagen eine interessante Infrastruktur sein. In der Perspektive bis 2035, dem zugrunde gelegten Planungshorizont für das Gesamtgebiet, wird deren Anteil am Lieferverkehr jedoch eher gering sein.

Wie in der Untersuchung von [BPW 2017] aufgezeigt, verläuft am Rande des Gebietes eine ungenutzte Schienentrasse. Auch sieht der Bebauungsplan „429 Luneort“ eine Anbindung der Fläche durch Gleise vor. Derzeit ist jedoch unklar, ob diese realisiert wird. Falls dies erfolgen sollte, bestünde die Chance, einen nennenswerten Teil des Lieferverkehrs von der Straße auf die Schiene zu verlagern und so einen signifikanten Beitrag zum nachhaltigen Güterverkehr zu leisten.

⁸ Lt. Statistik 2016 legt ein Bus in Bremerhaven durchschnittlich gut 49.000 km pro Jahr zurück. Der Treibstoffverbrauch wurde mit 30 Liter Diesel je 100 km bzw. 3 kWh/100 km angenommen.

6 Fazit und Zusammenfassung

Die Stadt Bremerhaven strebt die Realisierung eines grünen Gewerbegebietes auf der Luneplate an. Die Erschließung soll in fünf Bauabschnitten bis 2035 erfolgen. Als Kennzeichen eines grünen Gewerbegebietes liegt ein besonderes Augenmerk auf der Energiebereitstellung, die zu einem möglichst hohen Anteil durch erneuerbare Energien erfolgen soll.

Ziel dieser Studie ist die Erstellung eines Energiekonzeptes für das geplante Gewerbegebiet. Zum einen für den Fall, dass nur der erste Bauabschnitt erschlossen wird, zum anderen für das gesamte Gebiet. Alle Betrachtungen wurden für beide Fälle gemacht.

Zunächst wurde ein wahrscheinlicher zukünftiger Branchenmix ermittelt und den zurzeit geplanten Gebäuden zugeordnet. Schließlich wurde für jedes Gebäude anhand der zugeordneten Branche sowohl der Strom- als auch der Wärmeverbrauch ermittelt (Kapitel 3). Der Stromverbrauch im ersten Bauabschnitt kann bei dem angenommenen Branchenmix 1,4 GWh/a betragen, mit einer Spitzenlast von 540 kW. Für das Gesamtgebiet ergibt sich ein Stromverbrauch in Höhe von 14,1 GWh/a bei einer Spitzenlast von 5,5 MW. Der Wärmeverbrauch für den Bauabschnitt I wird auf 1,9 GWh/a bei einer Spitzenlast von 1,1 MW und der für das Gesamtgebiet wird auf 18,5 GWh/a bei einer Spitzenlast von 11,7 MW geschätzt.

Zur Deckung dieser Verbräuche wurden in Kapitel 4 die Potenziale der Erneuerbaren Energien betrachtet. Der Fokus lag auf den Quellen Photovoltaik, Tiefengeothermie, Windenergie sowie Abwärmepotenzialen aus angrenzenden Bereichen. Zur Abpufferung von Lastspitzen und in Zeiten zu geringer Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien wurde der Einsatz von Speichern betrachtet.

Die Betrachtungen haben ergeben, dass die Deckung des Strombedarfs durch PV und Windenergie bilanziell über ein Kalenderjahr möglich ist. Die Stromerzeugung durch PV-Dachanlagen wird für das Gesamtgebiet auf 17,8 GWh/a und für den ersten Bauabschnitt auf 1,4 GWh/a abgeschätzt. In unmittelbarer Nähe des Gewerbegebietes steht eine 8 MW-Windkraftanlage, die jährlich bis zu 23 GWh Strom erzeugt. Eine zeitliche Überlagerung von Strombereitstellung und –nachfrage ergibt, dass in ca. 2.150 Stunden im Jahr der Stromverbrauch im gesamten Gewerbegebiet nicht durch PV und Wind direkt aus dem Gebiet gedeckt werden kann. Das entspricht einem Stromdefizit von Höhe von 1,9 GWh/a. Ein Stromspeicher mit einer Kapazität von 10 MWh würde zu einer Verringerung des Defizits auf 1,2 MWh/a führen, mit einem größeren Speicher würde das Defizit kaum noch weiter abnehmen. Die optimale Größe eines Stromspeichers müsste jedoch unter Berücksichtigung der Börsenstrompreise in einer weiteren Untersuchung betrachtet werden. Eine komplette Autarkie des Gebietes ist nicht darstellbar.

Zur Bereitstellung der Wärme wurden verschiedene Wärmequellen untersucht. Im Rahmen eines Workshops wurde festgelegt, dass die Versorgung in jedem Fall über ein Wärmenetz erfolgen soll. Dezentrale Wärmeversorgungslösungen wurden deshalb nicht weiter betrachtet. Konkret wurden die Potenziale der Tiefengeothermie, die Weser bzw. die Alte Lune in Kombination mit einer Wärmepumpe, die Nutzung von Abwärme aus der Zentralkläranlage, Abwärme von Unternehmen aus dem Fischereihafen sowie die Abwärme des Müllheizkraftwerks in Kombination mit Latentwärmespeichern ermittelt. Sowohl die Nutzung der Weser als auch die Erschließung der Abwärme von Unternehmen aus dem Fischereihafen wurden für die Wärmeversorgung der Luneplate nicht weiter verfolgt. In beiden Fällen sind zwar Potenziale vorhanden, allerdings ist die Entfernung zum Gewerbegebiet so groß, dass die Leitungskosten zu hoch wären.

Die Potenzialen für die Strom- und Wärmeversorgung wurden in Kapitel 5 zu einem möglichen Energieversorgungskonzept für die Luneplate zusammengestellt. Zudem wurden die jeweiligen Wärmeerzeugungskosten ermittelt. Für jede Variante wurde zusätzlich der Stromverbrauch errechnet und der Eigenstromanteil wurde ausgewiesen.

Für die Versorgung des Gesamtgebietes wurden zwei Varianten betrachtet, für die Bereitstellung der Grundlast wurde entweder die Tiefengeothermie oder die Nutzung der Abwärme des Müllheizkraftwerkes mittels Latentwärmespeicher betrachtet. In beiden Varianten wurden das Abwasser aus der Zentralkläranlage als Wärmequelle in Kombination mit einer Wärmepumpe sowie ein Elektrokessel als Spitzenlastkessel berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Betrachtungen für das Gesamtgebiet zeigen, dass

- in beiden Varianten zur vollständigen Deckung des Wärmeverbrauchs die Nutzung von Netzstrom erforderlich ist und hierfür etwa 6 GWh/a benötigt werden;
- die Tiefengeothermie einen etwas größeren Beitrag zur Wärmebereitstellung leistet als der Einsatz der Latentwärmespeicher zur Nutzung der Abwärme des Müllheizkraftwerkes;
- mit der Tiefengeothermie etwas weniger Strom für die Wärmebereitstellung erforderlich ist;
- die Wärmekosten ohne Förderung bei Einsatz des Latentwärmespeichers deutlich günstiger sind als die des Systems mit Tiefengeothermie;
- die Variante mit Tiefengeothermie erst bei Förderquoten von mindestens 75 % vergleichbare Wärmeerzeugungskosten wie die Variante mit Latentwärmespeicher aufweist;
- Wärmepumpen von max. 6 MW Leistung für das Gebiet vorzusehen sind;
- die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers, sowie die genauere Wirtschaftlichkeit von allen Wärmeerzeugungsoptionen nur durch eine Betrachtung unter Berücksichtigung der Strommarktpreise beurteilt werden kann.

Für den Fall, dass nur der erste Bauabschnitt realisiert wird, wurden sieben Varianten betrachtet. In allen wird ein Elektrokessel zur Deckung der Spitzenlast eingesetzt. Die Grundlast wird durch unterschiedliche Wärmequellen bereitgestellt, betrachtet wurden Latentwärmespeicher zur Nutzung der Abwärme aus dem Müllheizkraftwerk, eine Wärmepumpe an der Zentralkläranlage, eine Wärmepumpe in der Alten Lune sowie die Tiefengeothermie. In einer Variante übernimmt der Elektrokessel die komplette Wärmeerzeugung.

Die Ergebnisse der Betrachtungen für den ersten Bauabschnitt zeigen:

- Die niedrigsten Wärmeerzeugungskosten weisen die Varianten mit Wärmepumpen auf, wenn die Netzkosten nicht berücksichtigt werden.
- Wenn die Netzkosten für den Anschluss der Wärmepumpe (Anbindung, welche für weitere Bauabschnitte benötigt würde) berücksichtigt werden, sind die Wärmekosten rund 8 % höher als in der Variante mit Latentwärmespeichern.
- Sofern die Bereitschaft besteht, die Vorinvestitionen in die Anschlussleitung an die Zentralkläranlage zu tätigen, wäre diese Variante zu favorisieren, da die Wärmepumpe mit der Abwärme der Zentralkläranlage effizienter betrieben werden kann als bei Nutzung der Alten Lune.
- Im Fall der Alten Lune könnten Umweltaspekte gegen eine Realisierung sprechen bzw. der genehmigungstechnische Aufwand könnte ein relevantes Hindernis darstellen.
- Die Varianten in der lediglich der Elektrokessel bzw. in der zusätzlich der Latentwärmespeicher eingesetzt wird, haben vergleichbare Wärmeerzeugungskosten.
- In der Variante, in der nur ein Elektrokessel eingesetzt wird, wird deutlich mehr Strom für die Wärmebereitstellung benötigt. In dieser Variante sind auch die elektrische Anschlussleistung und der Bedarf an Netzstrom am höchsten.
- Die Einbindung der Tiefengeothermie führt im ersten Bauabschnitt zu einem sehr geringen Strombedarf für die Wärmebereitstellung.
- Durch die Einbindung der Tiefengeothermie ergeben sich Wärmeerzeugungskosten, die deutlich über denen der anderen Varianten liegen.

- Erst wenn die Investitionskosten für die Erstellung der Wärmesonden zu 100 % gefördert würden, sollte diese Variante in Betracht gezogen werden, da dann vergleichbare Wärmeerzeugungskosten erreicht werden könnten.
- Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers kann nur durch eine Betrachtung unter Berücksichtigung der Strommarktpreise beurteilt werden.

Für sämtliche Betrachtungen in Kapitel 5 gilt, dass alle ermittelten Wärmekosten erste Schätzwerte sind. Vor einer Investitionsentscheidung sollten die Varianten unter Berücksichtigung der variablen Stromkosten und der dann vorteilhaften Wärmespeicher einer detaillierteren Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen werden. Ebenfalls ist zu beachten, dass es neben den Fördermöglichkeiten für Tiefengeothermie auch für die anderen Wärmeerzeugungstechnologien sowie für Wärmenetze und –speicher Förderprogramme gibt, die die Wirtschaftlichkeit beeinflussen.

Das vorliegende Energiekonzept beruht auf den genannten Annahmen zum Branchenmix sowie auf der Annahme, dass kein Gasnetz vorhanden sein wird. Prozesswärmebedarf, der nur durch fossile Energien gedeckt werden kann, wird im Rahmen dieses Konzeptes nicht berücksichtigt. Für Unternehmen, die zwingend auf einen Gasanschluss angewiesen sind, könnte diese Annahme ein Ausschlusskriterium für eine Ansiedlung sein, sofern keine Alternativlösung wie z. B. der Einsatz alternativer Produktionstechnologien gefunden werden kann. Für nachhaltig arbeitende Unternehmen könnte jedoch gerade der Verzicht auf fossile Energien ein Argument für die Ansiedlung sein.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass das erarbeitete Energiekonzept angesichts vieler noch offener Fragen einen Rahmen darstellt und die Möglichkeit einer nachhaltigen (fast) 100 %igen Versorgung mit erneuerbaren Energien aufzeigt. Die erarbeiteten Konzepte müssen im Zuge der weiteren Planung konkretisiert werden, zum Teil sind weiterführende Untersuchungen unerlässlich, an den jeweiligen Stellen wurde auf den weiteren Untersuchungsbedarf hingewiesen. Auch kann es erforderlich sein, Anpassungen aufgrund aktueller Entwicklung z. B. aufgrund von Ansiedlungen besonders energieintensiver Unternehmen vorzunehmen.

Literaturverzeichnis

- BEG 2018 Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH (BEG), persönliche Mitteilung, 17.05.2018
- BEG ZKA 2018 Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft mbH (BEG), Verfahrensschema Zentralkläranlage (ZKA),
Quelle:
<http://beg-bhv.de/kommunen/leistungen/klaeranlagen/schema-der-zentralklaeranlage>
Zugriff: 12.07.2018
- Berliner Netzwerke 2012 Berliner Wasserbetriebe, Heizen und Kühlen mit Abwasser
Quelle: <http://www.bwb.de/content/language1/html/14317.php>
Zugriff 05.07.2018
- BIS 2017 BIS, Green Economy Bremerhaven, Erarbeitung eines Energiekonzeptes für ein „grünes“ Gewerbegebiet auf der Luneplate (Entwurf), November 2017
- BPW 2017 BPW baumgart+partner; Stadt- und Regionalplanung: Standort- / Bedarfsanalyse Gewerbegebiet Luneplate; Stand Juli 2017
- Brand, Sperber 2018 Brand, W., Sperber, A., Studie zur Nutzung Tiefer Geothermischer Energie am Standort des Gewerbe- und Industriegebietes Luneplate, Januar 2018
- Brandstät et al. 2018 Brandstät, C., Gabriel, J., Jahn, K., Peters, F., Innovation Energiespeicher - Chancen der deutschen Industrie, to be published by Hans-Böckler-Stiftung
- Bremerhaven Bus 2018 Bremerhaven Bus, 2018, Liniennetzplan
Quelle: <https://bremerhaven-bus.de/fileadmin/downloads/netzplaene/20161116/liniennetzplan.pdf>
Zugriff: 12.07.2018
- BremLBO 2009 Gesetz zur Neufassung der Bremischen Landesbauordnung und Änderung des Bremischen Ingenieurgesetzes vom 6. Oktober 2009 (BremGBl. S.401)
- BWE 2010 Bundesverband WindEnergie (BWE), Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen, Dezember 2010
- cityförster 2017 cityförster architecture + urbanism: Lune Delta°...im Kreislauf konzipiert
Quelle:
https://www.cityfoerster.net/projekte/lune_delta_im_kreislauf_konzipiert-198.html?lng=1
Zugriff: 29.05.2018
- DWD 2017 Deutscher Wetterdienst, Testreferenzjahre (TRY)
Quelle:
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html>
Zugriff: 27.02.2018
- Erlebnis Bremerhaven 2017 Erlebnis Bremerhaven Gesellschaft für Touristik, Marketing und Veranstaltungen mbH, Rauf aus Rad und ab ins Grüne – Grüne Wege und Orte, 2017
- Fh ISE 2018 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, März 2018
Quelle: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und->
-

	<p>medien/presseinformationen/2018/studie-zu-stromgestehungskosten-photovoltaik-und-onshore-wind-sind-guenstigste-technologien-in-deutschland.html Zugriff: 24.05.2018</p>
Fh ISI 2016	<p>Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2013 bis 2015 mit Aktualisierungen der Anwendungsbilanzen der Jahre 2009 bis 2012, Karlsruhe, September 2016</p>
GEG 2017	<p>Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Referentenentwurf), Stand 13.01.2017</p>
Gohl, Schut 2002	<p>Gohl, K. D., & Schut, E. W., Seismische Untersuchungen am Salzstock Dedesdorf, Ergebnisbericht. Bremerhaven Quelle: entnommen aus: Dipl. Ing. W. Brandt: Geothermie Consulting - Engineering - Supervision, Dipl. Ing. Axel Sperber: IDEAS Ing.-Büro Sperber im Auftrag von BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung: Studie zur Nutzung Tiefer Geothermischer Energie am Standort des Gewerbe- und Industriegebietes Luneplate, 2002</p>
IKS 2014	<p>Scheele, U., Schaal, P., Mose, I., Brummer, V., Kramer, M., Oberdörffer, J., Badewien, S., Integriertes Klimaschutzkonzept Regionalforum Bremerhaven, September 2014</p>
Norddeutsche Steingut 2018	<p>Norddeutsche Steingut AG, Persönliche Mitteilung, 22.06.2018</p>
Nordfrost 2018	<p>Nordfrost* GmbH & Co. KG, persönliche Mitteilung, 01.06.2018</p>
NOW 2011	<p>Smolinka, T., Günther, M. (Fraunhofer ISE), Garcke, J. (FCBAT), Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien, Stand 05.07.2011</p>
prognos, ewi, gws 2014	<p>Prognos AG, EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, GWS – Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforschung, Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose, Basel/Köln/Osnabrück, Juni 2014</p>
Qin, Brooker 2014	<p>Qin, N., Brooker, P., Hydrogen Fueling Stations Infrastructure, März 2014</p>
SUBV 2018	<p>Wasserbehörde des Bremer Senators für Umwelt, Bau und Verkehr, persönliche Mitteilungen, 02.07.2018</p>
VDEW 2000	<p>Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V., Zuordnung der VDEW-Lastprofile zum Kundengruppenschlüssel, Frankfurt am Main August 2000</p>
wesernetz 2018	<p>wesernetz, Das Gasverteilnetz der wesernetz Bremerhaven GmbH & Co.KG Quelle: https://www.wesernetz.de/netznutzung/bremerhaven/gasnetz/gasnetzkarte Zugriff: 25.04.2018</p>
WN 2016	<p>Westfälische Nachrichten, Der Treibstoff der Zukunft – Erste Wasserstofftankstelle des Münsterlandes eröffnet, 06.07.2018 Quelle: http://www.wn.de/Muenster/2016/09/2549458-Erste-Wasserstofftankstelle-des-Muensterlandes-eroeffnet-Der-Treibstoff-der-Zukunft Zugriff: 24.05.2018</p>
