

100 | prozent
erneuerbar
stiftung



**Powiat
Hajnowski**

Juni 2023

Renewable Power-to-Heat in Hajnówka

Machbarkeitsstudie zum Umstieg des Wärmenetzes von Kohle hin zu Erneuerbaren Energien in der Stadt Hajnówka, Polen.

Gefördert durch



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



Europäische
Klimaschutzinitiative
EUKI

Impressum

Diese Studie wurde im Rahmen des EUKI-Projekts "Renewable Power-to-Heat in Hajnówka" (Projektnummer: 72.3024.6-003.02) erarbeitet. Das Projekt wurde von der europäischen Klimainitiative (EUKI) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Die in diesem Beitrag geäußerten Meinungen liegen in der Verantwortung der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Meinung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz wider.
Projektzeitraum: 08/2021-06/2023

Mehr Informationen unter

<https://100-prozent-erneuerbar.de/>

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

<https://samorzad.gov.pl/web/powiat-hajnowski/>

Projektleitung und Herausgeber:

100 prozent erneuerbar stiftung
Torstraße 178
10115 Berlin, Deutschland
Tel.: +49 [0] 30 240 876 090
info@100-prozent-erneuerbar.de

Erstellung durch Mitarbeit von

Harald Uphoff (100 prozent erneuerbar stiftung)
Tibor Oestereich (100 prozent erneuerbar stiftung)
Lucyna Lewczuk (Powiat Hajnowski)
Martin Rühl (Rühl Consult)
Gottfried Adelberger (Ochsner Process Energy Systems GmbH)
Karl Ochsner (Ochsner Process Energy Systems GmbH)
Lutz Ribbe (Politische Beratung)
Daniel Raczkiewicz (Energynat Solutions)

Kontaktdaten der beauftragten Organisationen

Energynat Solutions
ul. Tadeusza Kościuszki 40a
05-270 Marki, Poland
dr@energynat.pl

Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Spółka z o.o.
Ul. Łowcza 4
17-200 Hajnówka, Poland
biuro@pec.hajnowka.pl

Kooperationspartner:

Powiat Hajnowski.
Aleksego Zina 1
17-200 Hajnówka, Poland
Tel.: +48 [0] 85 682 27 18
starostwo@powiat.hajnowka.pl

Arkadiusz Mikołajczyk (Energynat Solutions)
Marcin Rudnik (Energynat Solutions)
Prof. Dr. Piotr Banaszuk (Technische Universität Białystok
Bauingenieurwesen und Umweltingenieurwissenschaften)
Dr. Piotr Kondratiuk (Technische Universität Białystok –
Fakultät für Bauingenieurwesen und
Umweltingenieurwissenschaften)
Dariusz Link (Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej
Sp. z o.o. w Hajnówce)

Ochsner Process Energy Systems GmbH
Burgwallstrasse 40
4060 Linz-Leonding, Österreich
ochsner@processenergysystems.com

Rühl Consult
Hinter den Heyhöfen 4
34132 Kassel, Deutschland
martin_ruehl@web.de

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Energiemarkt Polen – Steuern, Umlagen, Abgaben	2
3.	Region Hajnówka.....	6
3.1.	Geologische und hydrogeologische Bedingungen	7
3.1.1.	Rechtliche Voraussetzungen für die Durchführung geologischer Arbeiten	7
3.2.	Sozioökonomische Informationen	7
3.3.	Klima der Region	8
3.4.	Wärmenetz der Stadt – aktueller Stand.....	9
3.4.1.	Netztemperaturen - Schwankungsbereich.....	11
3.4.2.	Messung der tatsächlichen Netztemperaturen	12
4.	Wärmepumpenkonzept	12
4.1.	Wärmequellen	15
4.1.1.	Grundwasser	15
4.1.2.	Abwasser	15
4.1.3.	Sonstige Quellen	16
4.2.	Wärmepumpenstationen	16
5.	Strombedarfsdeckung der Wärmepumpen durch Erneuerbare Energien	18
5.1.	Ermittlung des Strombedarfs.....	18
5.2.	Ermittlung der erforderlichen Leistung EE zur Deckung des Strombedarfs	21
6.	Wirtschaftlichkeitsrechnung	23
6.1.	Investitionskosten.....	23
6.2.	Kosten der Energieerzeugung.....	24
6.3.	Zukünftiger Wärmepreis.....	25
6.3.1.	Annahmen Strompreise	25
6.3.2.	Szenarien	25
6.3.3.	Vergleich der Betriebs- und Verbrauchskosten (ohne CO2-Kosten)	26
6.3.4.	Vergleich der Wärmepreise für die Szenarien (mit CO2-Preis)	27
7.	CO2 Reduktion.....	29
8.	Auswirkungen auf die Region	30
8.1.	Verbesserung der Luftqualität	32
8.2.	Hajnówka als Vorreiter	32
8.3.	Auswirkungen auf lokalen und regionalen Arbeitsmarkt	32
9.	Fazit und Empfehlungen für eine potenzielle Umsetzung	33
I.	Quellenverzeichnis.....	35
II.	Anhang	37

Glossar

Ca ²	Calcium
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of performance,
EEA	European Enviroment Agency
EUA	European Union Allowance
EUKI	Europäischen Klimaschutzinitiative
GJ	Gigajoule
Kw	Kilowatt
KWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Koppelung
Mg ²	Magnesium
Mval	Mikroval
MWh	Megawattstunde
MWhel	Megawattstunden elektrisch
NECP	National energy and climate plans
PEC Hajnówce	Heizwerke von Hajnówka
PGG	Prawo geologiczne i górnice
PLN	Polnische Zloty
PV	Photovoltaik
RES	Renewable Energies Systems
ROP	regionalen operationellen Programme
To	Tonne
WP	Wärmepumpe

1. Einleitung

Die Treibhausgasintensität der Stromerzeugung ist nach Angaben der europäischen Umweltagentur (EEA 2022) in den letzten Jahren sowohl in Europa als auch speziell in Polen gesunken. Noch 2010 wies Polen zusammen mit Griechenland und Estland die höchste Intensität auf. Dagegen sind im Wärmesektor keine vergleichbaren Fortschritte zu erkennen (Forum Energii 2019).

Die 100 Prozent erneuerbar stiftung möchte in dem Förderprojekt „Renewable Power-to-Heat in Hajnówka“ dieses Problem in einer Pilotregion in Ostpolen angehen. Gemeinsam mit Partnern vor Ort und in Europa wird eine innovative Lösung vorgeschlagen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Dekarbonisierung hat und gleichzeitig die Integration des Energiesystems vorantreiben wird: der Einsatz von Strom aus Erneuerbaren Energien zur Erzeugung von Wärme (renewable power to heat).

Die Idee ist, ein Energiekonzept zu entwickeln, bei dem Strom aus regionalen Wind- und Solaranlagen für Großwärmepumpen genutzt werden kann, um Kohle im bestehenden Fernwärmesystem in Hajnówka¹ (Kreis und Stadt) zu ersetzen. Das Konzept soll als Machbarkeitsstudie dienen, die dann als Basis für die Ausführungsplanung zur Entwicklung eines vollständig erneuerbaren und nahezu vollständig dekarbonisierten integrierten Fernwärmesystems in dieser Region dient.

Das von der Europäischen Klimaschutzinitiative (EUKI) finanziell geförderte Projekt zielt darauf ab, eine Grundlage für öffentliche und private Investitionen zu schaffen. Es besteht zudem die Chance, dass Gelder aus dem Europäischen Konjunkturprogramm für die Realisierung der Dekarbonisierung des Fernwärmesystems im Powiat Hajnówka aktiviert werden können.

Das Beispiel von Hajnówka soll hierbei einen Leuchtturm-Effekt haben und als Best Practice in Polen dienen, aufgrund der guten Übereinstimmung mit dem National energy and climate plans (NECP), aber auch in anderen EU-Mitgliedsstaaten bekannt werden.

Das derzeitige Fernwärmesystem in Hajnówka im Osten Polens stützt sich in hohem Maße auf eine zentrale Kohlefeueungsanlage und arbeitet auf einem hohen Temperaturniveau (130 Grad Celsius). Die Hauptwärmequelle wird von einem regionalen Unternehmen betrieben, das auf Kohle-, Öl- und Biomasseheizungen spezialisiert ist. Das Wärmenetz betreibt ein lokales Unternehmen, das auch als Verkäufer von Wärme an die Endkunden fungiert.

Dieses Fernwärmesystem ist sehr CO₂-intensiv, was auch daran liegt, dass in der Kohlefeueungsanlage hauptsächlich minderwertige Kohle mit einem geringen Energiegehalt verfeuert wird.

Der Bezirk Hajnówka birgt ein großes Potenzial für den Einsatz Erneuerbarer Energien, insbesondere für Windenergie und Photovoltaik und somit für die Dekarbonisierung der Region. Dieses Potenzial ist heute noch ungenutzt (EFV 2018). Die derzeitige polnische Regulierung eröffnet nach einer Zeit der Stagnation und Investitionsunsicherheit die Möglichkeit Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien in der Region zu installieren.

Als diese Analyse erstellt wurde, galt in Polen noch eine 10H-Abstandsregelung für Windenergieanlagen². Diese Machbarkeitsstudie zeigt auf, dass es grundsätzlich technisch und wirtschaftlich möglich ist, das

¹ Die Stadt Hajnówka liegt am Rande des UNESCO – Weltnaturerbes und Biosphärenreservates des Białowieża-Nationalparks. Bei diesem Park handelt es sich um einem der letzten natürlichen Urwälder Europas. Der Nationalpark ist auch die Heimat von Wisenten. Alle auf der Welt lebenden Exemplare lassen sich auf diese Region zurückverfolgen.

² Der Abstand zwischen Windenergieanlagen und Wohngebäuden in Bebauungsgebieten oder bebauten Ortsteilen musste mindestens die zehnfachen Gesamthöhe betragen. Die Gesamthöhe setzt sich aus Nabenhöhe und Rotorradius der Anlage zusammen. Das würde zum Beispiel bedeuten, dass für eine Windenergieanlage mit einer Höhe von 200 Meter, der Mindestabstand zu Wohngebäuden zwei Kilometer betragen müsste.

Fernwärmenetz der Stadt Hajnówka mit Großwärmepumpen und Erneuerbaren Energien zu betreiben. Die Machbarkeitsstudie ersetzt keine detaillierte Ausführungsplanung. Abstandsregelungen für Windenergieanlagen oder auch andere rechtliche Rahmenbedingungen, hinsichtlich der Förderung von Grundwasser als Wärmequelle oder auch zur Bürgerbeteiligung sollten in einer projektbegleitenden Umsetzungsplanung berücksichtigt werden.

2. Energiemarkt Polen – Steuern, Umlagen, Abgaben

Durch die steigenden Strompreise am Markt und dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine erhält der Begriff „Energieautarkie“ eine neue Bedeutung. Immer mehr lokale Gemeinden in Polen entscheiden sich dafür, in ihre eigene dezentrale EE-Erzeugung zu investieren. Diese Lösungen, die auf dem Gelände der lokalen Gemeinde installiert werden, versorgen ihre Verbraucher mit Strom und tragen zur Energiesicherheit bei.

Die überwiegende Mehrheit der EE-Anlagen werden im Rahmen der regionalen operationellen Programme (ROP) in Projekten für lokale Behörden mit bis zu 85 Prozent subventioniert³. Angeregt durch die sektorale Integrationspolitik der Europäischen Union beziehen die ROPs der einzelnen Woiwodschaften auch zunehmend Erneuerbare Energien in die Regelungen von Wettbewerben zur Wärmemodernisierung und im weitesten Sinne zu Heizung und Energieeffizienz ein. Es werden Lösungen gefördert, bei denen die Erzeugung und Versorgung energieeffizienter Gebäude mit Wärme unterstützt wird oder vollständig auf erneuerbaren Energiequellen gesetzt wird, beispielsweise in Form von Wärmepumpen in Kombination mit einer Photovoltaikanlage vor Ort⁴. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Finanzierungsbedingungen für Investitionen in Erneuerbare Energien im Zeitraum 2021-2027 möglicherweise nicht mehr so günstig sein werden wie in den Vorjahren. Auf jeden Fall sind Änderungen zu erwarten.

Der Energiemarkt entwickelt sich rasch zu einer dezentralen Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, insbesondere für den Eigenverbrauch oder für lokale Gemeinschaften, was eine Anpassung der Produkte des professionellen Energiesektors an das neue Modell eines dezentralen Energiemarktes erforderlich macht. Der derzeitige Anstoß für die Aufrechterhaltung des hohen Veränderungstempos auf dem Energiemarkt ist der dynamische Anstieg des Preises für CO₂-Emissionszertifikate und folglich der Energiepreise. Im Jahr 2022 hat der Preis für CO₂-Emissionszertifikate die Marke von 90 Euro pro Tonne überschritten. Der an der POLPX⁵ notierte Strompreis im Basisprodukt „BASE_Y“ für das Jahr 2023 lag lange Zeit nahe bei 2.000 PLN/ 400 EUR) pro MWh und erreichte ein Maximum von über 2.500 PLN/550 EUR pro MWh. Aufgrund der Einführung des Gesetzes über das Einfrieren der Energiepreise im Jahr 2023 liegt dieser Preis bei etwa 1.000,00 PLN/220 EUR pro MWh. Hinzu kommen zusätzliche Abgaben wie die am 1. Januar 2021 eingeführte Stromabgabe, deren Höhe im Jahr 2023 102,40 PLN/22,50 EUR pro MWh beträgt (PGE Dystrybucja S.A 2023).

Der Anstieg der Endverbraucherpreise für Energie wird die Entwicklung der Erzeugung für den eigenen Bedarf und den für potenzielle Kunden erheblich beschleunigen. Die Strompreise in Polen gehören im Verhältnis zu den Gehältern zu den höchsten der Welt (Wysokienapicie.pl 2021).

Die EU-Energiepolitik zielt darauf ab, sich allmählich von kohlenstoffbasierten (hauptsächlich kohle-basierten) Energieerzeugungstechnologien zu lösen und eine dezentrale Energieversorgung auf der Grundlage erneuerbarer Energiequellen zu entwickeln. Vor einigen Jahren wurde ein Mechanismus für den Handel und die Bewertung von CO₂-Emissionsrechten (European Union Allowance - EUA) eingeführt. Nach Angaben seiner Initiatoren (Biznes.gov.pl 2021) sollte er Stromerzeuger und die Großindustrie dazu

³ <https://rpo.wrotapodlasia.pl/>

⁴ Dabei handelt es sich um Förderungen für Private Haushalte oder Unternehmen.

⁵ Polnische Strombörse

anregen, Emissionen zu reduzieren, indem sie als Umweltkosten anerkannt werden. Das System beruht auf der Verpflichtung, für die erzeugten Emissionen Zertifikate zu kaufen.

Bei alten kohlebefeuerten Blöcken können die Emissionen 1.000 kg CO₂ MWh übersteigen, was theoretisch bedeutet, dass der volle Wert der EUAs in den Preis von 1 MWh eingerechnet wird. Die wirtschaftliche Situation der größten CO₂-Emittenten im Bereich der Stromerzeugung wurde durch das in Polen gewährte und von den zentralen Behörden verteilte System der kostenlosen Emissionen verbessert. Dennoch wird das Angebot der Zertifikate systematisch verkleinert, was sich in steigenden Emissionskosten für die Erzeuger niederschlägt. So musste beispielsweise die PGE-Gruppe, die unter anderem Europas größten Emittenten, das Kraftwerk Bełchatów (Ember-Climate.org 2022), verwaltet, 4 Mrd. PLN aufwenden, um ihre Verpflichtungen zur Einlösung der Emissionsrechte für 2020 vollständig zu erfüllen.

Viele Jahre lang lag der Wert der CO₂-Zertifikate bei etwa 5-6 Euro pro Tonne. Nach Ansicht der meisten Expert:innen wurde dieser Wert stark unterschätzt und hätte bei weit mehr über 30 Euro pro Tonne liegen müssen (Ember-Climate.org 2023). Die Zertifikatspreise erreichten dieses Niveau im September 2019 und setzten damit den seit Anfang 2018 anhaltenden Aufwärtstrend fort. Der anschließende Preisrückgang (bis auf 15,6 Euro pro Tonne) war das Ergebnis der durch die COVID-19-Pandemie ausgelösten Krise. Dennoch dauerte es nur 12 Monate, bis die Preise Anfang 2021 wieder das Rekordniveau von rund 30 Euro pro Tonne erreichten. Anfang 2022 durchbrach der Zertifikatspreis die Schwelle von einem Rekordwert von 90 Euro pro Tonne, den Analysten erst im Jahr 2030 ein Niveau von 60 Euro pro Tonne prognostiziert hatten. Dabei handelt es sich um sehr konservative Prognosen, denn bereits im Jahr 2021 lagen die Zertifikatspreise über 80 Euro pro Tonne. Das Jahr 2022 erwies sich als noch rekordverdächtiger, da sich die Zertifikatspreise sogar der 100 Euro pro Tonne-Marke näherten. Die meiste Zeit des Jahres schwankten sie jedoch zwischen 80 und 90 Euro pro Tonne. Der Ukrainekrieg führte nur zu einem kurzzeitigen Preisverfall.

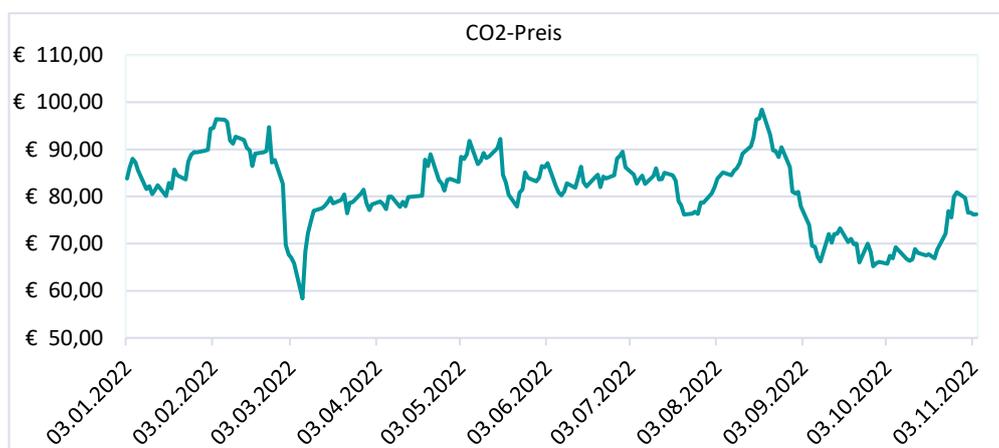


Diagramm 1: Preis für CO₂-Emissionszertifikate im Jahr 2022. Eigene Ausarbeitung basierend auf dem Think Tank Ember Carbon Price Tracker (Ember-Climate.org 2023).

Während die kurzfristigen Schwankungen des Preises für Emissionszertifikate direkt mit der europäischen Wirtschaft und den Schwankungen der Stromnachfrage zusammenhängen, wird der langfristige Trend durch politische Entscheidungen bestimmt. Diese führen zu einer eindeutigen Verlagerung der europäischen Energiewirtschaft hin zum Green Deal. Dabei wird das Angebot an Emissionszertifikaten reduziert, um Investitionen in saubere, kohlenstoffarme oder -freie Stromerzeugungstechnologien anzuregen.

Die EU stellt Reduktionsziele für die Emissionswerte auf und setzt Mechanismen ein, um das Überangebot an Zertifikaten gegenüber der Nachfrage zu reduzieren. Die Rückkehr der EU-Wirtschaft zum Wachstum und die Einführung neuer - höherer - Emissionsminderungsziele in der EU (um 60 Prozent im Jahr 2030 im Vergleich zu 2005) werden jüngsten Prognosen zufolge die Preise für Emissionszertifikate auf fast 48,5 Euro

pro Tonne im Jahr 2025 und fast 58,95 Euro pro Tonne im Jahr 2030 treiben⁶. Dies sind sehr vorsichtige Prognosen, da die Preise für Emissionszertifikate bereits im Jahr 2022 die Marke von 100 Euro pro Tonne erreichten.

Bezogen auf die Einheitspreise für Strom beinhalten die Kosten für 1 MWh Strom, der in einem Kohlekraftwerk erzeugt wird, mehr als eine Dreivierteltonne CO₂ (laut KOBiZE-Bericht (2022) ist die Erzeugung von 1 MWh zusammen mit der Energieübertragung an die Endverbraucher:innen mit der Emission von etwa 719 kg CO₂ verbunden). Ein solch signifikanter Anteil von CO₂ an der Stromerzeugung in Polen, die immer noch auf Kohle basiert, hat empfindliche Folgen für den Energiepreis, sobald sich die Preise von EUA-Zertifikaten ändern. Bei einem CO₂ Preis von 90 UEA-Zertifikaten betragen die Kosten der Zertifikate für 1 MWh Strom in Polen etwa 300 - 400 PLN⁷.

Der Energiemarkt ist derzeit durch eine geringe Preisstabilität gekennzeichnet. Das sogenannte "Stromgesetz"⁸, das Ende 2018 eingeführt wurde, sollte nach dem Willen des Energieministeriums ein wirksames Mittel gegen Preissteigerungen sein. Langfristig gesehen stiegen die Preise für Energie und andere damit verbundene Dienstleistungen, einschließlich der Stromverteilungsdienste, nach 2020 jedoch wieder an. 2020 wurden die Energiepreise durch die Coronavirus-Pandemie beeinflusst, sodass diese sanken. Dieser Preisstopp war für die Endverbraucher:innen eine einmalige Maßnahme. Im Jahr 2020 wurde auch eine Entschädigung für Einzelverbraucher:innen in der ersten Steuerklasse (mit einem Jahreseinkommen von weniger als 85.528 PLN/ 18.978 EUR) eingeführt.

Aufgrund des bewaffneten Konflikts in der Ukraine verstärkte sich zu Beginn des Jahres 2022 der Aufwärtstrend bei den Energiepreisen, der im August und September einen Höchststand von über 2.000 PLN/444 EUR pro MWh erreichte.

Die eingeführten Mechanismen im Zusammenhang mit den so genannten Schutzschilden und der gesetzlichen Festlegung eines festen Energiepreises sind keine nachhaltigen Lösungen des Problems, sondern eine staatliche Intervention, um den Markt zu stabilisieren. Zum jetzigen Zeitpunkt ist bekannt, dass die Schutzfrist im Jahr 2023 in Kraft treten wird, aber es wird wahrscheinlich noch zu Preiserhöhungen kommen. Im Jahr 2022 betrug die Mehrwertsteuer auf Energie acht Prozent und der für 2023 festgelegte Preis wurde als Nettobetrag angegeben. Wenn also der Mehrwertsteuersatz aufgrund der EU-Intervention wieder auf den früheren Satz von 23 Prozent zurückfällt, wird der Endpreis steigen. Außerdem müssen mögliche Erhöhungen der Verteilertarife und der Gebühren für den Strommarkt im Jahr 2023 berücksichtigt werden.

⁶ Eigene Ausarbeitung basierend auf dem Think Tank Ember Carbon Price Tracker (Ember-Climate.org 2023).

⁷ 66-88 EUR.

⁸ Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 19 lipca 2019 r. w sprawie sposobu obliczenia kwoty różnicy ceny i rekompensaty finansowej oraz sposobu wyznaczania cen odniesienia.



Diagramm 2: BASE_Y jährliche Produktraten mit Auslieferung im Jahr 2023. Eigene Ausarbeitung auf der Grundlage von TGE (Polish Power Exchange).

Zu Beginn des Jahres 2023 kam es zu einem deutlichen Rückgang des Energiepreises im Produkt BASE_Y_23, bei dem die Börsenindizes 900 PLN/200 EUR pro MWh (Preis ohne zusätzliche Abgaben) nicht überschritten, was mit der Einführung von Regulierungsmechanismen zusammenhängt. Dennoch ist damit zu rechnen, dass es auch in den folgenden Jahren zu Energiepreiserhöhungen kommen wird - wenn auch vielleicht nicht in demselben Ausmaß wie zum Jahreswechsel 2022 und 2023.

Diese Faktoren und Marktbedingungen führen dazu, dass die Begriffe "Energieautarkie" oder "Eigenverbrauch" eine neue Bedeutung erlangen. Lokale Behörden und Unternehmen entscheiden sich zunehmend dafür, in ihre eigenen dezentralen EE-Erzeugungsquellen zu investieren⁹. Diese Lösungen, die auf dem Gelände lokaler Behörden und Unternehmen installiert werden, versorgen die Verbraucher und tragen so zur Energiesicherheit und Preisstabilität bei.

Ein weiterer energiebezogener Bereich ist die unabhängige Energieverteilung, die als konzessionierte Tätigkeit den Regulierungsmechanismen der Energieregulierungsbehörde unterliegt. Unabhängig davon ist auch hier mit Kostensteigerungen zu rechnen, da die Verteilnetzbetreiber die Kosten für die Modernisierung und den Ausbau des Netzes, wie z.B. die Einführung intelligenter Messsysteme tragen müssen.

Die Verteilungskosten setzen sich aus zwei Komponenten zusammen:

- Feste Kosten, die von der bestellten Kapazität der Anlage abhängen und im Grunde genommen Bereitschaftskosten für den Bezug von Energie aus dem Netz sind, die wir nicht senken können.
- Variable Kosten, die von der aus dem Netz bezogenen Energie abhängen, d. h. von den Mess- und Abrechnungswerten. Die variablen Gebühren werden nicht erhoben, wenn der Strom in der PV-Anlage erzeugt und in der Anlage verbraucht wird, was zu Einsparungen bei diesem Teil der Energieverteilungskosten führt.

Ein starker Anstieg der variablen Vertriebskosten ist die sogenannte Strommarktgebühr in Polen, die ab Januar 2021 eingeführt wurde.

Tabelle 1: Höhe der Strommarktgebühr 2023.

Tarifgruppe	Höhe der Gebühr
G	Von 2,30 bis 13,25 PLN netto pro Monat, je nach Jahresstromverbrauch
Andere Gruppen	102,60 PLN/MWh netto (für von Montag bis Freitag zwischen 7 und 22 Uhr verbrauchte Energie)

Quelle: PGE Dystrybucja S.A.

⁹ Basierend auf Erfahrungswerte.

Für Endkund:innen in G-Tarifen (Einzelpersonen) wird die Strommarktgebühr auf der Grundlage des jährlichen Energieverbrauchs berechnet und liegt zwischen 2,30 PLN und 13,25 PLN¹⁰ netto pro Monat. Für andere Kund:innen wird ein Entgelt von 102,60 PLN/22,50 EUR pro MWh netto für die von Montag bis Freitag zwischen 7 und 22 Uhr verbrauchte Energie berechnet. Bei der einen wird die Gebühr auf der Grundlage des Standardprofils für die betreffende Tarifgruppe berechnet und die Energiemenge auf dieser Grundlage ermittelt. Für Kund:innen mit intelligenten Zählern wird das Entgelt auf der Grundlage des tatsächlichen stündlichen Energieverbrauchs berechnet. Das bedeutet, dass eine Energiequelle, die Energie erzeugt und gleichzeitig den Energieverbrauch der Anlage deutlich reduziert, somit die Kosten für die Strommarktgebühr erheblich senkt.

In der Praxis können die Strommarktgebühren jährlich steigen. Für Verbraucher:innen mit gängigen Tarifen¹¹ beträgt die Gebühr in 2022-2023 102,60/22,50 EUR PLN pro MWh. Je höher der Energieverbrauch in den Spitzenzeiten ist, desto höher ist die Erhöhung. Im schlimmsten hypothetischen Fall - für einen Verbraucher, der nur zu Spitzenzeiten Energie verbraucht - werden die Kosten, die sich aus der Strommarktgebühr ergeben, am höchsten sein. Im Jahr 2021 betrug die Höhe der Strommarktgebühr noch 76,20 PLN pro MWh, was bestätigt, dass die Höhe dieser Gebühr in den kommenden Jahren steigen kann. Die folgende Tabelle zeigt, die variablen Verteilungsentgelte und ihre aktuellen und prognostizierten Beträge.

Tabelle 2: Vergleich der variablen Verteilungsentgelte 2022 - 2023 für Tarife der Gruppe "B".

Art der Gebühr	Zweck	Tarifjahr 2022 [PLN/MWh]	Tarifjahr 2023 [PLN/MWh]
EE-Gebühr	EE-Unterstützungssystem - Ausschreibungen	0,9	0
KWK-Gebühr	Förderregelung für die Kraft-Wärme-Kopplung	4,06	4,96
Qualitätsgebühr	Betriebskosten der ÜNB	9,49	24,21
Variable Vertriebsgebühr	Variable Kosten für den Betrieb des DSO	68,98	97,15
Stromverbrauch	Kosten auf dem Strommarkt	102,6	102,6
Gesamtentgeltreduzierungs-potenzial für die eigene Erzeugungsanlage		186,03	228,92

Quelle: PGE Dystrybucja S.A.

Eine gewisse Möglichkeit zur Senkung der variablen Kosten der Verteilungsgebühren ist die Einrichtung eines Energieclusters (im Lichte der in Erwägung gezogenen Gesetzesänderungen, die Gründungen vereinfachen könnten), bei der Rabatte in Abhängigkeit vom Grad des Eigenverbrauchs von Strom aus eigenen Erzeugungsquellen für die Mitglieder:innen des Clusters in Betracht gezogen werden. Im Falle von Clustern, die mindestens 30 Prozent des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen, wird davon ausgegangen, dass 40 Prozent des jährlichen Saldos aus eigenen Quellen gedeckt werden und dass die aus erneuerbaren Energiequellen erzeugte Energie von den in Tabelle 2 aufgelisteten Gebühren befreit wird, wobei die variable Vertriebsgebühr abhängig vom Grad des Eigenverbrauches ist. Ab einen Eigenverbrauch von 40 Prozent gibt eine Befreiung von der variablen Vertriebsgebühr von 10 Prozent. Die Befreiung erhöht sich um fünf Prozent, wenn der Eigenverbrauch um zehn Prozent steigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eigene erneuerbare Energiequellen in Verbindung mit einer gut durchdachten Cluster-Initiative für die lokalen Behörden ein vernünftiger Ansatz für eine dezentrale Energie- und Energiestrategie sind, der die langfristige Stabilität der Stromkosten positiv beeinflusst.

3. Region Hajnówka

Die Region Hajnówka liegt im Osten Polen, im Südosten der Woiwodschaft Podlachien.

¹⁰ 0,50€ bis 2,90 €.

¹¹ Die Tarife B und C sind für öffentliche Gebäude und Unternehmen.

3.1. Geologische und hydrogeologische Bedingungen

Die geologische Untersuchung wurde unter Berücksichtigung der Rechtslage am 31.08.2022 im Hinblick auf die geologischen Bedingungen der Erdwärmegewinnung vorbereitet, die bei potenziellen Bohrungen in der Region von Hajnówka zu erwarten sind. Eine solche Untersuchung ist notwendig, um u.a. die Grundwasserqualität und -verfügbarkeit zu bestimmen. Es gibt bestimmte Mineralien und pH-Werte im Grundwasser, die sich negativ auf Wärmepumpen auswirken können.

Diese Bohrungen haben ergeben, dass es keine Möglichkeit in der Umgebung von Hajnówka gibt, Thermalwasser zu gewinnen, dessen Temperatur für eine direkte Nutzung zum Heizen ausreichen würden.

Eine mögliche Nutzung der Erdwärme in diesem Gebiet wäre daher mit der Niedrigtemperatur-Geothermie verbunden, d.h. mit der Nutzung geothermischer Energiequellen, deren Temperatur so niedrig ist, dass eine energetische Verwertung nur mit Hilfe von Wärmepumpen möglich ist. Unter Berücksichtigung natürlichen Gegebenheiten vor Ort und Erfahrungen kann auf Grundlage der bisher durchgeführten Bohrungen festgestellt werden, dass bei einer optimalen Nutzung des Gebiets von Hajnówka und eine zufriedenstellende Energieeffizienz von Erdwärmepumpen Bohrungen mit einer Tiefe von mindestens mehrere Dutzend Metern erfordern wird. Im Falle der Anwendung von offenen Systemen sollte man in der Umgebung von Hajnówka Bohrungen mit einer Tiefe von mehr als 100 m durchführen.

Auf dem Gebiet von Hajnówka unterscheidet sich die nutzungsrelevante quartäre wasserführende Ebene in Bezug auf ihre hydrogeologischen Parameter nicht wesentlich von dem tertiären Grundwasserleiter. In beiden Fällen handelt sich hauptsächlich um Schichten mit durchschnittlichen Filtereigenschaften.

Obwohl sich die hydrogeologischen Parameter der beiden beschriebenen Grundwasserleiter in der Region von Hajnówka nicht wesentlich unterscheiden, hat der tertiäre Grundwasserleiter eine viel größere Bedeutung und sollte die Hauptlast für die Nutzung des Grundwassers tragen. Das hängt mit seiner Verbreitung in der gesamten Region zusammen und der deutlich größeren Stabilität der Wasserleitung in verschiedenen Stadtteilen. Dies ermöglicht es, erheblich größere Mengen Wasser aus diesem Grundwasserleiter zu gewinnen. Rein technisch und chemisch ergeben sich keine Einwände gegen eine Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle.

3.1.1. Rechtliche Voraussetzungen für geologischer Arbeiten

Eine Auswertung der rechtlichen Situation in Polen zeigt, dass es rechtliche Wege gibt, Grundwasser für Wärmeprojekte zu entnehmen. Welcher Weg der richtige ist, kann im Vorfeld aber nicht abschließend festgelegt werden. Je nach Bohrtiefe, Entnahmemengen und anderen Faktoren ankommt, sind unterschiedliche Behörden für die Genehmigung zuständig.

Die grundlegenden rechtlichen Regelungen für die Ausführung der oben genannten Arbeiten, die mit der Nutzung der Erdwärme verbunden sind, ergeben sich aus den Bestimmungen des Gesetzes vom 9. Juni 2011 Geologisches und Bergbaurecht (Dz.U. 2022, 1072 mit Änderungen). Im Falle der Erdwärmegewinnung durch offene Systeme müssen daher geologische Arbeiten durchgeführt werden, d.h. gemäß dem Gesetz, Ausführung im Rahmen der geologischen Arbeiten aller Arbeiten unterhalb der Geländeoberfläche (Art.6 Abs.1 Nr 11 Pgg). Alle Arbeiten unter Anwendung geologischer Arbeiten unterliegen dem im geologischen Gesetz festgelegten Entwurfs- und Ausführungsverfahren.

3.2. Sozioökonomische Informationen

Der Kreis Hajnówka ist eine Verwaltungseinheit mit einer geringen Bevölkerungszahl und Bevölkerungsdichte (Urząd Statystyczny w Białymstoku 2021a). Auf einer Fläche von 1624 km² leben hier 39.710 Menschen, das sind nur 24,4 Menschen pro km². Die Bevölkerungszahl des Kreises nimmt aufgrund einer ge-

ringen Geburtenrate und eines ungünstigen Wanderungssaldos weiterhin drastisch ab. Diese Entwicklung deckt sich mit der demografischen Situation der gesamten Woiwodschaft, die seit mehreren Jahren einen Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen hat.

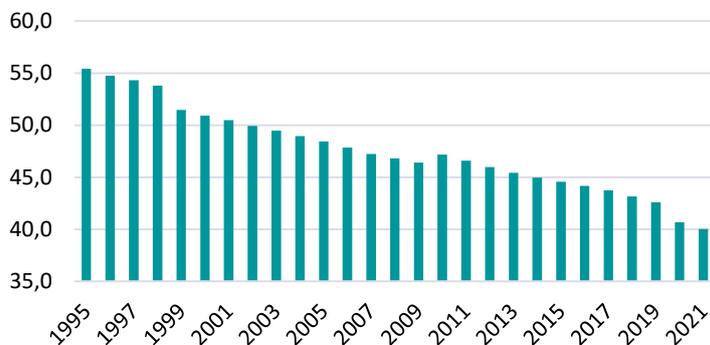


Diagramm 3: Bevölkerungsdynamik des Kreises Hajnówka in den Jahren 1995–2021. (Urząd Statystyczny w Białymstoku 2021a).

In der Stadt Hajnówka sind etwa 24,8 Prozent der Bevölkerung erwerbstätig; von den Erwerbstätigen sind 53,7 Prozent Frauen und 46,3 Prozent Männer. Die registrierte Arbeitslosigkeit lag im Jahr 2021 bei 6,8 Prozent (5,9 Prozent bei den Frauen und 7,5 Prozent bei den Männern) und damit etwas niedriger als die Arbeitslosigkeit in der Woiwodschaft Podlachien (7,8 Prozent) und deutlich höher als die Arbeitslosenquote in ganz Polen (5,8 Prozent) (Urząd Statystyczny w Białymstoku 2021b).

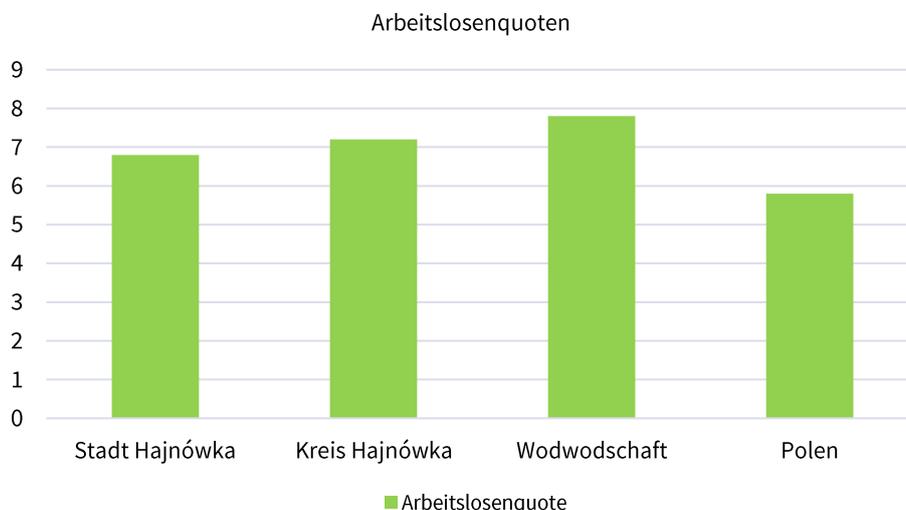
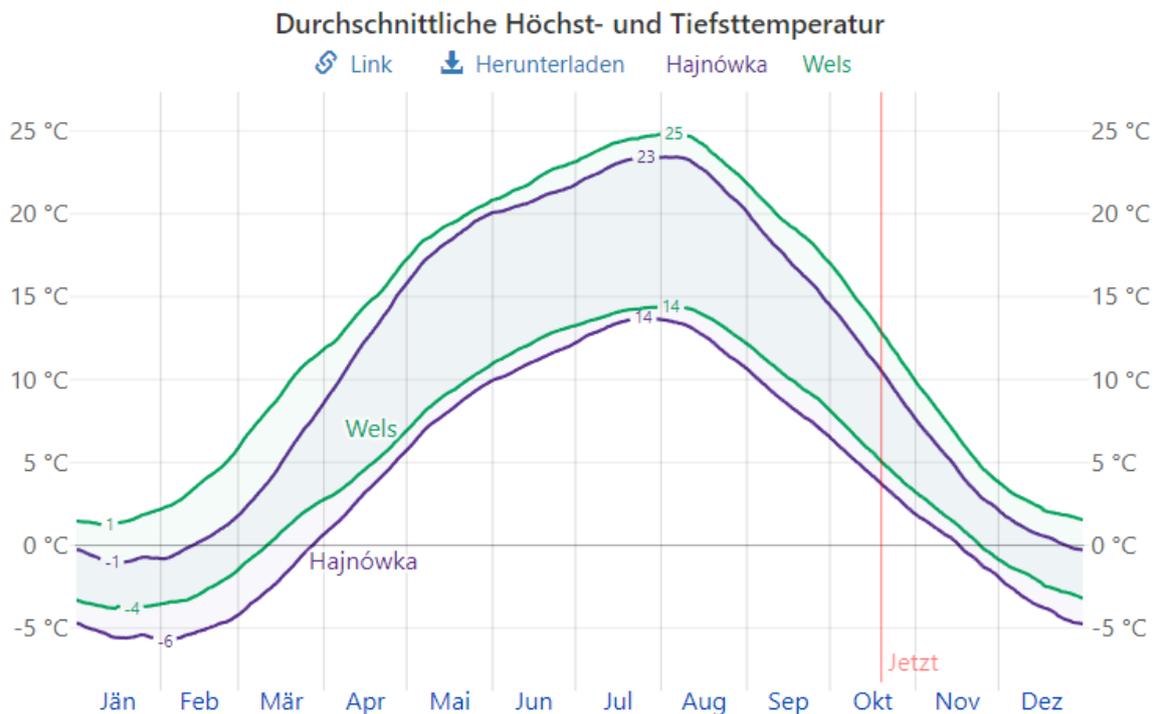


Diagramm 4: Arbeitslosenquote der Stadt Hajnówka im Vergleich zum Kreis, Woiwodschaft und des ganzen Landes., Stand 2020 (Polska w Liczbach 2021b)

Alles in allem kann gesagt werden, dass die Region ähnlich wie ländliche Regionen in Deutschland mit einem Einwohnerschwund sowie einer geringen Erwerbstätigkeit umgehen muss, auch wenn die Arbeitslosenquote geringer ausfällt als es in der gesamten Woiwodschaft durchschnittlich der Fall ist.

3.3. Klima der Region

In Hajnówka sind die Sommertemperaturen angenehm und der Himmel teilweise bewölkt. Die Winterperiode ist lang kalt, schneereich, windig und größtenteils bewölkt. Im Verlauf des Jahres bewegt sich die Temperatur in der Regel zwischen minus sechs und plus 23 Grad Celsius und liegt selten unter minus 16 oder über 29 Grad Celsius wie die folgende Abbildung zeigt.



Hoch	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Hajnówka	-1 °C	0 °C	5 °C	12 °C	18 °C	21 °C	23 °C	22 °C	17 °C	11 °C	4 °C	1 °C
Wels	2 °C	4 °C	9 °C	15 °C	19 °C	22 °C	24 °C	24 °C	19 °C	13 °C	6 °C	2 °C

Tief	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Hajnówka	-5 °C	-5 °C	-2 °C	3 °C	8 °C	11 °C	13 °C	12 °C	8 °C	4 °C	-0 °C	-4 °C
Wels	-4 °C	-3 °C	1 °C	5 °C	9 °C	12 °C	14 °C	14 °C	10 °C	5 °C	1 °C	-2 °C

Diagramm 5: Vergleich Temperaturprofil Hajnówka (Polen) mit Wels (Österreich).
 Quelle WeatherSpark.com

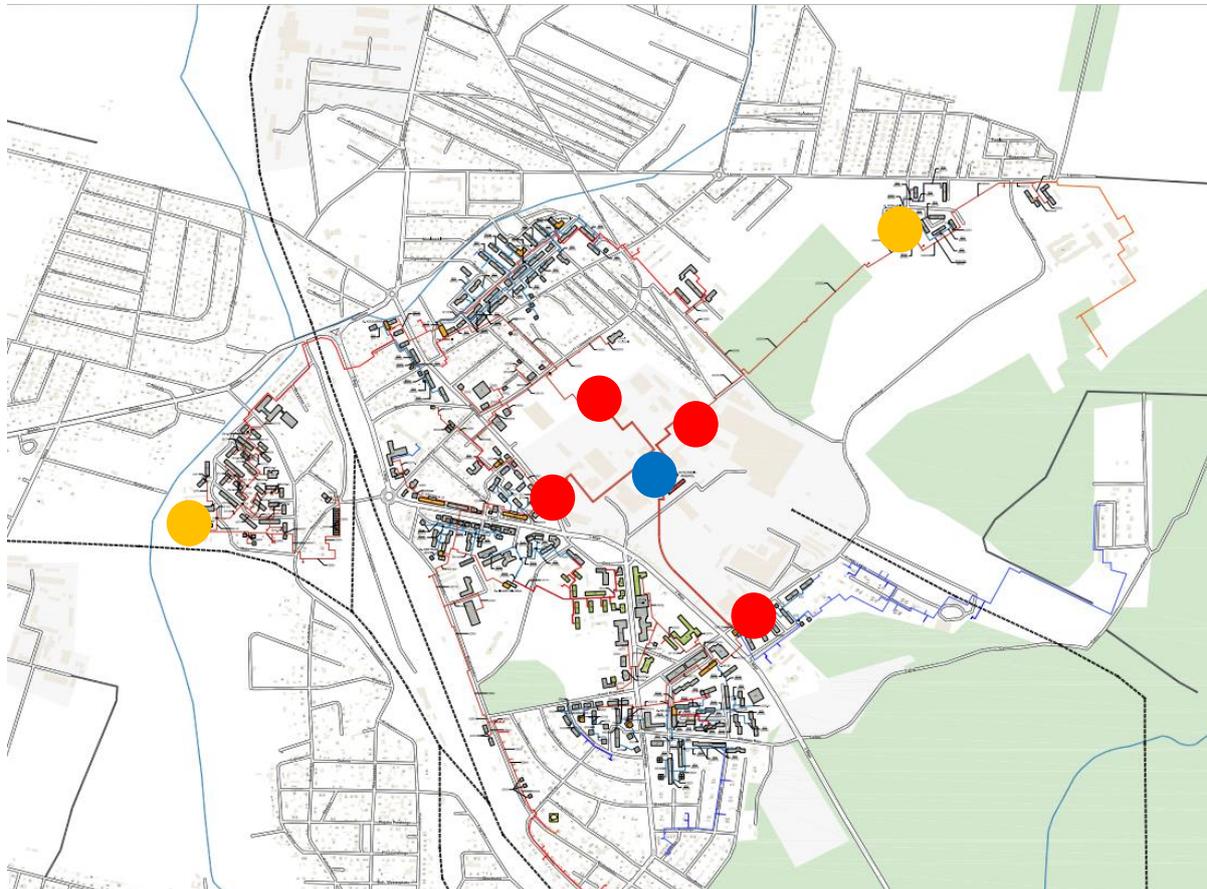
Die Temperaturen im Jahresverlauf sind zwischen Hajnówka und der österreichischen Stadt Wels sehr ähnlich. Daher wurden für die weiteren Betrachtungen ähnliche Erfahrungswerte aus früheren Projekten in der österreichischen Region von der Firma Ochsner Process Energy Systems (OPES) angenommen.

3.4. Wärmenetz der Stadt – aktueller Stand

Das Wärmenetz der Stadt Hajnówka besteht aus drei aktiven Kesselhäusern, in denen Wärme für das Wärmenetz produziert wird. Ein viertes Kesselhaus ist im Moment inaktiv und soll modernisiert werden.

Einer der vier Kessel sowie der dazugehörige Zubringer werden von einer privaten Firma namens Solor betrieben, während die übrigen drei sowie das Wärmenetz an sich den Stadtwerken (und somit der Stadt selbst) gehören.

Im Besitz der Stadt befinden sich zwei für diese Studie wichtige Kesselhäuser, das Kesselhaus Podlaise und das Kesselhaus Mazury. Die Zubringer vom Solor Kesselhaus zu den Übergabeknoten sind im Besitz von Solor. Diese versorgen auch noch einige Objekte im Umfeld des Kesselhauses direkt.



Legende: ● Aktives Kesselhaus der Stadt, ● Wärmeknoten, ● Kesselhaus Solor

— Wärmeleitungen mit 130/70 Grad — Wärmeleitungen 90/70 Grad.

Abbildung 1: Karte des Wärmenetzes von Hajnówka.

Gelbe Punkte sind die beiden aktiven Kesselhäuser der Stadt. Podlaise im Nordosten, Mala im Westen. Die roten Kreise sind die Wärmeknoten von Solor. Der blaue Punkt stellt das Kesselhaus von Solor da. Die roten Linien sind die Wärmeleitungen, die mit 130 Grad im Vorlauf und 70 Grad Celsius im Rücklauf betrieben werden. Blau sind die Netzstränge, die mit 90 Grad Celsius im Vorlauf und 70 Grad Celsius im Rücklauf betrieben werden. Quelle: PEC.

Das Netz wird mit Kohlestaubfeuerung beheizt und mit einer Temperatur von 130 Grad Celsius im Vorlauf und 70 Grad Celsius im Rücklauf (rot eingezeichnet) betrieben, wobei das Temperaturniveau in Abhängigkeit von der Außentemperatur, abgesenkt wird. Des Weiteren gibt es Netzstränge, die mit 90 Grad Celsius im Vorlauf und 70 Grad Celsius im Rücklauf betrieben werden (blau eingezeichnet).

Das Netz ist in vier Sektoren geteilt (siehe nachstehende Abbildung "PEC – Wärmesektionen").

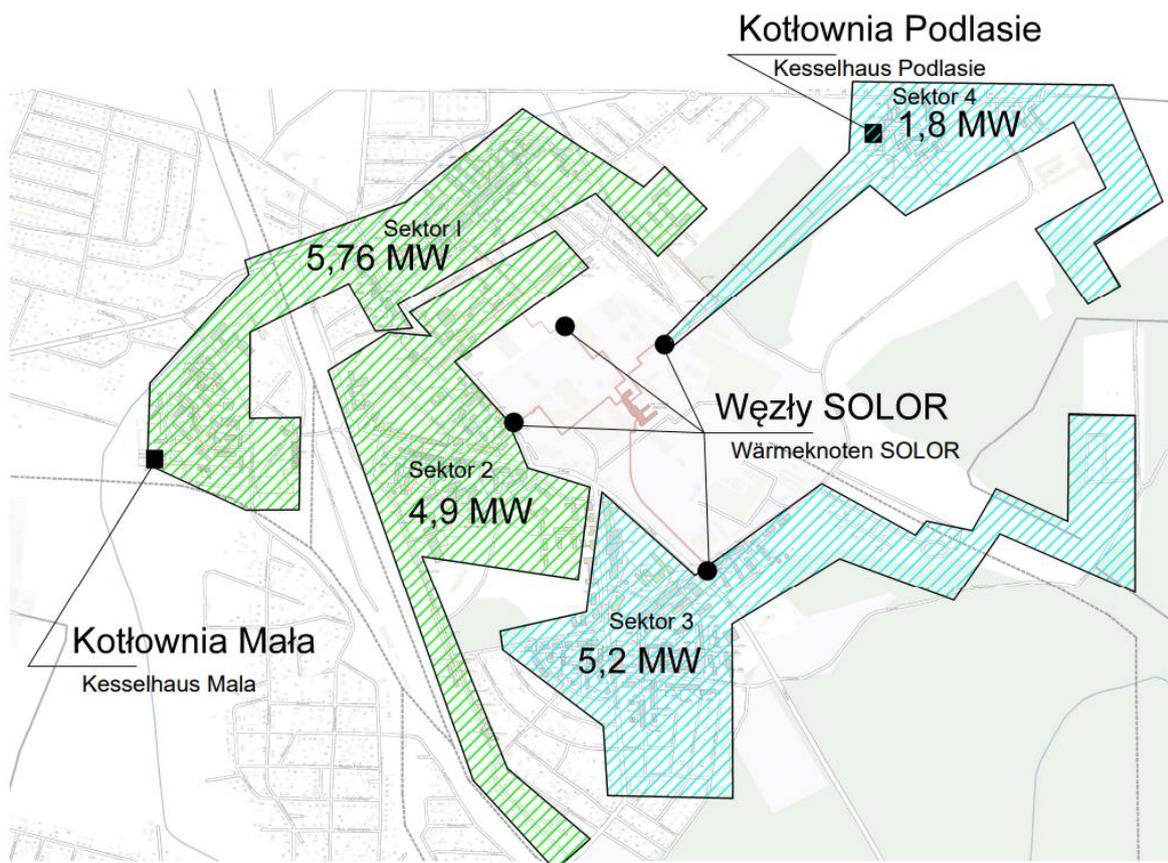


Abbildung 2: „PEC – Wärmesektionen“: Karte der Sektoren des Wärmenetzes von Hajnówka.

Die Sektoren eins und zwei sowie drei und vier sollen nach Planung der Stadtwerke in Zukunft miteinander verbunden werden. Die daraus ergebende installierte Leistung der vier Sektoren lässt sich in der folgenden Tabelle einsehen.

Tabelle 3: Derzeit installierte Leistungen in den vier Sektoren.

Sektor	Installierte Leistung
Sektor 1	5,76 MW
Sektor 2	4,9 MW
Summe Zentrale 1 Mazury /Mala	10,66 MW
Sektor 3	5,2 MW
Sektor 4	1,8 MW
Summe Zentrale 2 Lipowa /Podlasie	7,0 MW
Summe	17,66 MW

3.4.1. Netztemperaturen – Schwankungsbereich

Die Temperaturen können laut Angaben der Stadtwerke im Winter im Netzvorlauf auf 105 Grad Celsius und im Netzurücklauf auf 60 Grad Celsius/55 Grad Celsius gesenkt werden. Dies wurde für den Winter 2022-2023 testweise vorgenommen. Bei einer geringeren Netztemperatur müssten die Wärmepumpen weniger Wärme liefern, was wiederum den Effizienzwert der Anlagen steigen würde.

Im Sommer könnten die Temperaturen im Netzvorlauf/ Netzurücklauf auf 65 Grad Celsius/ 45 Grad Celsius bis 70 Grad Celsius/50 Grad Celsius sinken. Dazwischen wird die Vorlauftemperatur, abhängig von der Außentemperatur gleitend geregelt.

3.4.2. Messung der tatsächlichen Netztemperaturen

Eine der wichtigen Fragen sind die tatsächlich benötigten Vorlauf- und Rücklauftemperaturen im Wärmenetz Hajnówka. Um hier Sicherheit zu erhalten, wurden entsprechende Messgeräte sowohl bei den drei Solor Verteilknoten als auch im Kesselhaus Mala Mazury installiert. Das Wärmenetz wurde ab Spätherbst 2022 mit den geplanten niedrigeren Temperaturen (Winter 105 Grad Celsius im Netzvorlauf und 50 Grad Celsius im Netzurücklauf) betrieben und entsprechend monitort.

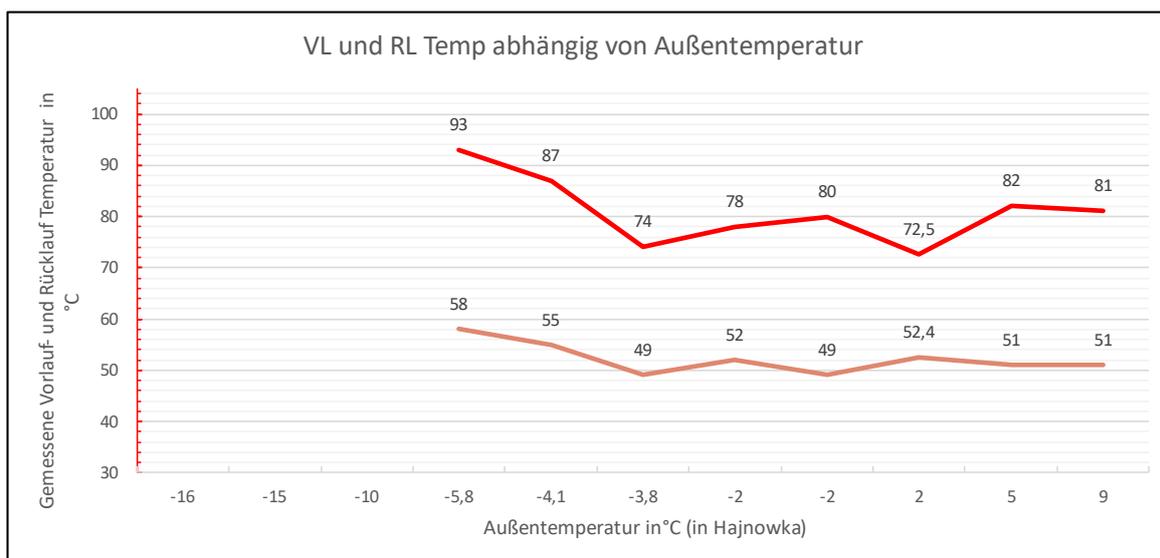


Diagramm 6: Vorlauf und Rücklauftemperaturen des Wärmenetzes Hajnówka in Abhängigkeit der Außentemperatur.

Es zeigt sich, dass die geplante Absenkung der Temperaturen auf 105 Grad Celsius zu 50 Grad Celsius in der Praxis tatsächlich möglich ist. Für die Ausführungsplanung sollte aber auf jeden Fall der gesamte Winter Zeitraum betrachtet werden und dabei auch die Netztemperaturen an noch kälteren Tagen berücksichtigt werden.

4. Wärmepumpenkonzept

Aufgrund dieser Monitoring-Erkenntnisse wurden die Wärmepumpen-Stationen so konzipiert, dass die Rücklauftemperatur Netzes durch die Wärmepumpen von 50 Grad Celsius auf 80 Grad Celsius angehoben wird. Die Kesselanlagen erhöhen dann, je nach Erfordernis und Außentemperatur, die Vorlauftemperatur weiter bis auf 105 Grad Celsius. Die Wärmepumpenzentralen decken somit bis etwa minus zwei Grad Celsius die Last des Netzes alleine ab. Somit ergibt sich durch den bivalent parallelen Betrieb nach DIN 4701 eine Deckung der Jahresheizarbeit von etwa 90 Prozent, siehe dazu die Vorgaben der DIN 4701 in folgender Tabelle.

Tabelle 4: Deckungsanteil der Jahresheizarbeit bei bivalent parallelem Betrieb

Bivalenzpunkt [°C]	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Leistungsanteil μ (-)	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0,54	0,5	0,46	0,42	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,19
Deckungsanteil α_{Htg} [-] bei biv.-paral. Betrieb	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,9	0,87	0,83	0,77	0,7	0,61
Deckungsanteil α_{Htg} [-] bei biv.-altern. Betrieb	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,19

Quelle: DIN 4701.

Bei bivalentem Parallelbetrieb arbeiten ab einer gewissen Außentemperatur Wärmepumpe und alternative Heizquelle gemeinsam, das heißt, die Wärmepumpe läuft weiter und der Heizkessel hebt Temperatur soweit erforderlich an. Bei bivalentem Alternativbetrieb schaltet sich die Wärmepumpe bei einer gewissen Außentemperatur ab und die alternative Heizquelle (Heizkessel) übernimmt die gesamte Last. Der Umschaltzeitpunkt wird Bivalenzpunkt genannt.

Zum Deckungsanteil der Jahresheizarbeit nach der DIN 4701 lässt sich sagen: Ein Fernwärmenetz bzw. eine Heizanlage erbringt eine gewisse Jahresheizarbeit, dies ist die Gesamtmenge, die an Wärme geliefert wird. Die Anlagen laufen nur wenige Stunden im Jahr mit voller Leistung, sondern meistens kontinuierlich im Teillastbereich. Dadurch ergibt sich, dass mit einer Wärmepumpen-Leistung von 46 Prozent der Gesamtleistung 90 Prozent der Jahresheizarbeit erbracht werden können.

Als Diagramm lässt sich die Deckungslast von 90 Prozent visuell darstellen.

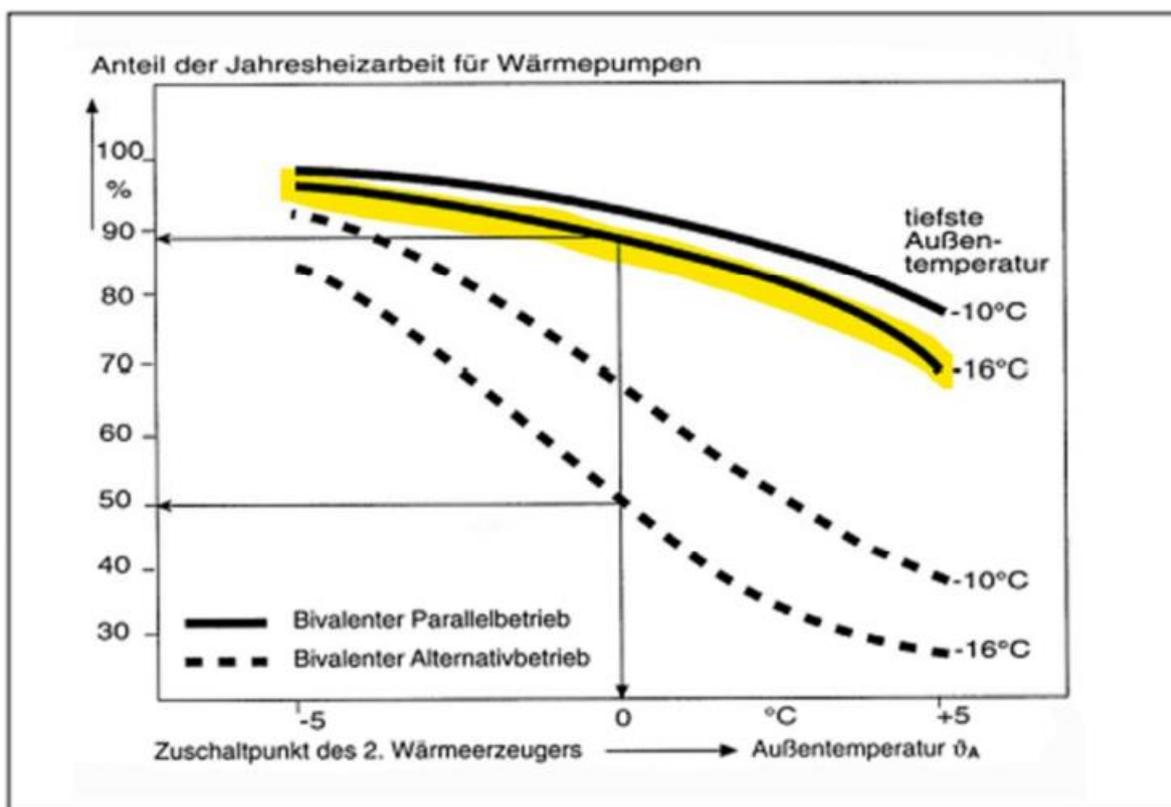


Diagramm 7: Deckungsanteil der Jahresheizarbeit bei bivalentem parallelem Betrieb. (Ochsner 2007).

Im Diagramm sind zwei verschiedene minimale Außentemperaturen (-10°C und -16°C) dargestellt und in Abhängigkeit des Bivalenzpunktes der Anteil der Deckung der Jahresheizarbeit durch die Wärmepumpen. Gelb unterlegt ist die für Hajnówka ermittelte minimale Außentemperatur.

Hätte man das Temperaturniveau im Wärmenetz Hajnówka nicht abgesenkt, wäre kein alternativ paralleler Betrieb möglich und man hätte einen bivalenten Alternativbetrieb konzipieren müssen. Mit einem solchen Betrieb hätten die Wärmepumpen dann nur noch 78 Prozent der Jahresheizarbeit gedeckt, anstatt der etwa 95 Prozent bei bivalentem parallelem Betrieb.

Aufgrund der maximal erforderlichen Vorlauftemperatur im Wärmenetz von 105 Grad Celsius bei einer Rücklauftemperatur von 55 Grad Celsius ist eine monovalente Wärmepumpenauslegung nicht mehr sinnvoll. Es müssten zweistufige Wärmepumpen-Systeme eingesetzt werden, deren Jahresarbeitszahlen nicht mehr sehr effizient wären. Diese würden unter 2,0 liegen.

Es sind zwei Wärmepumpen-Stationen jeweils in den Kesselhäuser Mala und Podlasie geplant. Die Sektoren 1 und 2 sollen zukünftig von der Wärmepumpenstation 1 und die Sektoren 3 und 4 von der Wärmepumpenstation 2 mit Wärme versorgt werden.

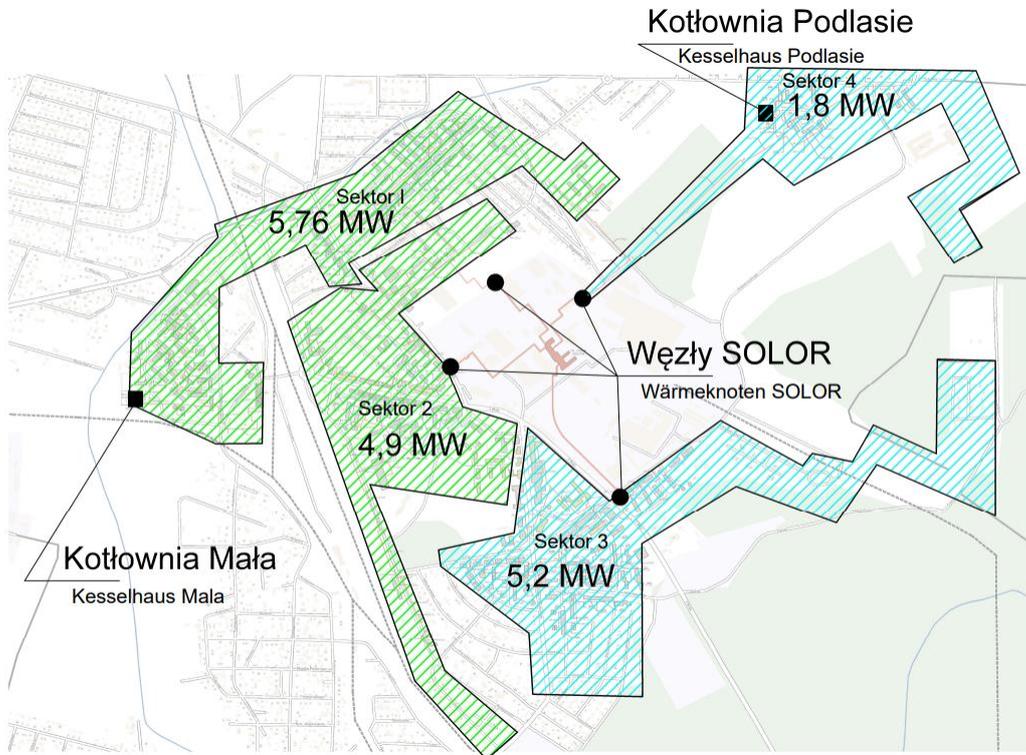


Abbildung 3: „PEC – Wärmesektionen“: Karte der Sektoren des Wärmenetzes von Hajnówka.

Die folgende Abbildung vier zeigt das prinzipielle Schema wie Großwärmepumpen in das Nahwärmenetz von Hajnówka eingebunden werden könnten (kein Prinzipschema für hydraulische Einbindung).

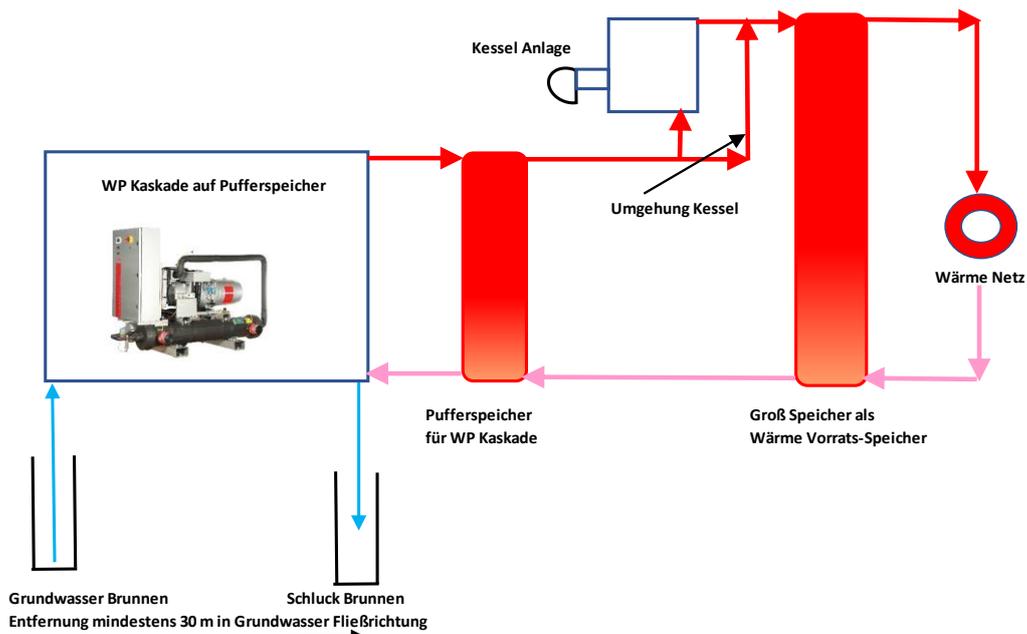


Abbildung 4: Blockscheema, exemplarisch für beide Wärmepumpenstationen.

4.1. Wärmequellen

Großwärmepumpen können verschiedene Wärmequellen nutzen, um Wärmeenergie aufzunehmen und auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen. Im Folgenden werden einige dieser Quellen näher beleuchtet.

4.1.1. Grundwasser

Großwärmepumpen können Grundwasser als Wärmequelle nutzen. Dabei wird das kalte Grundwasser entnommen, die enthaltene Wärmeenergie wird über einen Wärmetauscher entzogen und anschließend wird das abgekühlte Wasser zurück in den Untergrund geleitet.

Grundwasser wäre in Hajnowka eine optimale Quellenergie für die Wärmepumpenstationen. Nach aktuellem Stand konnten die Stadtwerke Hajnówka noch keine finale Aussage zu der Verfügbarkeit von Wasser tätigen. Nach dem bisherigen Wissensstand dürfte das Grundwasservorkommen ausreichend (siehe Kapitel 3.13) sein. Es sind aber entsprechende Probebohrungen zu empfehlen, damit das Grundwasservorkommen gesichert ist. Es ist bei einer Ausführungsplanung zu prüfen, ob diese Grundwassermenge entnommen werden kann, bzw. darf und auf die entsprechende Ausgestaltung der erforderlichen Schluckbrunnen.

Wenn Grundwasser nicht in ausreichender Menge vorhanden sein sollte oder genutzt werden darf, dann wäre die Alternative Luft – Wasser Wärmepumpen möglich. Aufgrund der niedrigeren Lufttemperaturen im Winter Halbjahr ergeben sich aber geringere Leistungszahlen, bzw. Jahresarbeitszahlen als bei einer Grundwassernutzung mit dauerhaft 10 Grad Celsius.

4.1.2. Abwasser

Großwärmepumpen können auch die Wärmeenergie aus Abwasser oder Kläranlagen nutzen. Das warme Abwasser wird über einen Wärmetauscher geleitet, um die enthaltene Wärme zu extrahieren. Das abgekühlte Abwasser wird dann in den Abwasserkanal oder Kläranlage zurückgeleitet. Das ist bei einer der Wärmepumpen der ersten Station denkbar. Eine Wärmepumpe deren Versorgung mit Abwasserenergie geplant wäre, benötigt ca. 104 m³ pro Stunde aus dem Wärmetauscher, der noch installiert werden müsste. Leider bietet sich die Kläranlage trotz der ausreichenden Wärmeleistung¹² nicht als Energiequelle an: Die Kläranlage hat keinen Anschluss an das Wärmenetz und ist zu weit entfernt von den Kesselhäusern sowie dem Wärmenetz für einen wirtschaftlichen Betrieb. Die Anlage befindet sich im südlichen Rand des Stadtgebietes. Eine Verbindung zum Wärmenetz einzurichten, wäre zu aufwändig und kostenintensiv.

Ungereinigtes Abwasser aus dem Hauptsammler ist ebenfalls eine mögliche Wärmequelle, da der Hauptsammler nahe am Kesselhaus Mazury/Malastrasse vorbeiführt. Das Hauptpumpwerk für das Abwasser ist etwa 300 m entfernt. Der Hauptsammler hat einen Durchmesser von DN 1000.

Die ersten Daten der Abwassermenge des noch kurzen Beobachtungszeitraums sind im Anhang dargestellt.

Die Datenlage für die Monate August bis Dezember 2022 waren während der Erarbeitung dieses Konzeptes noch nicht verfügbar. Für die Wärmergewinnung würden in den Abwasserkanal entsprechende Wärmeübertrager eingebaut, die dem Abwasser Wärmeenergie entziehen. Laut Stadtwerken ist für diesen Hauptsammler in nächster Zeit eine Sanierung vorgesehen. Die Sanierung könnte fast gleichzeitig mit dem Einbau des Kanalwärmetauschers erfolgen. Nur muss die Sanierung abgeschlossen sein, bevor der

¹² Wassermenge beim ersten Klärteich: 2.000 m³/Tag durch 24 h = 83,3 m³/h mal delta T = 4 Grad Celsius ergibt 387 kW, beim zweiten: 6.000 m³/Tag durch 24 h = 250 m³/h mal delta T = 4 Grad Celsius ergibt 1.162 kW.

Kanalwärmetauscher eingebaut wird. Sonst ließe sich der Boden des Kanalrohres nicht mehr sanieren, da auf diesem der Kanalwärmetauscher aufläge, bzw. montiert wäre.

Der minimale Durchschnitts-Durchfluss pro Tag beträgt 3.000 m^3 . Dies ist eine stündliche Wassermenge von $125 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei einer Abkühlung um $3,4 \text{ Grad Celsius}$ ergibt sich eine Leistung von 500 kW , die als minimale konstante Quellenergie zur Verfügung stehen würde.

Die exakte Abwassertemperatur im Hauptsammler ist derzeit nicht bekannt. Erfahrungsgemäß kann in Abwasserkanälen von Temperaturen zwischen 13 Grad Celsius und 15 Grad Celsius ausgegangen werden.

4.1.3. Sonstige Quellen

Weitere theoretisch mögliche Quellen sind:

- **Oberflächengewässer:**
Flüsse, Seen oder Teiche können als Wärmequelle für Großwärmepumpen dienen. Das Oberflächenwasser wird über einen Wärmetauscher geführt, um die enthaltene Wärme aufzunehmen. Das abgekühlte Wasser wird dann zurück in das Gewässer geleitet. Dies ist in dem Stadtgebiet nicht möglich.
- **Erdreich:**
Geothermische Energie kann aus dem Erdreich gewonnen werden. Hierbei werden Erdsonden oder Erdwärmekollektoren im Boden installiert. Diese nehmen die natürliche Wärme des Erdreichs auf und leiten sie zur Wärmepumpe. Die bisherigen geologischen Untersuchungen legen nahe, dass eine solche Wärmequelle nicht vorhanden ist (siehe Kapitel 3).
- **Industrielle Prozesse:**
In einigen Fällen können Großwärmepumpen die Wärmeenergie aus industriellen Prozessen nutzen. Das können Abwärmquellen wie Kühlanlagen, Abgase oder Produktionsabläufe sein, bei denen Wärme freigesetzt wird. In der Stadt konnte keine ausreichende Quelle für Abwärme gefunden werden. Zwar gibt es industrielle Abwärme in der Stadt. Um keine Abhängigkeit¹³ von einem privatwirtschaftlich agierenden Unternehmen zu erzeugen, wird dieser Weg in der Untersuchung nicht weiterverfolgt.

4.2. Wärmepumpenstationen

Während eine Wärmepumpe ungereinigtes Abwasser nutzen soll (s. 4.1.2), sollen die restlichen Pumpen Grundwasser als Quelle verwenden.

Der Leistungsbedarf Wärmepumpenstation 1 beträgt laut der Stadtwerke von Hajnówka für die beiden Sektoren, die beliefert werden sollen, $5,76 \text{ MW}$ und $4,9 \text{ MW}$. Dies entspricht einer gesamten Leistung von $10,66 \text{ MW}$. Die WP-Anlage erbringt ca. 52 Prozent der erforderlichen Heizleistung und wird bis ca. minus zwei Grad Celsius das Netz allein versorgen können. Diese Wärmepumpenstation eins am Kesselhaus Mala könnte mit acht Großwärmepumpen¹⁴ ausgestaltet, jeweils zwei parallel in Kaskade geschaltet (auf der Senkenseite = Wärmenetz). Die Quellenergie für die sieben Wärmepumpen ist Grundwasser. Für die achte Wärmepumpe ist Abwasserenergie mittels eines Kanal-Wärmetauschers im Hauptsammler vorgesehen (s. o.). Als Speicher sollte ein Schicht-Pufferspeicher für die Wärmepumpen-Kaskade eingesetzt werden, der mindestens 110 m^3 umfasst. Des Weiteren sind zwei Wärmespeicher mit je 150 m^3 zu empfehlen, um

¹³ Änderungen in den Produktionsprozessen oder der Betriebsweise der Firma können sich auf die Verfügbarkeit und Qualität der Abwärme auswirken. Es ist wichtig, dies bei der Planung und beim Abschluss von Vereinbarungen mit der Firma zu berücksichtigen.

¹⁴ Vom Typ Ochsner WP IWWHS 740 ER7c2.

überschüssigen Wind- oder PV-Strom zur Wärmeerzeugung zu nutzen und die Wärmemengen einspeichern zu können.¹⁵

In der Wärmepumpen Station 2 (Kesselhaus Podlasie) sollten fünf Großwärmepumpen eingesetzt werden, ebenfalls in Kaskade geschaltet. Die Quellenergie der fünf Wärmepumpen ist ausschließlich Grundwasser. Die Schicht-Pufferspeicher für die Wärmepumpen Kaskade sollten mindestens 70 m³ vorgesehen werden. Als Wärme-Speicher im Netz wären einmal 150 m³ zu empfehlen. Die Speicher können kleiner als in Station 1 ausfallen, da auch weniger Wärmepumpen installiert werden.

Der COP-Wert beträgt im Durchschnitt etwa 3,1¹⁶. Die statistische Toleranz beträgt 10 Prozent. Nach Erfahrungswerten muss zusätzlich vom COP-Wert etwa 15 Prozent für den Betrieb¹⁷ der Pumpen abgezogen werden. Auf der Grundlage von archivierten Wetterdaten und dem so genannten durchschnittlichen jährlichen Koeffizienten der Produktionseffizienz (COP) in Abhängigkeit von den Außentemperaturen wurde der Strombedarf für den Betrieb der Wärmepumpen mit der dazugehörigen Infrastruktur prognostiziert. Dieser Koeffizient beschreibt das Verhältnis zwischen dem Strombedarf und der erzeugten Wärmemenge.

Tabelle 5: Wärmepumpenstation 1 und 2 Zusammenstellung.

	WP-Station 1			WP-Station2			WP 1 +2	Summe 1 + 2 WP + Kessel
	8 WP	Kessel-leistung	Gesamt	5 WP	Kessel-leistung	Gesamt		
Heizleistung QH in kW	5.564,0	5.087,2	10.651,2	3.503,0	3.488,4	6.991,4	9.067,0	17.642,6
elektrische Leistungsaufnahme N in kW	1.802,0			1.131,0			2.933,0	
Kühlleistung QK ¹⁸	3.762,0			2.372,0			6.134,0	
COP Hzg	3,1			3,1			3,1	

Die beiden Wärmepumpen Stationen decken etwas über 50 Prozent der erforderlichen Heizleistung für das Wärmenetz ab und leisten etwa 90 Prozent der Jahresheizarbeit.

Die elektrische Leistung im Betriebspunkt beträgt knapp 3.000 kW. Mit den für den Betrieb erforderlichen 15 Prozent beträgt die erforderliche elektrische Leistung etwa 3.500 kW.

Bei niedrigeren Außentemperaturen müssten Kesselanlagen, z.B. ein Biomassekessel, die zusätzlich erforderliche Heizleistung bereitstellen. Die Wärmepumpenstation kann grundsätzlich auch Vorlauf-Temperaturen über 80 Grad Celsius erbringen (bis maximal 90 Grad Celsius). Der Effizienzwert verringert sich dann allerdings.

Diese Überlegungen zeigen, dass es rein technisch möglich ist, das Wärmenetz der Stadt zu einem großen Teil zu dekarbonisieren und durch Wärmepumpen zu versorgen.

¹⁵ Ein Schicht-Pufferspeicher ist eine spezielle Art von Wärmespeicher, die verwendet wird, um Wärme aus einer Wärmequelle und bei Bedarf abzugeben. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Pufferspeicher, der die Wärmeenergie einfach speichert und später wieder abgibt, ist ein Schicht-Pufferspeicher in der Lage, die Wärmeenergie in Schichten zu speichern und abzugeben.

Ein Schicht-Pufferspeicher besteht aus mehreren Schichten mit unterschiedlichen Temperaturen. Die Schichten werden durch eine Schichtungseinrichtung, wie z.B. ein T-Stück oder eine Schichtplatte, voneinander getrennt. Die wärmere Wärmequelle speist das warme Wasser in die oberste Schicht des Schicht-Pufferspeichers ein, wo es sich ansammelt und abkühlt, bis es die Temperatur der darunterliegenden Schicht erreicht hat. Sobald die obere Schicht abgekühlt ist, wird die Wärmequelle eingeschaltet, um das Wasser in der obersten Schicht wieder aufzuheizen und den Vorgang zu wiederholen.

¹⁶ In Wärmepumpenstation 1 bei 3,09.

¹⁷ Nebenaggregate, Förderpumpen für den Brunnen, Umwälzpumpen der WP – Kaskaden etc.

¹⁸ Die Kühlleistung bestimmt die Fähigkeit der Wärmepumpe, die gewünschte Kälteleistung bereitzustellen und die Temperatur des gekühlten Mediums auf den gewünschten Wert zu senken.

5. Strombedarfsdeckung der Wärmepumpen durch Erneuerbare Energien

Die optimale Strombedarfsdeckung für das Projekt in Hajnówka ist die Erzeugung von Energie aus eigenen erneuerbaren Quellen bei gleichzeitiger Nutzung der Energie durch die dieser Gemeinde zugewiesenen Verbrauchsstellen (Wärmepumpen und anderes).

Das Energieverbrauchsprofil der Anlagen und Wärmepumpen überschneidet sich nicht vollständig mit dem Energieerzeugungsprofil von Photovoltaikanlagen, so dass auch Windquellen genutzt werden, sollten. Im Rahmen der Abrechnung und des Ausgleichs der erzeugten Energie muss auch die Energie aus dem öffentlichen Stromnetz genutzt werden.

Obwohl es möglich ist, mit EE-Technologien im Rahmen des Jahresprofils, sich bilanziell vollständig selbst zu versorgen, d.h. die gleiche Energiemenge zu erzeugen wie nachgefragt wird, wird es nicht möglich sein, Erzeugung und Nachfrage im Rahmen von Tages- und Stundenbilanzen vollständig auszugleichen. Auftretende Abweichungen müssen über das öffentliche Stromsystem durch den Verkauf von Überschüssen und den Kauf von Fehlmengen ausgeglichen werden. Um die grüne Energie aufrechtzuerhalten, wird es sich bei der Abnahme von Energie aus dem System um Energie mit einem Herkunftsnachweis handeln, d.h. aus anderen EE-Quellen - z.B. Biogasanlagen.

EE-Anlagen erfordern in der Betriebsphase keine nennenswerte Steuerung durch den Betreiber, und die laufende Wartung beschränkt sich auf zyklische (in der Regel jährliche) technische Inspektionen. Zur Auslegung der erneuerbaren Anlagen und zur Abschätzung der zeitgleichen Leistungsabdeckung des Strombedarfs aus den erneuerbaren Anlagen zur Versorgung der Wärmepumpen wird ein stündliches Leistungsprofil des Strombedarfes der Wärmepumpen benötigt. Um dieses stündliche Leistungsprofil der Stromaufnahme zu generieren, ist zunächst der stündliche Heizleistungsbedarf des Netzes zu ermitteln.

Die Grundlage für die Analyse des Einsatzes Erneuerbarer Energien und die Schätzung der Kosten für die Bereitstellung von Energie für die oben dargestellte Wärmepumpenanlage ist die Darstellung der Trends, die den Energiemarkt derzeit prägen. Infolge steigender Kosten von den fossilen Energieträgern (verstärkt durch den Angriffskrieg Russland auf die Ukraine) ist in Polen ein Anstieg der Energiepreise zu beobachten.

Diese Veränderungen werden - mit unterschiedlichem Erfolg - von der Gesetzgebung begleitet, einerseits mit Ad-hoc-Schutzmaßnahmen wie Subventionen gegen steigende Preise, andererseits mit neuen Abgaben, die die Kosten für die Endverbraucher erhöhen, während emissionsintensive Anlagen erhalten, bleiben. In dieser Situation ist der Bau eigener Kraftwerke eine gute Lösung, um die Stromkosten zu senken und die mit den Strompreissteigerungen verbundenen Risiken zu mindern.

Im Rahmen dieses Konzepts wurde eine Energiebilanz für Strom für die Stadt Hajnówka und eine Energiebilanz für den Einsatz von Wärmepumpen im Wärmenetz der Stadt erstellt. Die Daten wurden von der Stadt zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage wurde die Leistung der Anlage zur Erzeugung von ausreichend Energie für eine Bedarfsdeckung berechnet. Es wurde aufgezeigt, welche Auswirkungen das Auseinanderklaffen von Energieerzeugungs- und verbrauchsprofilen für die untersuchten Einheiten hat, was den Einsatz unterschiedlicher Erzeugungstechnologien und den Zukauf von Fehlmengen bzw. den Verkauf von Überschüssen an das Stromnetzerforderlich macht.

5.1. Ermittlung des Strombedarfs

Es ist zu betonen, dass es sich bei dem Strombedarf für die Wärmepumpen um Schätzungen handelt und dass sie während des physischen Betriebs der Wärmepumpenerzeugungsquellen von den angenommenen Werten abweichen können. Dies hängt von den Einflussfaktoren ab, die sich auf den Betrieb der Wär-

mepumpen auswirken, nämlich dem Wärmeenergiebedarf auf der Verbraucherseite, der vor allem durch niedrige Außentemperaturen beeinflusst wird.

Da die Projektidee darin besteht, den Energiebedarf für den Wärmepumpenbetrieb so weit wie möglich durch EE-Quellen zu decken, ist eine Aufschlüsselung des Bedarfs auf Tages- und Stundenbasis erforderlich. Durch die Überlagerung von Bedarfsprofilen mit Stromerzeugungsprofilen können Energieüberschüsse und -defizite ermittelt werden. Auf der Grundlage der Strombilanz kann versucht werden, die Erzeugungstechnologien so auszuwählen, dass die Eigenversorgung, d. h. der Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch, nahezu 100 Prozent beträgt.

Auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten über die Erzeugung von Wärmeenergie, die in das Fernwärmenetz eingespeist wird, wurde unter Anwendung eines COP-Faktors der Energiebedarf der Wärmepumpen ermittelt.

Der Strombedarf wird durch Korrelation des Wärmebedarfs mit der Außentemperatur ermittelt. Die von PEC Hajnówka zur Verfügung gestellten Daten zum Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Temperatur wurden als Benchmark für den Wärmebedarf herangezogen. PEC hat im Juni 2022 ein Messsystem installiert, so dass die zur Verfügung gestellten Daten nur die Hälfte des statistischen Jahresheizzyklus abdecken. Diese Daten wurden durch historische meteorologische Daten des Instituts für Meteorologie und Wasserwirtschaft ergänzt. Der Stromverbrauch wurde dann hochgerechnet. Wie im vorherigen Kapitel erwähnt, wird für die Berechnungen ein COP von 3,1 für die Wärmepumpenstation eins und ein COP von 3,09 für die Wärmepumpenstation zwei angesetzt (siehe Kapitel 4.2).

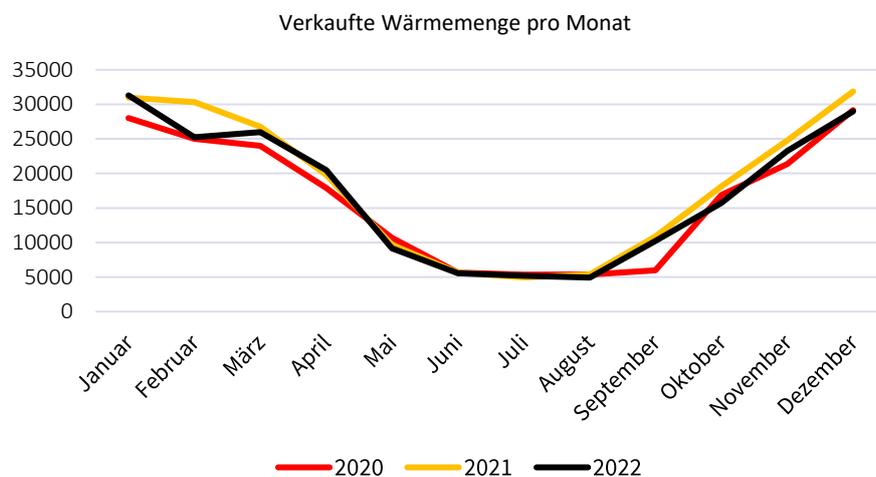


Diagramm 8: Verkaufte Wärmemenge pro Jahr nach Monaten

Die verkaufte Fernwärme der letzten Jahre ist nach Monaten und Standorten aufgelistet in der obigen Grafik. Die Datentabelle befindet sich im Anhang. Das Diagramm zeigt, dass die verkaufte Wärmemenge über die letzten drei Jahre recht gleich verläuft. 2021 war der Winter etwas härter, wodurch auch mehr geheizt wurde.

Zu dem Leistungsbedarf von jeweils drei Megawatt der Wärmepumpenstationen sind noch ca. 500 Kilowatt hinzuzurechnen, die für den Betrieb von Hilfsaggregaten und Pumpen notwendig sind. In den folgenden Tabellen ist der voraussichtliche Strombedarf einmal nach Stunden und einmal nach Monaten für die Sektoren zusammengefasst. Wobei die Sektoren eins und zwei, sowie drei und vier zusammengefasst werden, da sie jeweils von einer Wärmepumpenstation beheizt werden sollen.

Der weitere Analyseprozess umfasste die Entwicklung von drei verschiedenen Strombedarfsprofilen für die Stadt Hajnówka. Die Analyse wurde auf der Grundlage von Daten durchgeführt, die von der lokalen

Regierungseinheit zur Verfügung gestellt wurden. Neben der Versorgung der Wärmepumpen wird auch eine Stromversorgung der Stadt überprüft. Wobei eine Versorgung der Wärmepumpe und der öffentlichen und kommunalen Einrichtungen die Aufgabenstellung bereits erfüllen würde, wird ebenfalls betrachtet, ob das Potenzial der Erneuerbaren Energien auch noch für weitere Teile der Stadt ausreicht. Die Analyse fand in drei Profilen statt:

- Profil 1: Stromverbrauch für Wärmepumpen, öffentliche Einrichtungen, kommunale Einrichtungen und Straßenbeleuchtung.
- Profil 2: Profil 1 erweitert um Stromnachfrage der lokalen Unternehmen
- Profil 3: Profil 2 erweitert um den Stromverbrauch der privaten Haushalte.

Die Datentabelle, die durch die Graphen dargestellt werden, befinden sich im Anhang.

Tabelle 6: Energieverbrauchsstrukturprofile

Empfänger	Energiebedarf Profil 1 [kWh]	Energiebedarf Profil 2 [kWh]	Energiebedarf Profil 3 [kWh]
Tarif G	-	-	15.257.244
Tarif C	1.577.303	9.084.443	9.084.443
Tarif B	3.579.921	21.612.008	21.612.008
Beleuchtung	376.265	376.265	376.265
Wärmepumpen	16.175.362	16.175.362	16.175.362
GESAMT	21.708.850,74	47.248.077,84	62.505.321,84

Quelle: eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von PGE Dystrybcja S.A.

Der Energiebedarf zwischen Profil 1 und 2 steigt mehr als das Doppelte, wenn Unternehmen der Tarife B und C auch versorgt werden sollen. In Profil 3 sind am meisten Abnehmer enthalten, weswegen der Strombedarf mit knapp 62.505 Megawattstunden auch am höchsten ausfällt. Der Energiebedarf steigt dort nochmal um knapp 15.000 Kilowattstunden, da die privaten Haushalte ebenfalls mit Erneuerbaren Energien beliefert werden sollen. Als nächstes folgen der monatliche Energiebedarf der drei Profilen in Diagrammen.

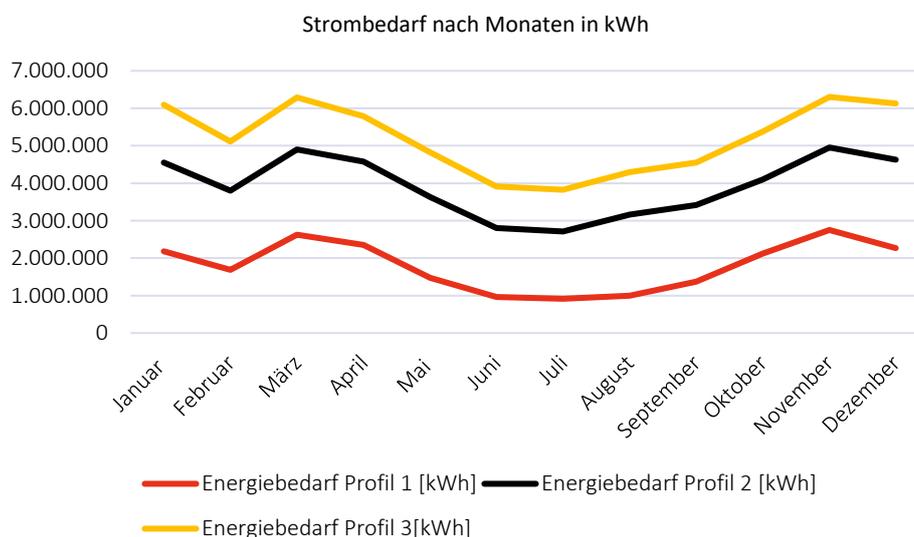


Diagramm 9: jährlicher Strombedarf der drei Profile nach Monaten.

Quelle: eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von PGE Dystrybcja S.A.

Der Energiebedarf ist in den Monaten November, Dezember und März am höchsten. Es handelt sich auch um die Monate mit dem höchsten Heizbedarf. Dies ändert sich über die Profile kaum. Insgesamt steigt der Energiebedarf, da auch mehr Abnehmer in dem Profil enthalten sind. Die Graphen verlaufen parallel mit jeweils knapp 2.00 MWh Stunden Abstand zueinander.

5.2. Ermittlung der erforderlichen Leistung EE zur Deckung des Strombedarfs

Nachdem nun der Strombedarf alle drei Profile dargestellt wurde, widmet sich dieses Kapitel nun der Deckung dieses Bedarfs. Bei der Betrachtung der Möglichkeit, den Strombedarf aus EE-Quellen zu decken, wurden die Möglichkeit zum Bau von Anlagen analysiert. Unter Bezugnahme auf die Potenzialstudie „Energie-, Luftreinhaltungs- und Klimaschutzplan für den Powiat Hajnówka und seine Kommunen Teil 2 Energie-, THG- und Schadstoff-Bilanz – Potenzialanalysen“ aus dem Rahmenprojekt „Ressourcenschonende Regionalentwicklung in Podlasien“ der Euronatur Stiftung (EFV 2018) ist das Potenzial für die Installation von erneuerbaren Energiequellen auf dem Gebiet der Stadt und Gemeinde Hajnówka in der folgenden Tabelle dargestellt. Als diese Analyse erstellt wurde, galt in Polen noch eine H10-Abstandsregelung für Windenergieanlagen.

Tabelle 7: Elektrizitätserzeugungspotenzial in der Gemeinde Hajnówka.

Art der Installation	Leistung [MWe]	Fläche [m ² / ha]
Standort-Photovoltaik	1,88	
Freiflächen-Photovoltaik	68,0	81,6
Kleine Windenergieanlagen	0,16	
Windenergieanlagen*	78,0	

*Entfernungskriterium - 1 km von Wohngebäuden entfernt. Quelle: EFV 2018.

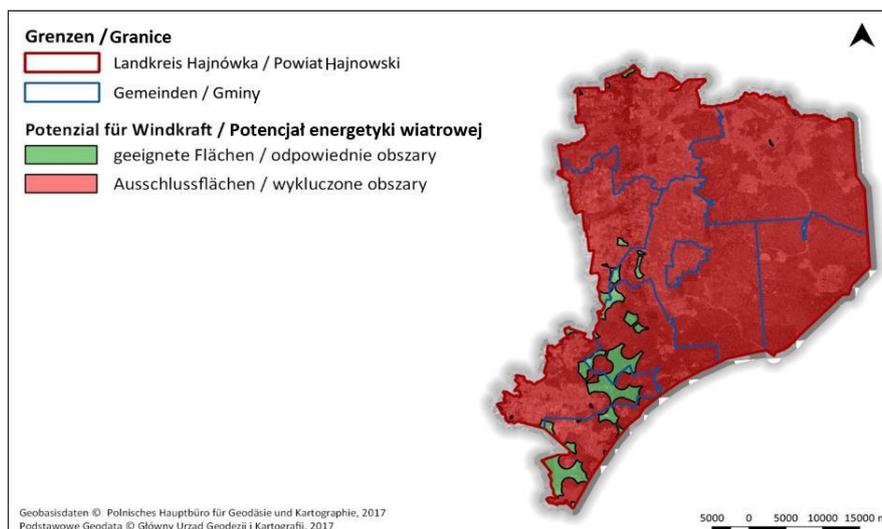


Abbildung 5: Potenzieller Standort von Windenergieanlagen, Abstand zur Wohnbebauung 1.000 m, Quelle: EFV 2018.

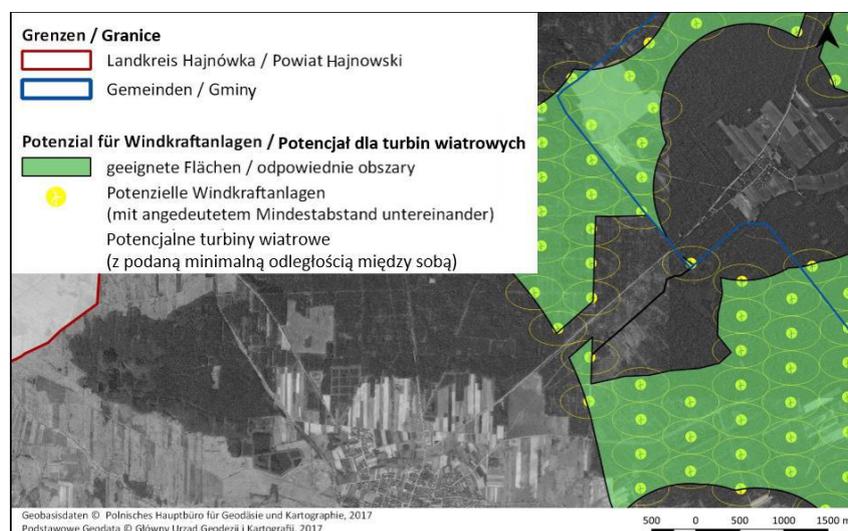


Abbildung 6: Baudichte von Windenergieanlagen, Abstand zur Wohnbebauung 1.000 m, Quelle: EFV 2018.

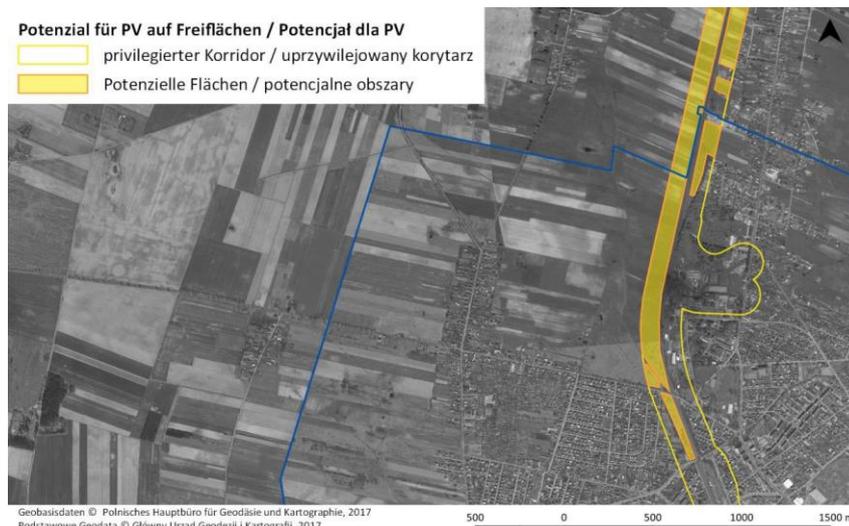


Abbildung 7: Mögliche Standorte für PV-Anlagen, Quelle: EFV 2018.

Die Abbildungen sowie die Datentabelle zeigen, dass das vorhandene Potenzial ohne weiteres ausreicht, um die Stromnachfrage mit Photovoltaik- und Windenergiequellen auszugleichen. Insgesamt könnten rein theoretisch 433 Windräder errichtet werden, was elf Mal so viel Strom erzeugen würde wie verbraucht wird (EFV 2018). Wenn nur die geeigneten Flächen (grün) mit einem Abstand von 1.000 Metern zu einer Bebauung genommen betrachtet werden, könnten etwa 24 Windenergieanlagen mit einer Leistung von insgesamt ca. 72 MW installiert werden. Auf Basis der vorhandenen Windprognosen sollten die Windräder insgesamt etwa 157.200 MWhel erzeugen können. Dies entspricht bereits etwa 92 Prozent des gesamten Stromverbrauchs im Jahr 2018 (EFV 2018) in Höhe von ca. 169.634 MWhel Strom pro Jahr.

Als mögliche Standorte für Photovoltaik werden vor allem in einem 110m-Korridor entlang vorhandener überregionalen Verkehrsflächen und Bahnschienen (vorbelastete Flächen), auf Konversionsflächen (z.B. Steinbrüche, ehemalige Müllhalden, vormals militärisch genutzte Flächen) und Flächen außerhalb von Waldgebieten angezeigt (EFV 2018).

Die Investitionskosten pro MW installierter Leistung bei Erneuerbaren Energien sind deutlich niedriger als bei fossilen Technologien (FOES 2021). Der offensichtliche Nachteil ist die fehlende so genannte Regelbarkeit, aber bei Kenntnis der üblichen Energieerzeugungsprofile kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass 1 MW Photovoltaikanlage etwa 1.000 – 1.050 MWh Energie pro Jahr (Joint Research Center 2022) und 1 MW Windenergie etwa 2.000 – 2.500 MWh erzeugen kann (EFV 2018). Ein Vergleich der verschiedenen Profile und Zielgruppen wird im Folgenden zusammengefasst.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Profilbilanz.

Position	Ernennung	Profil I	Profil II	Profil III
PV-Freiflächenkraftwerke	kW	3.900,00	5.100,00	5.350,00
WIND-Kraftwerkskapazität	kW	8.200,00	19.500,00	26.400,00
Produktion von PV-Anlagen	kWh/Jahr	3.997.500,00	5.227.500,00	5.483.750,00
Wind Produktion	kWh/Jahr	17.712.000,00	42.120.000,00	57.024.000,00
Energieerzeugung	kWh/Jahr	21.709.500,00	47.347.500,00	62.507.750,00
Elektrizitätsverbrauch	kWh/Jahr	21.708.850,74	47.248.077,84	62.505.321,84
Selbstverbrauch	%	60,84%	64,46%	63,92%
Indikator für die Selbstversorgung	%	100,00%	100,21%	100,00%

Quelle: eigene Ausarbeitung

Eine Analyse der Möglichkeit, den Strombedarf aus erneuerbaren Energiequellen zu decken, hat gezeigt, dass dies ein technisch erreichbares Ziel für alle drei Profile ist. Gleichzeitig übersteigt die installierte Ka-

pazität, die gebaut werden muss, um eine jährliche bilanzielle Autarkie von 100 Prozent zu erreichen, nicht das lokale Erzeugungspotenzial aus der bereits zitierten Potenzialanalyse (EFV 2018).

In Anbetracht der Tatsache, dass die Stadt Hajnówka in erster Linie ihren eigenen Stromerzeugungsbedarf decken möchte, wurde das Profil I als Grundlage für die wirtschaftliche Analyse genutzt.

6. Wirtschaftlichkeitsrechnung

Neben der technischen ist die wirtschaftliche Ebene sehr wichtig und wird in diesem Kapitel untersucht.

6.1. Investitionskosten

Die Investitionskosten dienen zur Veranschaulichung und als Anhaltspunkt - es kann jedoch nicht gesagt werden, dass es sich dabei um die endgültigen Kosten handelt.

Bei der Schätzung der Investitionskosten liegt der Schwerpunkt auf den Kosten im Zusammenhang mit der Durchführung der Investition bereits in der Planungsphase. Der Prozess vor der Investition betrifft administrative Tätigkeiten wie z. B.:

- Bodenuntersuchung (empfohlene Maßnahme zur Bestimmung der Stabilität des Bodens für Photovoltaik- und Windenergieanlagen,
- Durchführung des Umweltverfahrens und Erlangung einer Umweltentscheidung,
- Bearbeitung des Antrags auf Anschlussbedingungen und Entrichtung der Anschlussgebühr,
- Verfahren für die Anhörung der Öffentlichkeit für den Fall, dass eine Änderung des IKZM erforderlich wird,
- Verfahren zur Änderung des lokalen Raumentwicklungsplans.

Diese Kosten sind nicht von einer bestimmten Herstellungstechnologie abhängig und unabhängig von dem endgültigen Konzept, das umgesetzt wird.

Die Investitionskosten sind insbesondere im Zeitraum zwischen 2022 und 2023 aufgrund der wirtschaftlichen Situation in Polen und ganz Europa erheblich gestiegen. Zu empfehlen ist eine Marktuntersuchung, bevor eine endgültige Entscheidung getroffen wird. Der endgültige Preis wird wesentlich durch die Tatsache beeinflusst, dass ein Teil der Montagetarbeiten und einige Komponenten in der Landeswährung eingekauft werden - die Grundkomponenten der Stromerzeugungseinheiten werden dagegen nach dem aktuellen Wechselkurs von Euro und US-Dollar umgerechnet. Die Investitionskosten dienen zur Veranschaulichung und als Anhaltspunkt - es kann jedoch nicht gesagt werden, dass es sich dabei um die endgültigen Kosten handelt. Insbesondere bei lokalen Regierungseinheiten kann es vom Zeitpunkt der Entscheidung bis zur physischen Realisierung der Investition ca. 36 Monate dauern, was nicht nur durch die Vorbereitung der Investition in der Vorinvestitionsphase (d.h. Umweltbeschluss, Bebauungsplan, Anschlussbedingungen), sondern auch durch die Beschaffung von Fremdmitteln und die Dauer der Ausschreibungsverfahren bestimmt wird.

Bei den Investitionskosten wurde von folgenden Werten pro MW installierter Leistung ausgegangen. Der Preis beinhaltet auch den Bau eines Umspannwerks als Infrastruktur für die Einspeisung in das Stromnetz.

Tabelle 9: Investmentkosten der Erneuerbaren Energien in PLN und Euro, Eigene Darstellung.

	Kosten pro MW in PLN	Kosten pro MW in EUR	Insgesamt in PLN	Insgesamt in EUR
Kosten für PV	3.500.000,00	776.650,00	13.650.000	3.031.665
Windenergieanlagen	5.700.000,00	1.264.830,00	46.740.000	10.380.954

Für die Anlagen der Erneuerbaren Energien muss mit knapp 50 Millionen PLN bzw. 14 Millionen Euro gerechnet werden. Hinzukommen noch die Investitionskosten für die Großwärmepumpen und eines Speichern siehe dazu die folgende Tabelle.

Tabelle 10: Investmentkosten der Wärmepumpen in Euro, mit zwei möglichen Förderungsätzen. (30 und 70%). Eigene Darstellung

	Kapitalkosten	Investment bei Förderung		Nutzungsdauer	Kapitaldienst bei Förderung €/a	
		30 %	70 %		30%	70%
Wärmepumpe	5.869.450	4.108.615	1.760.835	20 Jahre	263.556	112.953
Hydraulik + Speicher	2.197.600	1.538.320	659.280	30 Jahre	73.497	31.499
Grundwasser	1.230.000	861.000	369.000	30 Jahre	41.137	17.630
Kapitalkosten Gebäude	2.100.000	1.470.000	630.000	50 Jahre	51.829	22.213
Gesamtinvest EWP	11.397.050					
Abschreibung Gaskessel	1.050.000	1.050.000	1.050.000	20 Jahre	67.354	67.354
Summe kapitalgebunden Kosten in €/a					497.374	251.648

Insgesamt sind demnach mit Investitionskosten in einer Größenordnung von 112 Millionen PLN bzw. 25 Millionen Euro zu rechnen.

6.2.Kosten der Energieerzeugung

Im Hinblick auf die Investitionskosten wurden die Betriebskosten und die Betriebskosten über einen Betriebszeitraum von 25 Jahren zusammengestellt, um den Preis der Energieerzeugung pro Energieeinheit zu ermitteln. Für die Berechnung wird davon ausgegangen, dass keine Kredite notwendig seien. Für die Kapitalkosten werden der Einfachheit wie Werte in konstanten Preisen für PV und Windenergie angenommen, wie in folgenden Tabellen aufgelistet.

Tabelle 11: Betriebs- und Wartungskosten für 1 MW PV und für 1 MW Windenergie.

Position	Kosten PV [Netto PLN/Jahr].	Kosten PV [Netto PLN/ 25 Jahre].	Kosten Wind [Netto PLN/Jahr].	Kosten Wind [Netto PLN/ 25 Jahre].
Versicherung*	21.000,00	525.000,00	34.200,00	855.000,00
Inspektion	10.000,00	250.000,00	30.000,00	750.000,00
Rasenmähen	5.000,00	125.000,00	-	-
Modul Waschen	4.000,00	100.000,00	-	-
Reparaturkosten	41.280,00	1.032.000,00	54.720,00	1.094.400,00
Energie für den Eigenverbrauch**	2.050,00	51.250,00	4.320,00	108.000,00
GESAMT PV	83.330,00	1.876.850,00	123.240,00	2.807.400,00

* Versicherung in Höhe von 0,6 % des Investitionswerts.

** Energieverbrauch für den Eigenbedarf 0,2% pro Jahr x 1000 PLN/MWh.

Quelle: eigene Ausarbeitung.

Da die Kraftwerke in städtischen Gebieten stehen werden, in denen die Gemeinde Hajnówka Eigentümer ist, wurden keine Pachtgebühren einkalkuliert.

Auf der Grundlage der ermittelten Betriebskostenschätzung für einen 25-jährigen Betrieb einer Photovoltaik- und Windenergieanlage wurden die Erzeugungskosten für 1 MWh Strom aus Erneuerbaren Energien ermittelt. Die Investitionskosten wurden zu den Betriebskosten über einen Zeitraum von 25 Jahren addiert und dieser Wert wurde durch die in diesem Zeitraum erzeugte Energiemenge geteilt. Auf diese Weise wurden, die in der folgenden Tabelle angegebenen Stromerzeugungskosten pro MWh ermittelt.

Tabelle 12: Kosten der Erzeugung von 1 MWh aus jeweils PV und Windenergie über 25 Jahre in PLN.

Position	1 MWh aus PV	1 MWh aus Windenergie
Nettoinvestitionen PLN	3.500.000,00	5.700.000,00
Betriebskosten /25 Jahre/	1.876.850,00	2.807.400,00
Erzeugte Energie /25 Jahre/	24.036 MWh	50.625 MWh
Kosten für die Erzeugung von 1 MWh	223,70 PLN	167,96 PLN

Quelle: eigene Ausarbeitung

Demnach kostet die Erzeugung von einem MWh 224 PLN bzw. ca. 49 Euro aus Photovoltaik und 167,96 PLN bzw. 37 Euro aus Windenergie und befindet sich somit deutlich unter den durchschnittlichen Preisen an der polnischen Strombörse (Globalpetrolprices.com 2022). Zum Vergleich in Deutschland belief sich der Höchstwert für die Ausschreibungen für Windenergie an Land und für Photovoltaik-Freiflächen für die Gebotstermine im Jahr 2023 auf 73,5 Euro bzw. 73,7 Euro/329 PLN pro MWh¹⁹ (Bundesnetzagentur 2023a und 2023b).

6.3. Zukünftiger Wärmepreis

Ausgehend von Investitionskosten und der voraussichtlichen laufenden Kosten, lässt sich ein zukünftiger Wärmepreis errechnen.

6.3.1. Annahmen Strompreise

Es wurde von einem aktuellen Netzstrompreis von 1 PLN bzw. 0,20 EUR pro kWh für private Kund:innen ausgegangen (wysokienapiecie.pl 2022). Für den Wärmepumpenstrom wurde ein vergünstigter Netzstrompreis von 0,81 PLN bzw. 18 EUR pro kWh (180 €/MWh) aus dem Netz als Ist-Wert angesetzt, da sie aufgrund ihres Verbrauchsprofils und ihrer Leistungsabnahme in eine günstigere Verbrauchsklasse fallen.

Tabelle 13: Annahmen zur Strompreisermittlung. Eigene Annahmen.

	PLN/Euro pro kWh
Netzstrompreis	1 PLN/ 0,20 EUR
Netzstrompreis für Wärmepumpen	0,81 PLN/ 0,18 EUR
Eigenstromversorgung Wärmepumpen	388 PLN/ 86 EUR
Verteilungsgebühr	207 PLN / 46 EUR

Für den Stromversorgung der Wärmepumpen aus den Erneuerbaren Energie-Anlagen (Eigenversorgung mit Wind + PV) wurde ein durchschnittlicher Preis von knapp 388 PLN/86 EUR pro MWh angenommen (2/3 Wind, 1/3 PV). Des Weiteren wurde die Verteilungsgebühr mit durchschnittlich 207,47 PLN bzw. 46 EUR pro MWh als Basiswert angesetzt.

Kosten für einen möglichen (Bio)gaskessel, um die restlichen 10 Prozent der Jahresheizarbeit abzudecken wurden aus Erfahrungswerten entnommen. Die Kosten eines Wärmespeichers wurden hingegen nicht berücksichtigt.²⁰ Es ist aber davon auszugehen, dass sich ein Wärmespeicher positiv auf die Wirtschaftlichkeit ausübt.

6.3.2. Szenarien

Es wurden zwei Basisszenarien gewählt, bei denen das Heizsystem weiterhin mit Kohle betrieben wird.

¹⁹ Wind: 7,35 Cent pro kWh, PV: 7,37 Cent pro kWh.

²⁰ Eine detaillierte Wirtschaftsanalyse mit Speichern sollte in einer Umsetzungsplanung berücksichtigt werden. Dies konnte in dieser Machbarkeitsstudie aufgrund von fehlenden Daten nicht erfolgen.

Da die Entwicklung des Steinkohlepreises sehr schwierig einzuschätzen ist, wurden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Preisen berechnet.

Ein Szenario wurde mit einem Kohlepreis von 676 PLN/150 Euro/Tonne Steinkohle berechnet. Dies entspricht dem Preis vor dem Beginn des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine. Als Vergleichsszenario wurde ein Kohlepreis von 1.221 PLN /272 Euro pro Tonne gewählt. Dies entspricht dem hohen Preis von 2022²¹. Den Szenarien mit einer fortwährenden Kohlenutzung wurden zwei Szenarien mit Großwärmepumpen, die Strom aus neuen EE-Anlagen nutzen, gegenübergestellt.²² Die Szenarien unterscheiden sich darin, dass im zweiten der Einsatz von zusätzlichen Wärmespeichern analysiert wurde.²³

Tabelle 14: Übersicht der Eckdaten gewählten Basisszenarien mit Kohle

Szenario	Kohlepreis pro Tonne
Kohleszenario 1	1.221 PLN/ 272 EUR
Kohleszenario 2	676 PLN/ 150 EUR

Tabelle 15: Übersicht der Eckdaten gewählten Szenarien mit Wärmepumpen

Szenario	Gaspreis pro MWh	Förderhöhe
Wärmepumpen	405 PLN/90 EUR	70%
Wärmepumpen + Speicher	405 PLN/90 EUR	70%

Bei beiden Varianten mit Wärmepumpen wurde mit einem neuen Gaskessel gerechnet, der an sehr kalten Tagen die fehlenden 10 Prozent Heizleistung zur Verfügung stellt. Dort wurden 405 PLN/90 EUR pro MWh als Werte genommen.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Anteil von 70 Prozent der Investitionskosten für die Wärmepumpen durch öffentliche Fördermittel finanziert werden kann.²⁴

6.3.3. Vergleich der Betriebs- und Verbrauchskosten (ohne CO2-Kosten)

Im folgenden Diagramm sind die jährlichen Betriebs- und Verbrauchskosten²⁵, der in der vorherigen Tabelle aufgelisteten Szenarien dargestellt. Der ab 2027 für den Wärmesektor geltende europaweite Emissionshandel für Wärme und Mobilität (ER 2023) ist in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Verbrauchsgebundene Kosten bei Heizsystemen sind Kosten, die direkt mit dem Verbrauch von Heizenergie verbunden sind. Je effizienter ein System ist, umso geringer die Verbrauchskosten.

Eine genauere Auflistung der Kosten befindet sich im Anhang. Diese Kosten bilden die Grundlage der Ermittlung des zukünftigen Wärmepreises.

²¹ Wert von Stadtwerken erhalten.

²² Wobei die Betriebs- und Investitionskosten der EE-Anlagen mit einer Stromerzeugung über 25 Jahre abgeschrieben werden.

²³ Mit einer geplanten Nutzungsdauer von 30 Jahren.

²⁴ Direktförderungen bzw. vergünstigte Kredite sind denkbar.

²⁵ Ohne CO2-Kosten

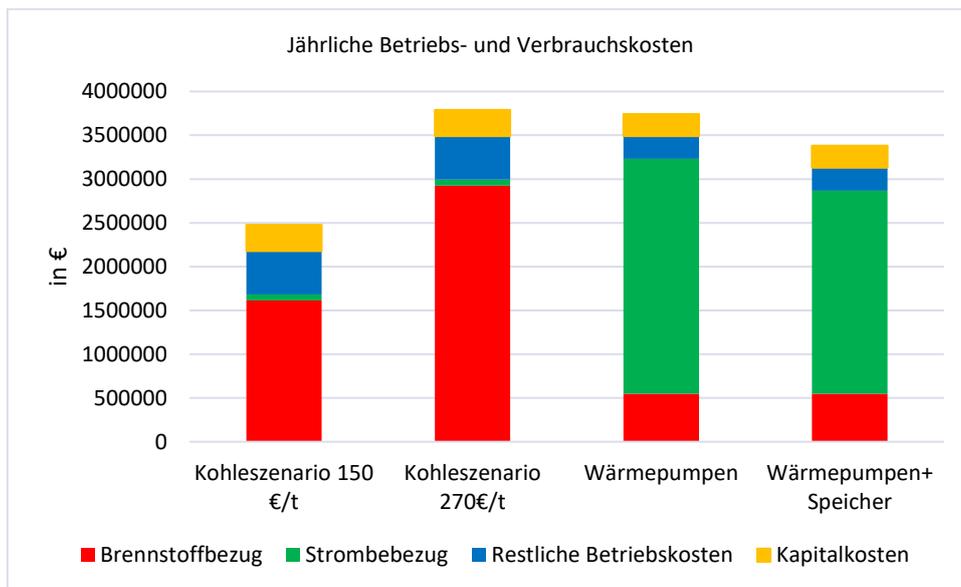


Diagramm 10: Zusammenstellung der jährlichen betriebsgebundenen sowie der Verbrauchskosten in Euro nach jetzigen Rahmenbedingungen für Szenarien (bestehendes Wärmenetz bei zwei unterschiedlichen Kohlepreisen + Wärmepumpenszenarien ohne und mit Wärmespeicher). Eigene Darstellung.

Es zeigt sich, dass bei Kohlepreisen aus der Zeit vor dem Krieg in der Ukraine das aktuelle System die geringsten Betriebs- und Verbrauchskosten aller Szenarien aufweist. Gleichzeitig wird deutlich, dass hohe Kohlepreise wie in 2022 die Kosten auf das gleiche oder über das Niveau der Wärmepumpensysteme hebt. Dies zeigt die hohe Preissensitivität des bestehenden Heizsystems.

Im Gegensatz dazu lassen sich die Preise für den Strombezug aus eigenen Erneuerbaren Energieanlagen gut prognostizieren. Sind die Anlagen einmal errichtet, ist der reine Erzeugungspreis für eine Kilowattstunde für die gesamte Betriebsdauer faktisch gleichbleibend.

Veränderungen kann es beim Bezug von Strom aus dem öffentlichen Netz geben. Ein möglichst hoher Eigenverbrauch ist daher eine gute Absicherung gegen solche Veränderungen (s. Kapitel 2). Die Wärmespeicher verstärken diesen Effekt zusätzlich, weil sie den Eigenverbrauch weiter erhöhen und den Strombezug aus dem Netz verringern. Die Dimensionierung der Speicher und die ihrer Finanzierung müssten in einer Ausführungsplanung detailliert untersucht werden. Abzusehen ist aber schon jetzt, dass die zusätzlichen Investitionskosten durch die deutlich sinkenden Betriebskosten über die Betriebsdauer mehr als ausgeglichen werden können.

Für die Analyse wurde mit einer durchschnittlicher Netzgebühr der letzten zwei Jahre gerechnet. Es ist gut denkbar, dass die Netzgebühren für neue Energiegemeinschaften gesenkt werden. Der polnische Staat zieht in der Gründung von Energiegemeinschaften einen guten Weg, um die ländlichen Räume zu entwickeln und fördert Energiegemeinschaften und plant weitere Unterstützungen. Da dieser Prozess noch nicht abgeschlossen ist und sich erst wenige Energiegemeinschaften gegründet haben, wurde hier konservativ mit wahrscheinlich einer zu hohen Netzgebühr gerechnet.

6.3.4. Vergleich der Wärmepreise für die Szenarien (mit CO₂-Preis)

Um die langfristigen Wärmepreise und damit die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Szenarien bewerten zu können, muss auch der zukünftige EU-Emissionshandel für den Wärmesektor ab 2027 in die Analyse einbezogen werden. Bis 2050 soll der Wärmesektor entsprechend der EU-Klimaziele klimaneutral sein. Durch verschiedene Regelungen ist der CO₂-Preis bis 2030 auf 45 Euro/Tonne gedeckelt (ER 2023).

Aufgrund des hohen CO₂-Ausstoßes im Wärmesektor und des ambitionierten Reduktionspfades von jährlich 5,1 Prozent (ab 2028 5,30 Prozent) ist davon auszugehen, dass der Höchstpreis gleich zu Beginn erreicht und danach nicht unterschritten werden wird. Vielmehr ist davon auszugehen, dass nach 2030 die CO₂-Preise steigen werden.

Deshalb werden für den Vergleich der Szenarien jeweils die Wärmekosten mit drei verschiedenen CO₂-Preisen berechnet: 45 Euro/Tonne als Untergrenze, 100 Euro/t als wahrscheinlicher Wert nach 2030 und 200 Euro/t als Wert, der die tatsächlichen Umweltkosten des CO₂-Ausstoßes abdeckt (Abrell et al 2022).

Die Werte wurden jeweils für die gesamte Betriebsdauer als konstant unterstellt. Dies bildet zwar Schwankungen im Zeitverlauf nicht ab, ist aber für eine belastbare Bewertung der Szenarien ausreichend.

Tabelle 16 und Diagramm 11 zeigen, dass sich die Relationen zwischen den Szenarien deutlich verschieben. Bereits bei einem CO₂-Preis von 202 PLN / 45 Euro pro t weisen die Wärmepumpensysteme das gleiche Preisniveau wie das bestehende Heizsystem beim niedrigeren Kohlepreis. Das Wärmepumpensystem mit Speicher liegt sogar darunter. Beim höheren Kohlepreis wie in 2022 sind die Differenzen mit 15 bzw. 28 Euro deutlich²⁶.

Tabelle 16: Auswirkungen eines Co2-Preises auf die Jahreskosten

Varianten	Jahreskosten	Gesamtjahreskosten mit einem CO ₂ -Preis von			Wärmekosten in €/MWh		
		45€	100€	200€	45€	100€	200€
CO ₂ -Preis-Szenario							
Istzustand							
Kohlekessel 272 €/t	3.822.047	5.137.506	6.745.289	9.668.530	93	123	176
Kohlekessel 150 €/t	2.509.449	3.824.908	5.432.691	8.355.932	70	99	152
Wärmepumpen							
Wärmepumpen	3.743.817	4.049.524	4.423.167	5.102.516	74	80	93
Wärmepumpen + Speicher	3.381.545	3.596.432	3.859.071	4.336.598	65	70	79

Eigene Schätzungen. Detaillierter im Anhang.

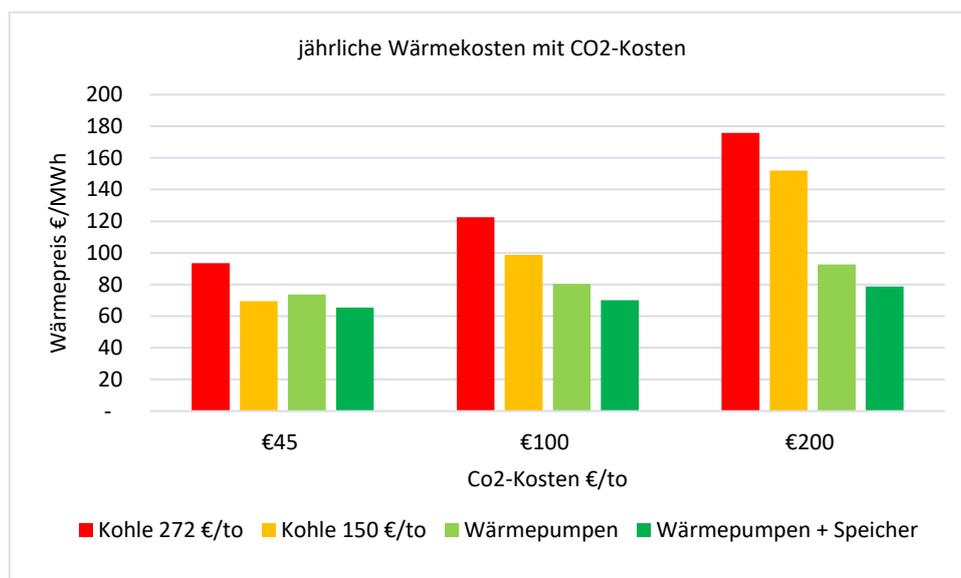


Diagramm 11: Darstellung der Wärmekosten (€/MWh) der vier Szenarien (Kohleszenario 1 + 2, Wärmepumpen und Wärmepumpen + Speicher) in Abhängigkeit von CO₂-Zerfikatpreisen (45, 100 und 200 Euro/t). Eigene Darstellung.

²⁶ 68 bzw. 126 PLN.

Bei steigenden CO₂-Preisen steigen zwar auch die Wärmekosten (durch den verbleibenden fossil gedeckten Restwärmebedarf von 10 Prozent) für die Wärmepumpensysteme, dies aber nur moderat. Beim einem Einsatz eines Biomassekessels würden die Wärmekosten nicht vom CO₂-Preis beeinflusst. Im Vergleich dazu würden sich die Wärmekosten beim bestehenden System annähernd verdoppeln. Der Anstieg beträgt in beiden Preisszenarien über 360 PLN bzw. 80 Euro/MWh.

Sollen die Wärmepreise für Verbraucher und/oder Unternehmen trotzdem im bestehenden System konstant bleiben bzw. nicht im gleichen Maße steigen, wären politische Markteingriffe erforderlich. Die dann amtierende polnische Regierung müsste den Preis deckeln, indem sie durch Subventionen die Differenz übernimmt. Ansonsten wird sich Wärmepreis auf fossiler Basis dementsprechend für den Endverbraucher erhöhen.

Im Vergleich der Wärmepumpensysteme zeigt der höhere Eigenverbrauchsanteil durch den zusätzlichen Wärmespeicher eine nochmal geringere Sensitivität gegenüber höheren CO₂-Preisen. Der Anstieg der Wärmekosten beträgt hier nur 63 PLN/ 14 Euro/MWh im Vergleich zu 85 PLN/ 19 Euro/MWh beim System ohne zusätzlichen Wärmespeicher.

Daran wird zweierlei deutlich: Zum einen zeigt sich, wie empfindlich die Wärmekosten auf veränderte Brennstoffkosten reagieren. Zum anderen wird die hohe Kostenstabilität erkennbar, die eine Umstellung auf eine eigene Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien mit sich bringt und zur Versorgungssicherheit der Region beiträgt.

7. CO₂ Reduktion

Neben einem günstigeren und vor allem verlässlichen Wärmepreis für die Bürger:innen der Stadt Hajnówka und der Unternehmen ist die Reduktion von klimaschädigen Emissionen ebenfalls ein Untersuchungsgegenstand dieser Studie.

Eine Kilowattstunde Strom in Polen verursacht aktuell durchschnittlich 569 Gramm CO₂. In der Wärme- produktion mit Braunkohlestaub und Wirbelschichtkohle werden durchschnittlich 97,5 Tonnen CO₂ pro Terrajoule verursacht. Ein Terrajoule entspricht 277,78 Megawattstunden und es entsteht folglich 350,997 Gramm Kohlenstoffdioxid pro Kilowattstunde (Umweltbundesamt 2022).

Die folgende Tabelle zeigt, dass selbst bei einer vollständigen Versorgung der Wärmepumpen mit Strom aus dem öffentlichen Netz, sich die CO₂-Bilanz verbessert.

Tabelle 17: Co₂-Ersparnis bei Netzstrom und mit neuen EE-Anlagen

	Ist-Zu-stand	Wärmepumpen mit Netz- strom	Wärmepumpen mit EE	Wärmepumpen mit EE und Speicher	
Kohle	28.834	-		-	to /anno
Gas	-	1.228	1.228	1.228	to /anno
Strom Netz	398	12.293	4.917	2.704	to /anno
Strom EE	-	-	648	843	to /anno
Summe CO ₂	29.232	13.521	6.793	4.775	to /anno
Reduktion in %		54%	77%	84%	to /anno

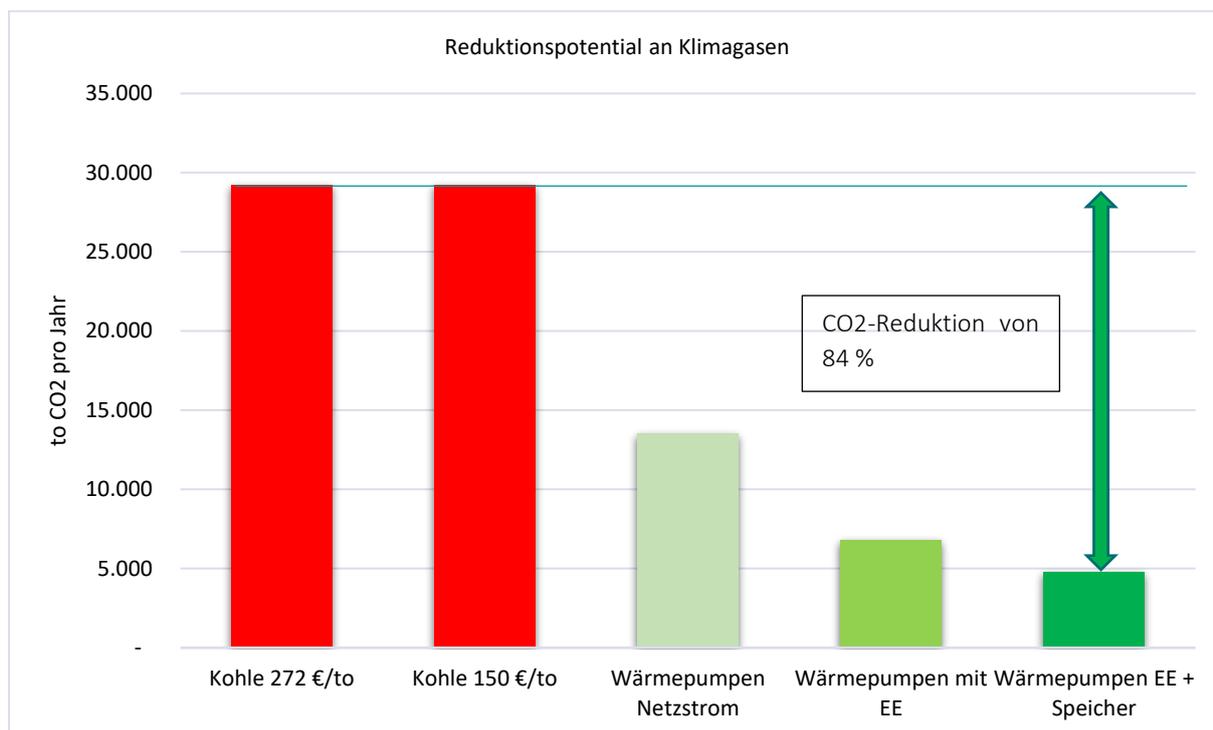


Diagramm 12: Zusammenstellung der Reduktion an Emission bei Umstieg des Wärmenetzes auf Wärmepumpen.

Eine Umstellung auf Wärmepumpen alleine hätte beim aktuellen Strommix schon eine CO₂-Reduktion von 54 Prozent zur Folge. Da davon auszugehen ist, dass der Strommix in Polen in Zukunft durch den Ausbau Erneuerbarer Energien stetig CO₂-ärmer wird, würde sich diese Rechnung in den nächsten Jahren noch weiter verbessern. Wenn aber die Energieversorgung, wie in dieser Studie vorgeschlagen zu 60 Prozent aus Erneuerbaren Energien stammt und ein Speicher verwendet wird, um den Eigenstromanteil zu erhöhen, verringert sich der CO₂-Ausstoß um 84 Prozent²⁷.

8. Auswirkungen auf die Region

Hohe und instabile Brennstoffeinkaufspreise belasten die Budgets der Haushalte und kommunalen Unternehmen, die Systemwärme liefern, vor allem in wirtschaftlich unterentwickelten Regionen. Die Preisdynamik im Jahr 2022 war außergewöhnlich.

Nach Angaben der polnischen Agentur für industrielle Entwicklung lag der PSCMI2-Kohlenindex (für Fernwärmeunternehmen) im August 2022 bei 1338,35 PLN/t (54,75 PLN/GJ) und ist damit gegenüber Juli um 194 Prozent gestiegen. Der durchschnittliche Monatspreis für diese Kohle in den ARA-Häfen lag im August bei etwa 1776 PLN/t (Energia 2022).

Die gestiegenen Kosten für den Kauf von Kohle für die Wärme- und Stromerzeugung führen zu einem erheblichen Anstieg der Betriebskosten, so dass viele Fernwärmeunternehmen am Rande der Rentabilität operieren. Die Kosten für die Erzeugung von Wärme aus fossilen Brennstoffen werden in hohem Maße von den verstärkten Klimazielen der EU beeinflusst, einschließlich der Rücknahme der kostenlosen CO₂-Zertifikate und der Einbeziehung des Gebäude- und Verkehrssektors in das Emissionshandelssystem.

Die Preise für Emissionszertifikate werden sich auf ärmere Haushalte auswirken, die zum ersten Einkommensquintil gehören. Die am wenigsten wohlhabenden EU-Mitgliedstaaten werden ebenfalls stärker von

²⁷ 4.775 Tonnen CO₂ statt 29.323 Tonne CO₂.

der Erhöhung der Preise für Emissionszertifikate betroffen sein. Im Falle Polens wird der Kostenanstieg für die Haushalte wahrscheinlich viel höher ausfallen als in der EU27 (Cire 2021).

Bei dem Wärmeanbieter PGE Energia Ciepła im Westen Polens machten die CO₂-Emissionskosten im Jahr 2022 bereits 38 Prozent der Gesamtkosten für die Wärmeerzeugung aus. Bei PEC Biała Podlaska waren es 38,9 Prozent und bei MPEC Olsztyn – 30 Prozent. Der Anstieg der Brennstoffpreise und der CO₂-Emissionsgebühren erhöhte die Kosten der Wärmeerzeugung bei MPEC Olsztyn im Jahr 2022 um 100 Prozent (Portalsamorzadowy 2022).

Die Verringerung des Imports von Energieträgern und deren Ersatz durch Energie aus lokalen Quellen, d. h. Wind, Sonne, Biomasse, wird den Kapitalabfluss aus der Region erheblich verringern und die Kaufkraft der Einwohner erhöhen.

Der beschriebene wirtschaftliche Effekt hängt von der Eigentumsstruktur der RES-Anlagen ab. Untersuchungen der Universität Kassel (2016) zeigen, dass der regionale Nutzen der Windenergie achtmal höher ist, wenn die Anlage im Besitz von lokalen Akteuren und nicht von externen Investoren ist. Die partizipative Finanzierung, die den Bewohnern die Möglichkeit gibt, sich an der Errichtung und dem Betrieb der Anlage zu beteiligen, ist ein entscheidender Faktor für die Akzeptanz der Investition.

Bereits der einzelne Prosumer, der sowohl Erzeuger als auch Verbraucher der vor Ort verbrauchten Energie ist, oft ohne sie ins Netz einzuspeisen, trägt zur Stärkung der regionalen Kaufkraft bei (dies gilt auch für den Gruppe-Prosumer, der nach ähnlichen Prinzipien arbeitet). Bei einer Prosumer-Genossenschaft, die in einer Gemeinschaft von Erzeugern und Verbrauchern agiert, ist der wirtschaftliche Erfolg in der Regel deutlich höher, insbesondere wenn überschüssiger Strom zur Wärmeerzeugung oder für Mobilitätszwecke genutzt wird.

Ein wesentlicher Vorteil einer Energiegemeinschaft, die z. B. als Genossenschaft oder als Organisation mit einer anderen Rechtsform betrieben wird, ist die Möglichkeit des Energieaustauschs zwischen den Mitgliedern der Gemeinschaft (Energie-Sharing). In der Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2018/2001 vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren wird im Art. 22, 2 Abs. B Renewable Energy Directive II) der „Erneuerbare-Energien-Gemeinschaft“ („Renewable Energy Communities“) explizit das Recht eingeräumt, die von den Erzeugungseinheiten im Eigentum dieser Energiegemeinschaft erzeugte erneuerbare Energie zu teilen. Dabei ist es unerheblich, ob die hierfür erforderlichen Erzeugungs- und Speicheranlagen im Privateigentum einzelner Mitglieder der Gemeinschaft oder im Eigentum der Gemeinschaft als Ganzes stehen, solange die Verwalter (Betreiber) der Anlagen auf der Grundlage von Weisungen des Erneuerbare-Energien-Prosumers im Sinne von Art. 21, 5 Renewable Energy Directive II. handeln.

Perspektivisch sollte das Ziel der Kommunen nicht nur die Stromerzeugung sein. Auch die Umwandlung von Strom in Wärme, Strom in Gas oder Strom in Mobilität ist eine sinnvolle Möglichkeit, die das Ungleichgewicht in der Energieerzeugung im Laufe der Zeit ausgleichen und gleichzeitig die regionale Wirtschaftstätigkeit anregen soll. Die Vernetzung und Digitalisierung von Erzeugungseinheiten, Speichern und Verbrauchern ermöglicht eine intelligente Steuerung von Energieerzeugung und -verbrauch innerhalb einer Gemeinschaft und die Schaffung eines virtuellen Kraftwerks.

Eine solche Prosumer-Gruppe ist allerdings noch Zukunftsmusik, denn es gibt nur wenige Beispiele für Organisationen, die als Ganzes (z. B. mit dem Management von Überschussenergie für Elektromobilität) nach dem beschriebenen Schema agieren. Aber es gibt bereits Beispiele für Prosumer- „Gemeinschaften“, die eine Grundvoraussetzung erfüllen: Verbraucher schließen sich zusammen, um sich selbst mit Energie zu versorgen, sofern dies wirtschaftlich sinnvoll und technisch möglich ist.

Auch in Polen bietet die rechtliche Konstruktion von Energiegenossenschaften und Energieclustern einen Rahmen, der den Raum für die Tätigkeit von Energiegemeinschaften schafft. Der bisherige technische und

wirtschaftliche Fortschritt und die Prognosen für die Zukunft lassen vermuten, dass sich die Idee der Prosumer-Gemeinschaften schnell verbreitet und das in ihnen entwickelte Energiemanagement zur Norm werden wird. Prosumer-Gemeinschaften werden neue lokale und regionale Wirtschaftsbeziehungen initiieren, die die lokale Wirtschaft stärken und neue, wertvolle Arbeitsplätze schaffen. Ihr Ziel wird jedoch nicht die Erzielung von Gewinnen sein, sondern die Versorgung der Gemeinschaftsmitglieder mit Energie zum bestmöglichen Preis.

8.1. Verbesserung der Luftqualität

Die größte Bedrohung für die Luftqualität in Hajnówka sind Emissionen (Hajnówka 2022), die mit der Verbrennung fester und flüssiger Brennstoffe verbunden sind, deren Produkte Staub (PM_{2,5}, PM₁₀), Gase (Kohlendioxid – CO₂, Kohlenmonoxid – CO, Schwefeldioxid – SO₂, Stickoxide – NO_x, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Bezo(a)pyren, und Schwermetalle (Blei – Pb, Arsen – As, Nickel – Ni, Cadmium – Cd) sind.

Die Modellierung der Luftqualität im Bericht der Woiwodschaft Podlachien (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2021) zeigt, dass im Jahr 2021 in Hajnówka die Konzentration von Benzo(a)pyren im PM₁₀-Feinstaub die Werte des „Zielwerts für die durchschnittliche Jahreskonzentration zum Schutz der Gesundheit“ übersteigt und zwischen 1,5 ng/m³ und etwa 5 ng/m³ liegt. Die maximale PM₁₀-Konzentration aus den täglichen Durchschnittskonzentrationen zeigt erhöhte Werte dieses Indikators an, die zwischen 35,5 µg/m³ und 45 µg/m³ lagen.

Ein Ende der Kohleverbrennung im Heizsystem von Hajnówka wird die Luftqualität und damit die Gesundheit der Einwohner der Stadt erheblich verbessern.

8.2. Hajnówka als Vorreiter

Die Werbemaßnahmen und die zahlreichen Projekte, die von der Kreis- und Stadtverwaltung in Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern durchgeführt werden, tragen zu einem positiven Image des Białowieża-Urwaldes bei, indem sie das Klima schützen und die Energieunabhängigkeit und Lebensqualität der Einwohner sichern. Mit der modellhaften Lösung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen unter Nutzung des bestehenden kommunalen Zentralheizungsnetzes nimmt Hajnówka eine Vorreiterrolle bei der Energiewende ein. Es ist auch der erste Schritt zur Schaffung von Energiegemeinschaften.

Angesichts des erheblichen Potenzials der Wald- und Agrarökosysteme des Kreises Hajnówka, das von der Wirtschaft emittierte Kohlendioxid zu binden, könnte Hajnówka eine der ersten Netto-Null-Emissionsstädte in Polen werden.

8.3. Auswirkungen auf lokalen und regionalen Arbeitsmarkt

Es wird nicht erwartet, dass das Projekt wesentliche Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt haben wird. Ein gewisser Anstieg der Beschäftigung könnte sich aus dem verstärkten Anschluss von Wärmeverbrauchern an das Netz und dem damit verbundenen Erweiterungsbedarf ergeben. Es ist unwahrscheinlich, dass sich das Projekt auf den regionalen Markt für RES-Anlagen auswirkt, der sich unabhängig entwickelt und hauptsächlich als Reaktion auf die nationalen Förderprogramme der Woiwodschaften gestaltet wird.

Eine Steigerung der EE-Kompetenz und der Power-to-X-Technologie der Mitarbeiter:innen von PEC Hajnówka ist jedoch sehr wahrscheinlich. Das Unternehmen könnte schnell zu einem nationalen Vorreiter der Energiewende werden, nach dem Vorbild der Stadtwerke Wunsiedel (SWW Wunsiedel GmbH) in Deutschland, die seit Jahren lokale Gemeinschaften dazu inspirieren, neue Wege in Richtung Nachhaltigkeit

und Klimaneutralität zu gehen²⁸. Eine erhöhte Anzahl von Besuchen und Studienreisen könnte sich positiv auf den lokalen Arbeitsmarkt u. a. im Gastgewerbe auswirken.

9. Fazit und Empfehlungen für eine potenzielle Umsetzung

Das Nahwärmenetz der Stadt Hajnówka ist ein gutes Beispiel für viele andere Nahwärmenetze kleiner Städte im ländlichen Raum Polens.

Die durchgeführte Analyse zeigt, dass eine Umstellung des Wärmenetzes der Stadt Hajnówka auf ein Power to Heat-System mittel- und langfristig viele Vorteile für alle Beteiligten bringt.

Es ist davon auszugehen, dass die langfristigen Kosten deutlich geringer ausfallen werden als bei einem Weiterbetrieb mit Kohle. Insbesondere nach dem Start des EU-Emissionshandels für Wärme und Mobilität 2027 hat ein Wechsel auf ein strombasiertes Wärmesystem mit eigener erneuerbarer Stromerzeugung klare wirtschaftliche Vorteile. Bei einer „einfachen“ Umsetzung mit Wärmepumpen blieben die Kosten mittel- und langfristig stabil und würden jährlich über 22.000 Tonnen CO₂-Emissionen einsparen. Würde das System um einen Wärmespeicher ergänzt, würden die Wärmekosten sich weiter reduzieren und stabilisieren sowie, die CO₂-Reduktion sich auf 25.000 Tonnen jährlich erhöhen.

Zudem würde sich die Luftqualität sich erheblich verbessern, die wirtschaftliche Situation der Stadtwerke stabilisieren und die regionale Wertschöpfung bei richtiger Ausgestaltung der Bürgerbeteiligung erhöhen.

Alle Projektbeteiligten würden es sehr zu begrüßen, wenn der Powiat, die Stadt Hajnówka und die Stadtwerke diese Machbarkeitsstudie weiterverfolgen und umsetzen. Dies würde einen wichtigen Beitrag zur Energieunabhängigkeit, wirtschaftlichen Entwicklung und finanziellen Stabilität der Region leisten.

Hinweise zur möglichen Detail- und Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung müssen einige die Annahmen noch überprüft, verifiziert oder geklärt werden. Dazu gehören u. a.:

- Exakte Abwassertemperatur
- Verfügbarkeit des Grundwassers
- Platzbedarf und -angebot für die Wärmepumpen-Kaskaden, Pufferspeicher und Großwärmespeicher
- Regelkonzept und die Einbindung in die zentrale Leittechnik,
- detailliertere Marktuntersuchung zu Preisentwicklungen der wesentlichen Komponenten und Dienstleistungen (aufgrund der dynamischen Preisentwicklung in Polen und Europa in den letzten Monaten)
- Prüfung Einsatz eines Biomassekessels statt Gaskessel.
- Installation von Wärmespeichern.

Die Ausführungsplanung, bzw. Detailplanung ist nach Abstimmung mit den anderen Projektbeteiligten und den verantwortlichen Entscheidungsträgern der Stadt Hajnówka zu erstellen, nachdem das vorliegende Konzept befürwortet wird und weiter vorangetrieben werden soll.

Im Rahmen der Detailplanung sollte auch überprüft werden, ob der gesamte Strombedarf von der Region Hajnówka durch Wind- und PV-Anlagen, mindestens bilanziell, gedeckt werden kann. Der Wärmesektor wird nach einer Umstellung auf Wärmepumpen den größten Strombedarf haben. Der zusätzliche Planungs-

²⁸ Weitere Beispiele für EE-Dörfer sind: Feldheim in Brandenburg, Schönau im Südschwarzwald (EWS), Wolfhagen in Hessen, Landkreis Steinfurt in Niedersachsen, Energievision Franken (Bayern).

und Finanzierungsaufwand für weitere Erneuerbare Energieanlagen sowie deren Flächenbedarf ist überschaubar. Das Flächenangebot ist auf jeden Fall ausreichend (s. Kapitel 5.2.).

Impulsgeber für andere Kommunen

Ebenfalls wünschenswert ist, dass weitere Kommunen durch diese Studie motiviert werden, ihre Fernwärme auf ein Power-to-Heat-System umzustellen. Bei Machbarkeitsstudien für andere Kommunen sollten Erfahrungen aus diesem Eingang finden. Eine frühzeitige aktive Kommunikation mit den kommunalen Vertretern und die aktive Einbindung der örtlichen Stadtwerke hat sich als essentiell erwiesen. Die örtlichen Stadtwerke sind dabei ein Schlüsselakteur: Sie verfügen über alle notwendigen Daten bzw. können diese erheben. Sie sind für die Umsetzung der Maßnahmen verantwortlich. Sie können über die klimafreundliche Umstellung ihres Wärmenetzes die Wärmekosten für ihre Kund:innen stabil halten und werden damit ihrem Gemeinwohlauftrag gerecht. Und sie sichern ihre eigene langfristige wirtschaftliche Stabilität.

I.Quellenverzeichnis

Abrell, Jan; Bilici, Süheyb; Markus Blesl, Ulrich Fahl, Felix Kattelmann, Lena Kittel, Mirjam Kosch, Gunnar Luderer, Drin Marmullaku, Michael Pahle, Robert Pietzcker, Renato Rodrigues, Jonathan Siegle. 2022: *Optimale Zuteilung des CO₂-Budgets der EU: Eine Multi-Modell-Bewertung*. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. <https://ariadneprojekt.de/news/den-eu-emissionshandel-staerker-in-anspruch-nehmen-zur-entlastung-der-nationalen-klimaziele/> Zuletzt besucht 20.05.2023.

Biznes.gov.pl 2021: Zezwolenie na emisję gazów cieplarnianych z instalacji objętej systemem handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych. <https://www.biznes.gov.pl/pl/opisy-procedur/-/proc/408> . Zuletzt besucht 03.05.2023.

Bundesnetzagentur. 2023a: Ausschreibungen zur Ermittlung der finanziellen Förderung von Windenergieanlagen an Land. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/Wind_Onshore/start.html. Zuletzt besucht am 19.05.2023.

Bundesnetzagentur. 2023b: Ausschreibung Solaranlagen erstes Segment: Gebotstermin 1. Juli 2023. <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/Solaranlagen1/Gebotstermin01072023/start.html>. Zuletzt besucht am 19.05.2023.

BMWK.de. 2023: Europäisches Parlament bestätigt Einigung zur Reform des EU-Emissionshandel. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/04/230418-europaisches-parlament-bestatigt-einigung-zur-reform-des-eu-emissionshandel.html> . Zuletzt besucht am 19.05.2023.

DIN-Norm. 2003: DIN V 4701-10. 2003-08. Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.

Dz.U. 2022 poz. 1072: Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo geologiczne i górnictwo. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220001072>. Zuletzt besucht 03.05.2023.

EEA. 2021: EEA greenhouse gases — data viewer: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>. Zuletzt besucht am 11.04. 2023.

EEA. 2022: Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>. Zuletzt besucht am 02.05.2023.

EFV- Energievision Franken GmbH, 2018: Energie-, Luftreinhaltungs- und Klimaschutzplan für den Powiat Hajnówka und seine Kommunen Teil 2 Energie-, THG- und Schadstoff-Bilanz – Potenzialanalysen. Hrs.: EuroNatur Stiftung.

Electricitymaps.com 2023: Electricity Maps | CO₂-Emissionen des Stromverbrauchs in Echtzeit. <https://app.electricitymaps.com/zone/PL?lang=de> Zuletzt besucht am 17.04.2023.

Ember-Climate.org. 2022: Top 10 EU emitters. all coal power plants in 2021. <https://ember-climate.org/insights/research/top-10-emitters-in-the-eu-ets-2021/>. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

Ember-Climate.org. 2023: The price of emissions allowances in the EU and UK. <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

ER- Europäischer Rat. 2023: Fit für 55: Rat verabschiedet wichtige Rechtsakte zur Verwirklichung der Klimaziele für 2030. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2023/04/25/fit-for-55-council-adopts-key-pieces-of-legislation-delivering-on-2030-climate-targets/pdf>. Zuletzt besucht am 17.05.2023.

FOES - Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft. 2021: Factsheet (09/2021). https://foes.de/publikationen/2021/2021-09_FOES_Factsheet_Kostenvergleich_Kohle_EE.pdf. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

Forum Energii. 2019: Heating in Poland Edition 2019.

Kobize. 2022: Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2021 rok.

Joint Research Center. 2022: PVGIS: Photovoltaik Geographical Information System. Europäische Kommission. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-releases/pvgis-52_en. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

Globalpetrolprices.com: 2022: Polen Strompreise. https://de.globalpetrolprices.com/Poland/electricity_prices. Zuletzt besucht am 18.05.2023..

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. 2021: Roczna ocena jakości powietrza w województwie podlaskim. Raport wojewódzki za rok 2020. Białystok. <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/rwms/publications/card/1427>. Zuletzt besucht am 03.05.2023.

Główny Urząd Statystyczny. 2022: atlas Regionow. <http://swaid.stat.gov.pl/AtlasRegionow/AtlasRegionowMapa.aspx>. Zuletzt besucht am 03.05.2023.

Ochsner, Karl. 2007: Wärmepumpen in der Heizungstechnik: Praxishandbuch für Installateure und Planer. Müller, Heidelberg 2007.

TGE- Towarowa Giełda Energii, 2023: dane marki. <https://tge.pl/uslugi-tge>. Zuletzt besucht 03.05.2023.

PGE Dystrybucja S.A.:2023. Datensätze.

Pgg - Prawo geologiczne i górnicze. 2011: Dz.U.2023.0.633 t.j.

Polska w Liczbach. 2021a: Powiat hajnowski - Podstawowe informacje. https://www.polskawliczbach.pl/powiat_hajnowski. Zuletzt besucht 03.05.2023.

Polska w Liczbach. 2021b: Hajnówka - Podstawowe informacje Więcej. <https://www.polskawliczbach.pl/Hajnówka>. Zuletzt besucht 03.05.2023.

Portalsamorządowy. 2022: W rachunkach mieszkańców za ciepło są setki milionów na opłaty za emisję CO2. <https://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/w-rachunkach-mieszkanow-za-cieplo-sa-setki-milionow-na-oplaty-za-emisje-co2,406325.html>. Zuletzt besucht 03.05.2023.

Umweltbundesamt. 2022: CO2-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe, Aktualisierung 2022 CLIMATE CHANGE 28/2022 Kristina Juhrich, Umweltbundesamt, Fachgebiet Emissionssituation (V 1.6).

Universität Kassel. 2016: Regionale Wertschöpfung in der Windindustrie am Beispiel Nordhessen. Institut für dezentrale Energietechnologien.

Urząd Statystyczny w Białymstoku. 2020: Powiat Hajnowski. https://bialystok.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_podlaskie/portrety_powiatow/powiat_hajnowski.pdf. Zuletzt besucht am 03.05.2023.

Weather Spark.com .2023: Klima und durchschnittliches Wetter das ganze Jahr über in Hajnówka Polen. <https://de.weatherspark.com/y/90312/Durchschnittswetter-in-Hajn%C3%B3wka-Polen-das-ganze-Jahr-%C3%BCber>. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

Wysokienapiecie.pl. 2021: Ceny prądu w Polsce wśród najwyższych na świecie w stosunku do pensji. <https://wysokienapiecie.pl/43543-ceny-pradu-w-polsce-wsrod-najwyzszych-na-swiecie-w-stosunku-pensji>. Zuletzt besucht am 05.05.2023.

Wysokienapiecie.pl. 2022: Taryfy na 2023 rosną. Za prąd zapłacimy blisko 1 zł/kWh. <https://wysokienapiecie.pl/80125-taryfy-na-2023-za-prad/>. Zuletzt besucht am 18.05.2023.

II.Anhang

Tabelle 18: Durchschnittlicher Durchfluss vom Abwasserpumpwerk zur städtischen Kläranlage in m³ je Monat. Datenerhebung August 2022. Kapitel 4.2.

Monat 2021	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2021
Menge in m ³	60.00	65.41	83.47	72.86	83.49	75.41	104.85	106.75	80.01	72.99	66.08	74.87	94618

Monat 2022	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	2022
Menge in m ³	86.066	87.098	77.852	85.744	77.013	74.428	98.234						586435

Tabelle 19: Wärmepumpenstation 1 und 2 detaillierte Zusammenstellung. Kapitel 4.2.

		erforderlich 10.660 kW			erforderlich 7.000 kW			Summe 1 + 2 WP + Kessel
Summe	WP-Station 1	Kessel-leistung	Gesamt 1	WP-Station2	Kessel-leistung	Gesamt 2	WP 1 + 2	
Heizleistung QH	5.564,0 kW	5.087,2	10.651,2	3.503,0 kW	3.488,4	6.991,4	9.067,0 kW	17.642,6
elektrische Leistungsaufnahme N	1.802,0 kW			1.131,0 kW			2.933,0 kW	
Kühlleistung QK	3.762,0 kW			2.372,0 kW			6.134,0 kW	
COP H _z	3,1			3,1			3,1	
Verdampfer								
Eintritt	10,0 °C			10,0 °C			10,0 °C	
Austritt	6,0 °C			6,0 °C			6,0 °C	
Volumen	808,8 m ³ /h			510,0 m ³ /h			1.318,8 m ³ /h	
Kondensator								
Eintritt	50,0 °C	80,0	50,0	50,0 °C	80,0	55,0	50,0 °C	
Austritt	80,0 °C	105,0	105,0	80,0 °C	105,0	105,0	80,0 °C	
Volumen	159,5 m ³ /h	175,0	166,5	100,4 m ³ /h	120,0	120,3	159,5 / 100,4 m ³ /h	

Tabelle 20: Verkaufte Wärmemenge aus dem Fernwärmenetz im Jahr 2020. Kapitel 5.1.

	Gruppe	Untergruppe	Standort	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Energieeinheit				[GJ]											
2020	I	1	Masuren	8.030	6.940	7.201	5.486	3.411	2.227	2.020	1.847	2.184	4.866	5.893	8.822
		2	Batorego	7.875	7.102	6.622	4.905	2.834	1.331	1.191	1.279	1.373	4.560	5.922	7.943
		Gruppe insgesamt		15.905	14.042	13.823	10.391	6.245	3.558	3.211	3.126	3.557	9.426	11.815	16.765
	II	3	Armii Krajowej	9.210	8.361	7.760	5.626	3.112	1.462	1.566	1.587	1.767	5.727	7.240	9.420
		4	Podlasie	2.894	2.605	2.427	1.885	1.308	631	569	637	666	1.727	2.304	2.981
	Gruppe insgesamt		12.104	10.966	10.187	7.511	4.420	2.093	2.135	2.224	2.433	7.454	9.544	12.401	
Jahr insgesamt		28.009	25.008	24.010	17.902	10.665	5.651	5.346	5.350	5.990	16.880	21.359	29.166		

Quelle: PEC Hajnówka.

Tabelle 21: Verkaufte Wärmemenge aus dem Fernwärmenetz im Jahr 2021. Kapitel 5.1.

Grupp e	Untergrup pe	Stando rt	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
															Energieeinheit [GJ]
2021	I	1	Masuren	8.598	9.097	8.280	5.945	3.139	2.113	1.902	1.826	3.233	5.453	7.062	8.822
		2	Batorego	8.650	8.093	6.929	5.224	2.412	1.313	1.142	1.320	2.784	4.751	6.715	7.943
		Gruppe insgesamt		15.905	17.248	17.190	15.209	11.169	5.551	3.426	3.044	3.146	6.017	10.204	13.777
	II	3	Armii Krajowej	10.382	10.033	8.818	6.524	2.996	1.528	1.296	1.572	3.619	6.045	8.397	10.479
		4	Podlasi e	3.333	3.092	2.733	2.081	1.129	676	599	665	1.230	1.897	2.599	3.355
		Gruppe insgesamt		12.104	13.715	13.125	11.551	8.605	4.125	2.204	1.895	2.237	4.849	7.942	10.996
Jahr insgesamt		30.963	30.315	26.760	19.774	9.676	5.630	4.939	5.383	10.866	18.146	24.773	31.867		

Quelle: PEC Hajnówka.

Tabelle 22: Verkaufte Wärmemenge aus dem Fernwärmenetz im Jahr 2022. Kapitel 5.1.

Grupp e	Untergrup pe	Stando rt	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
															Energieeinheit [GJ]
2022	I	1	Masuren	9.360	7.459	7.715	5.963	3.264	2.005	1.806	1.907	3.080	4.431	6.721	7.903
		2	Batorego	8.470	6.863	6.953	5.505	2.182	1.309	1.268	1.170	2.523	4.182	6.273	8.030
		Gruppe insgesamt		15.905	17.830	14.322	14.668	11.468	5.446	3.314	3.074	3.077	5.603	8.613	12.994
	II	3	Armii Krajowej	10.226	8.320	8.603	6.884	2.697	1.541	1.477	1.272	3.417	5.452	7.840	9.858
		4	Podlasi e	3.247	2.608	2.703	2.144	1.023	683	656	573	1.208	1.651	2.437	3.207
		Gruppe insgesamt		12.104	13.473	10.928	11.306	9.028	3.720	2.224	2.133	1.845	4.625	7.103	10.277
Jahr insgesamt		31.303	25.250	25.974	20.496	9.166	5.538	5.207	4.922	10.228	15.716	23.271	28.998		

Quelle: PEC Hajnówka.

Tabelle 23: Profil I bis III – Elektrizitätsnachfrage.

Monat	Energiebedarf Profil 1 [kWh]	Energiebedarf Profil 2 [kWh]	Energiebedarf Profil 3 [kWh]
Januar	2.179.093	4.554.010	6.094.825
Februar	1.687.591	3.798.183	5.117.620
März	2.627.507	4.899.478	6.287.880
April	2.348.189	4.577.925	5.786.959
Mai	1.473.756	3.633.250	4.822.896
Juni	967.012	2.805.976	3.915.051
Juli	915.109	2.711.482	3.825.624
August	998.732	3.165.370	4.294.996
September	1.375.358	3.421.410	4.552.749
Oktober	2.119.985	4.095.653	5.377.428
November	2.751.656	4.953.580	6.303.575
Dezember	2.264.862	4.631.760	6.125.720
GESAMT	21.708.851	47.248.078	62.505.322

Quelle: eigene Zusammenstellung auf der Grundlage von PGE Dystrybucja S.A., Kapitel 5.1.

Tabelle 24: Annahmen für Investitions- und Energiekosten Wärmepumpen und Gaskessel Kapitel 6.3

Kostenpunkt		Einheit
Gas- Ölpreis (geschätzt)	90	€/MWh
Kesselwirkungsgrad (geschätzt)	90	%
Strombedarf Wärmepumpen (OPS)	18.786	MWh/a
Strombedarf Hilfsantriebe EWP (OPS)	2.818	MWh/a
Strombedarf Wärmepumpen gesamt (OPS)	21.604	MWh/a
Netzverluste (OPS)	12	%
Investkosten Kessel (geschätzt)	80.000	€/MW
Investkosten Rest (geschätzt)	25.000	€/MW
Leistung Gaskessel	10,00	MW
Brennstoffkosten Gaskessel (berechnet)	100,0	€/MWh
Gesamtinvest Wärmepumpe (OPS)	11.397.050	€

Tabelle 25: Verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten (Strom und Brennstoffkosten) der verschiedenen Szenarien. Kapitel 6.3

Szenario: Kohlepreis von 272€ pro Tonne.			Jährliche Kosten in EUR
Kohleverbrauch Kessel	10.759 to/a	272 €/to	2.926.448
Strombedarf Kohlekessel	700 MWh/a	100 €/MWh	70.000
Betriebsgebundene Kosten			528.978
Summe			3.525.426
Szenario: Wärmepumpen			
Gasverbrauch Kessel	6.111 MWh/a	90 €/MWh	550.000
Strombedarf EWP aus Solar	12.962 MWh/a	65 €/MWh	1.125.650
Strombedarf EWP aus Netz	8.642 MWh/a	180 €/MWh	1.555.481
Betriebsgebundene Kosten			261.038
Kapitalgebundene Kosten			251.648
Summe:			3.743.817
Szenario: Wärmepumpen + Energiespeicher			
Gasverbrauch Kessel	6.111	90	550.000
Strombedarf EWP aus Solar	16.851	65	1.463.344
Strombedarf EWP aus Netz	4.753	180	855.514
Betriebsgebundene Kosten			261.038
Kapitalgebundene Kosten			251.648
Summe:			3.381.545

Eigene Darstellung. Eine genaue Auflistung der betriebsgebundenen Kosten siehe nächste Tabelle.

Tabelle 26: Betriebsgebundene Kosten des jetzigen Standes und Prognose bei Installation der Wärmepumpen.

Betriebsgebundene Kosten der Kohlekessel	EUR		€/a
Bedienung Kesselanlagen	16,7	25.000	418.478
Wartung Kessel	2.550.000	3%	76.500
Wartung Förderung und Entaschung	1.360.000	2,5%	34.000
Summe betriebsgebundene Kosten			528.978
Betriebsgebundene Kosten Wärmepumpen			
Instandhaltung Gaskessel	1.050.000	1%	10.500
Personal Ingenieur		40.000	160.000
Wartungsvertrag	13	2.574	33.462
Instandhaltung Hydraulik	2.197.600	1%	21.976
Instandhaltung Grundwasser	1.230.000	2%	24.600
Instandhaltung Gebäude	2.100.000	0,5%	10.500
Summe betriebsgebundene Kosten			261.038

Tabelle 27: Auswirkungen eines Co2-Preises auf die Jahreskosten. Eigene Prognosen.

Varianten	Jahreskosten	CO ₂ -Preis			Gesamtjahreskosten			Wärmekosten in €/MWh		
		45€	100€	200€	45€	100€	200€	45€	100€	200€
CO₂-Preis-Szenario										
Istzustand										
Kohlekessel 272 €/t	3.822.047	1.315.459	2.924.712	5.849.423	5.137.506	6.746.759	9.671.470	93	123	176
Kohlekessel 150 €/t	2.509.449	1.315.459	2.924.712	5.849.423	3.824.908	5.434.161	8.358.872	70	99	152
Wärmepumpen										
Eigenstromnutzung 70%	3.460.719	305.707	697.497	1.394.994	3.766.427	4.158.216	4.855.713	68	76	88
Mit Speicher	3.013.519	214.887	487.507	975.014	3.228.405	3.501.026	3.988.533	59	64	73