

Energy Transition 2050: Publizierbarer Endbericht

Industrial Excess Heat – INXS

Erhebung industrieller Abwärmepotenziale in Österreich

Industrial Excess Heat – INXS

Erhebung industrieller Abwärmepotenziale in Österreich

Auftraggeber

Klima- und Energiefonds

Vertreten durch die Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)
FN 252263a
Sensengasse 1
1090 Wien

Auftragnehmer

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Franz Josef-Straße 18
8700 Leoben
Tel.: +43 3842 402 5401
E-Mail: evt@unileoben.ac.at

Projektpartner

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Altenberger Straße 69
4040 Linz

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Feldgasse 19
A-8200 Gleisdorf

AIT – Austrian Institut of Technology

Giefinggasse 4
1210 Wien

Kurzfassung	05
Abstract	06
Arbeitspaket 2 – Zusammenfassung bekannter Daten, Erstellung einer Methodendefinition und eines Klassifizierungskatalogs für Abwärmepotenziale	07
Einleitung	07
Ziele	07
Zusammenfassen bereits vorhandener Erhebungen	08
Erhebungsmethoden industrieller Abwärmepotenziale	09
Ergebnisse der Analyse	10
Deliverable 2.1 – Methodenportfolio und Klassifizierungskatalog	12
Methodenportfolio	12
Ermittlung des Energiebedarfes unterschiedlicher Energieträger an einem Standort	13
Veröffentlichungsbasierter Bottom-Up Ansatz	13
Top-Down Analyse	14
Ermittlung der Abwärmepotenziale	15
Ermittlung der Abwärmepotenziale über den veröffentlichungsbasierten Bottom-Up Ansatz	16
Abwärmepotenziale über die Bottom-Up Methode des Fragebogens	16
Beispielhafte Darstellung der Ermittlung von Abwärmepotenzialen über den veröffentlichungsbasierten Bottom-Up Ansatz	17
Klassifizierungen	23
Potenzialbegriffe	23
Klassifizierung der Abwärmepotenziale nach Temperaturbereichen	24
Klassifizierung nach Trägermedien oder Herkunft aus dem Produktionsprozess	24
Klassifizierung nach zeitlicher Verfügbarkeit	25
Klassifizierung nach Branchen	25
Technologien zur Nutzung	25
Klassifizierungskatalog	26
Abwärmepotenziale für die Jahre 2030 und 2040	30
Wirtschaftliche Annahmen	30
Bilanzgrenzen	31
Szenario Storyline	31
Das Szenario „Pathway of Industry“ (POI)	31
Genauigkeit der angewandten Methoden zur Analyse der energie-intensiven und -extensiven Industrie	31

Arbeitspaket 3 – Detailliertes und vollständiges Erheben der österreichischen Potenziale an industrieller Abwärme	33
Deliverable 3.1 – Theoretische und Technische Potenziale zusammengeführt	33
Ergebnisse aus der Anwendung der Bottom-Up und Top-Down Methoden	34
Technische Potenziale bereits fernwärmeerschlossener Gebiete	42
Arbeitspaket 4 – Darstellung einer vollständigen Landkarte des detaillierten industriellen Abwärmepotenzials in Österreich	46
Einleitung	46
Ziele	46
Deliverable 4.1 – Landkarte der industriellen Abwärmepotenziale in Österreich erstellt	46
Arbeitspaket 5 – Techno-ökonomische Empfehlungen in Richtung Umsetzung	48
Einleitung	48
Ziele	49
Technologie- und Systemoptionen insbesondere für zeitlich schwankende, industrielle Niedertemperaturwärme	49
Wärmepumpen	49
Einbindungskonzepte	50
Vergleich der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit	50
Thermische Speicher	57
Arten von thermischen Speichern	57
Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension	60
Vermeidung von Informationssymmetrien, Risikobewertung und -vermeidung	60
Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten	60
Deliverables 5.1 und 5.2 – Bericht zu Geschäftsmodellen, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme	61
Task 5.2: Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension	61
Task 5.3: Vermeidung von Informationsasymmetrien, Risikobewertung und -vermeidung	61
Analyse bestehender überbetrieblicher Abwärmenutzungen	61
Bestehende Umsetzungen in Österreich	62
Umfrage zu erfolgreichen Umsetzungen	64
Fragebogenauswertung	68
Geschäfts- und Finanzierungsmodelle	83
Akteure und Interessen	83
Wert- und Geldströme	84
Generische Kosten-Nutzen-Analyse	85

Volkswirtschaftlicher Mehrwert	88
Makroökonomisches Simulationsmodell MOVE2	88
Simulationsdesign: Szenariendefinition, Inputdaten und Annahmen	91
Ergebnisse der ex-ante Simulationsanalysen	94
Vor-/Nachteile sowie Risiken der Abwärmenutzung	102
Vor- und Nachteile inner- sowie überbetrieblicher Abwärmenutzung	102
Vor- und Nachteile von Abwärmenutzung im Vergleich zu ausgewählten Energieträgern	102
Potenzielle Barrieren der (überbetrieblichen) Abwärmenutzung und Lösungsansätze	103
Deliverable 5.3 – Handlungsempfehlungen an die Politik hinsichtlich	
Forcierung der Abwärmenutzung in Österreich	108
Task 5.4: Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten	108
Einordnung der Abwärme in den Kontext erneuerbarer Energieträger	109
Die Rolle der Abwärme in der Stärkung der österreichischen Volkswirtschaft	110
Handlungsempfehlungen	111
Organisatorische Rahmenbedingungen	111
Technische Rahmenbedingungen und Verortung	112
Rechtliche Handlungsempfehlungen	112
Finanzielle Rahmenbedingungen	113
Fazit zur Nutzung des österreichischen Abwärmepotenzials	114
Literaturverzeichnis	115
Anhang A	120
Anhang B	122
Anhang Deliverable 5.2 und 5.3 – Bericht zu Geschäftsmodellen, Barrieren & Risiken,	
Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme	122
Anhang: Fragebogen	123
Anhang: Expert*innenumfrage: Vor-/Nachteile von interner, externer	
und keiner Abwärmenutzung aus Sicht eines Produktionsunternehmens	128
Anhang: Expert*innenumfrage: Vor-/Nachteile von externer Abwärme	
für Fernwärme im Vergleich zu anderen Energiequellen/-konzepten	134
Anhang C	145

Kurzfassung

Das Projekt „Industrial Excess Heat“ (INXS) – Erhebung industrieller Abwärmepotenziale in Österreich – ist eine Forschungs- und Entwicklungsdienstleistung für das Programm Energy Transition 2050 (3. Ausschreibung 2020).

Das Projektkonsortium, bestehend aus den vier Partnern **Lehrstuhl für Energieverbundtechnik EVT** der Montanuniversität Leoben (Konsortialführer), **Energieinstitut** an der Johannes Kepler Universität Linz (EJ-KU), **AEE – Institut für nachhaltige Technologien** und dem **AIT Austrian Institute of Technology** – Center for Energy (AIT) wurde beauftragt, unter Anwendung eines Bottom-Up-Ansatzes für die energie-intensive Industrie, sowie eines Top-Down-Ansatzes für die energie-extensiven Industrie, die industriellen Abwärmepotenziale vollständig zu erheben.

Anschließend wurden die erhobenen Potenziale nach räumlichem Aufkommen, Temperaturniveau der Abwärme, Herkunft aus dem Prozess sowie nach Branchen klassifiziert. Um auch die zukünftigen industriellen Abwärmepotenziale für 2030 und 2040 abschätzen zu können, wurde auf eine Datenbasis des Innovationsnetzwerkes „New Energy for Industry“ (NEFI) als zurückgegriffen.

Zur geografischen Verortung wurde eine vollständige Landkarte der Abwärmepotenziale erstellt und in die bereits vorhandene Austrian Heat Map eingebunden, um auch möglicher Wärmesenken und Einspeisungen in Nah- und Fernwärmenetze zu erkennen. Diese Aufgabe wurde vom Subauftragnehmer **e-think energy research** übernommen.

Es konnte ein technisches Abwärmepotenzial von insgesamt ca. 34 TWh identifiziert werden. Dabei entfallen auf etwa 300 Unternehmen der energieintensiven Industrie, welche vorwiegend über die Bottom-Up Methode berechnet wurden, ein Abwärmepotenzial von insgesamt ca. 26 TWh.

Für die energie-extensive Industrie wurde über diestatische Top-Down Methode bei über 1500 Unternehmen ein Abwärmepotenzial von insgesamt ca. 4 TWh identifiziert. Aufgrund von vorhandenem Know-How im Konsortium konnten auch die Abwärmepotenziale von über 600 Kläranlagen mit ca. 4 TWh abgeschätzt werden.

Für zeitlich schwankende, industrielle Abwärmern wurden Technologie- und Systemoptionen ermittelt, welche zusätzliche Flexibilität schaffen. Geschäftsmodelle und Empfehlungen für politische Unterstützungsinstrumente sollen weitere Hemmungen in der Umsetzung der Nutzung von Abwärme aus dem Weg räumen.

Abstract

The project “Industrial Excess Heat” (INXS) – Assessment of industrial waste heat potentials in Austria – is a research and development service for the Energy Transition 2050 program (3rd call 2020).

The project consortium, consisting of the four partners **Chair of Energy Network Technology EVT** of the Montanuniversität Leoben (consortium leader), **Energy Institute at the Johannes Kepler University Linz** (EIJ-KU), **AEE – Institute for Sustainable Technologies** and the **AIT Austrian Institute of Technology** – Center for Energy (AIT), was commissioned to completely assess the industrial waste heat potentials using a Bottom-Up approach for the energy-intensive industry and a Top-Down approach for the energy-extensive industry.

Subsequently, the surveyed potentials were classified according to spatial occurrence, temperature level of waste heat, origin from the process, and industries. In order to estimate the future industrial waste heat potentials for 2030 and 2040, a database of the innovation network “New Energy for Industry” (NEFI) was used.

For the geographical localization, a complete map of the waste heat potentials was created and integrated into the already existing Austrian Heat Map in order to also identify possible heat sinks and feeds into local and district heating networks. This task was taken over by the subcontractor **e-think energy research**.

A technical waste heat potential of about 34 TWh could be identified. Here, about 300 companies of the energy-intensive industry, which were mainly calculated by the Bottom-Up method, account for a total waste heat potential of about 26 TWh.

For the energy-extensive industry, a waste heat potential of about 4 TWh was identified for more than 1500 companies using the statistical Top-Down method. Due to existing know-how in the consortium, the waste heat potentials of more than 600 wastewater treatment plants could also be estimated as approx. 4 TWh.

For temporally fluctuating, industrial waste heat, technology and system options were identified, which create additional flexibility. Business models and recommendations for political support instruments are intended to remove further obstacles to the implementation of waste heat utilization.

Arbeitspaket 2 – Zusammenfassung bekannter Daten, Erstellung einer Methodendefinition und eines Klassifizierungskatalogs für Abwärmepotenziale

Einleitung

Um bis 2040 ein klimaneutrales Österreich zu erreichen ist der klimagerechte Umbau aller Sektoren, insbesondere des Energiesystems und der Infrastruktur, normativ im aktuellen Regierungsprogramm vorgegeben¹. Es sind dabei Ausbauziele erneuerbarer Energien definiert, die auf einer Reihe von Studien bezüglich der bekannten technischen Potenziale basieren. Der abgedeckte Zeitrahmen erstreckt sich zumindest bis ins Jahr 2050, wobei Umsetzungsfahrpläne bis 2030 bereits sehr gut beschrieben sind. Die konkrete Ausrichtung der Dekarbonisierung auf alle energieverbrauchsrelevanten Sektoren ist ebenfalls im Regierungsprogramm normativ vorgegeben (z. B. für 2040 durch UBA-Szenarien²). Die weitere Ausdetaillierung für den industriellen Sektor ist zudem Gegenstand zahlreicher nationaler und internationaler Studien, an denen die Partner der einreichenden Bietergemeinschaft (BIEGE) aktiv beteiligt waren und sind. Auch im NEFI-Verbund³ wird derzeit an Szenarien für die industrielle Dekarbonisierung gearbeitet. Im Regierungsprogramm ist zudem festgelegt, dass Regelungen für die Erfassung und Einbindung von Abwärmequellen vor allem in die Raumwärmebereitstellung geschaffen werden müssen.

Ziele

Im Endbericht der Begleitforschung, die im Rahmen der Erarbeitung der Wärmestrategie Österreich⁴ durchgeführt wurde, wurde klar festgestellt, dass eine umfassende Datengrundlage betreffend österreichischer Abwärmepotenziale fehlt und erarbeitet werden muss. Dies erkennt man auch, wenn man die für Österreich vorliegenden Erhebungen analysiert: Die Erhebungen zeigen nur Ausschnitte der Abwärmepotenziale und Wärmeversorgungsstruktur in Österreich, welche dadurch nicht detailliert genug (Austrian Heat Map) oder unvollständig sind, da sie veraltet sind (KPC Abwärmeerhebung⁵) oder nur lokale Potenziale beinhalten (Abwärmekataster Graz, Abwärmekataster Steiermark, Heat_re_USE.Vienna, Waste Heat Explorer). Die Differenzierung der Abwärmequellen hinsichtlich Abwärmetemperatur, Entfernung zwischen Wärmequelle und Senke sowie des Zeitprofils der Wärmebereitstellung, bzw. die Berücksichtigung der zukünftigen Veränderung der zugrundeliegenden Industrieprozesse, ist strukturell ohnedies nicht erfasst. Hinsichtlich GIS-Darstellung besteht für den Wärmebereich mit der Austrian Heat Map eine sehr leistungsstarke Plattform, die folglich Abwärmedaten nicht umfassend darstellen kann, da sie, wie dargelegt, nicht erhoben sind.

1 Klimaschutz & Energie: www.open3.at/regierungsprogramm/03-01-Klimaschutz-Energie.html#industrie-und-gewerbe-ein-green-deal-fur-osterreichs-wirtschaft.

2 Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt; Abrufbar online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel_2050.pdf (zuletzt abgerufen am: 10.08.2020).

3 www.nefi.at

4 Handler, M.; Reinprecht, A.; Schrattecker, I.; Trebut, F. Prozessbegleitung – Erarbeitung der Wärmestrategie (www.bmlrt.gv.at/umwelt/energie/wende/waermestrategie.html), 2020.

5 Daten nicht mehr verfügbar.

Hinsichtlich techno-ökonomische Empfehlungen für eine forcierte Nutzung industrieller Abwärme in Österreich sind bereits eine Reihe von Vorarbeiten vorhanden, insbesondere die aktuelle Studie des AIT auf europäischer Ebene⁶. Ein durchgängiges Dokument, welches Handlungsempfehlungen für Technologie- und Systemoptionen bzw. Geschäftsmodelle, sowie für rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen spezifisch für Österreich nennt, existiert jedoch noch nicht.

Im vorliegenden Vorhaben sollen die angeführten Lücken insofern geschlossen werden, sodass eine vollständige Datenbasis zur Unterstützung von Umsetzungsprojekten industrieller Abwärmenutzung geschaffen wird: Dazu wird erstmals eine umfassende und detaillierte Erfassung der heute (2020) in Österreich vorhandenen theoretischen wie technischen Potenziale an industrieller Abwärme durchgeführt bzw. die Veränderung der Abwärmesituation durch neue industrielle Prozesse für die Zeitpunkte 2030 und 2040, abgeschätzt. Die Potenziale werden dabei flächendeckend auf Gemeindeebene erfasst und hinsichtlich ihrer Abwärmetemperatur, Entfernung zwischen Wärmequelle und Senke sowie des Zeitprofils der Wärmebereitstellung ausdifferenziert. Dazu werden Top-Notch Erhebungsmethoden eingesetzt, die durch die BIEGE auf europäischer Ebene mitentwickelt wurden. Die Einbindung der BIEGE in maßgebliche nationale Industrienetzwerke (z. B. NEFI) erlaubt zudem einen optimalen Zugang zu den industriellen Stakeholdern und damit eine Erarbeitung robuster Ergebnisse.

Zudem stellt die Integration der erhobenen Potenziale in die umfassendste, für Österreich verfügbare, georeferenzierte Internet-Wärmeplattform – die Austrian Heat Map (vgl. LOI mit der Energy Economics Group), in Kombination mit dem erstellten Klassifizierungskatalog, eine innovative Möglichkeit dar, Abwärmern mit entsprechenden Wärmesenken zu verknüpfen und so über kaskadische Energienutzung eine effiziente Energieversorgung zukünftig aufzubauen.

Zum Abbau wirtschaftlicher und regulatorischer Hemmnisse, werden auf Basis mikro- und/oder makroökonomischer Rechnungen bzw. Analysen von Geschäftsmodellen, durchgängige Handlungsempfehlungen entwickelt, die Änderungen im rechtlichen Rahmen und Anpassungen des Fördersystems umfassen. Ziel ist es, auf der Technologie- und Systemebene, sinnvolle Konzepte zu unterstützen, bzw. heute vorhandene Finanzierungsrisiken und Informationsasymmetrien abzubauen.

Damit erfüllt dieses Angebot alle in der Ausschreibung angeführten Inhalte vollinhaltlich. Die Arbeit trägt im Folgenden dazu bei, die österreichischen Klimaziele voranzutreiben und das heimische Energiesystem nachhaltiger und effizienter zu gestalten.

Zusammenfassen bereits vorhandener Erhebungen

Das Thema der Abschätzung industrieller Abwärmepotenziale hat in den letzten Jahren an Relevanz gewonnen, weshalb eine Vielzahl an nationalen und internationalen Studien veröffentlicht wurden.

⁶ www.euroheat.org/news/policy-updates/recommendations-waste-heat-recovery-urban-agenda-energy-transition-partnership

Nicht zuletzt durch die Anforderung von Artikel 14 der Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU) mussten sämtliche EU-Mitgliedsstaaten eine umfangreiche Analyse zu den nationalen Potenzialen einer effizienten Wärme- und Kälteversorgung durchführen, die auch eine Abschätzung der Abwärmepotenziale enthält. Im Rahmen des Projektes INXS wurden bestehenden Studien analysiert und die gewonnenen Erkenntnisse als Ausgangsbasis der projekt-eigenen Abwärmepotenzialerhebung herangezogen.

Bedingt durch die Vielzahl an Studien wurde der Fokus dieses Tasks auf die Sammlung von Arbeiten beschränkt, die auf nationaler/regionaler Ebene oder mit Bezug zu Österreich durchgeführt wurden. Abweichend davon wurde eine aktuelle deutsche Studie ebenso in die Sammlung einbezogen.

Erhebungsmethoden industrieller Abwärmepotenziale

Anders als bei Input-Größen industrieller Prozesse (z. B. Energieträgerbedarf), zu denen gute statistische Daten vorhanden sind, ist Abwärme als eine Output-Größe ohne (direkte) Kosten bzw. Nutzen oft nicht erfasst⁷. Die Erhebung von Abwärmepotenzialen ist daher komplex und wird zusätzlich durch die Heterogenität der Abwärme (Wärmemenge, Wärmeträger, Temperaturniveau und Zeitprofil der Wärmebereitstellung) erschwert.

In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze zur Erhebung von Abwärmepotenzialen beschrieben, die in Top-Down bzw. Bottom-Up Methoden unterteilt werden können. Abbildung 1 zeigt eine Einteilung der beiden Ansätze inklusive unterschiedlicher Methoden und Datenquellen.

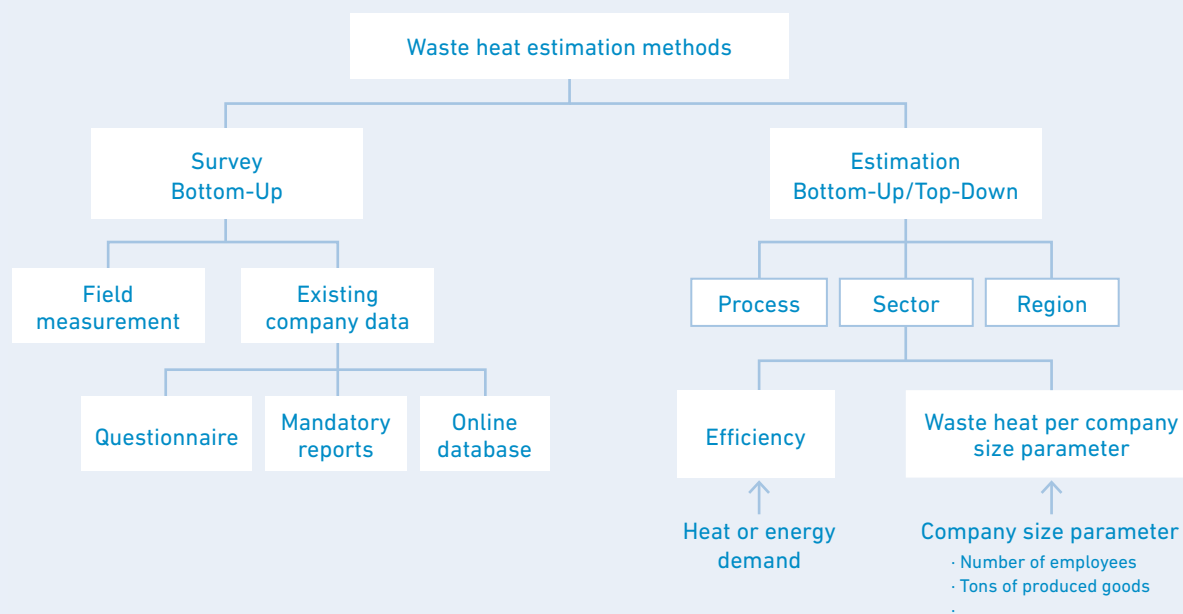


Abbildung 1
Einteilung der Methoden zur Erhebung von Abwärmepotenzialen⁸

⁷ Brueckner et al., 2014

⁸ Brueckner et al., 2014

Bottom-Up

Bei Bottom-Up Ansätzen kommen als Datengrundlage direkte Messungen oder Erhebungen in Frage, bei denen spezifische Daten auf Unternehmensebene gesammelt werden. Ausgehend von diesen Daten können Aussagen über einzelne Unternehmen und, bei entsprechender Datenqualität, auch über ganze Sektoren getroffen werden. Durch den direkten Zugang zu einzelnen Unternehmen ist die vollständige Erfassung der relevanten Abwärmeparameter möglich.

Nachteilig ist bei diesem Ansatz die hohe Ressourcenintensität, die mit Erhebungen und vor allem Messungen verbunden ist, insbesondere wenn der Umfang der durchzuführenden Potenzialabschätzung sehr groß ist. Die Erhebung mittels Fragebogen ist eine Methode, die vergleichsweise wenig Ressourcen bindet, wobei dabei Risiken betreffend Datenqualität (Wissen nicht vorhanden) und -quantität (Rücklaufquote) bestehen⁹.

Top-Down

Bei Top-Down Ansätzen werden allgemeine Daten (Statistiken, vorhandene Datenbanken, etc.) herangezogen, die mit geeigneten Proxies kombiniert zu einer Schätzung der gewünschten Größe führen. Als Proxies werden einerseits Wirkungsgrade einzelner Prozesse bzw. Anlagen oder Kennzahlen bestimmter Branchen (z. B. Abwärmepotenzial pro Mitarbeitenden) herangezogen. Entsprechende Werte können aus der Literatur bzw. in Kombination mit einem Bottom-Up Ansatz aus Erhebungen stammen. Mit diesem Ansatz lassen sich Abwärmepotenziale auf sämtlichen Größenskalen erheben.

Ein Nachteil dieses Ansatzes ist, dass oftmals nur grobe Aussagen über den Temperaturbereich und keine Aussagen über die zeitliche Verfügbarkeit der Abwärme möglich sind¹⁰.

Neben den verschiedenen Erhebungsansätzen wird auch nach der Art des erhobenen Potenzials unterschieden. Es gibt viele Definitionen der einzelnen Potenziale, hier werden die drei gängigsten kurz beschrieben¹¹:

- **Theoretisches Potenzial:** Größtmögliches Potenzial, bei dem nur physikalische Einschränkungen betrachtet werden. Die Wärme muss oberhalb der Jahresdurchschnitts-Umgebungstemperatur liegen und an einen Wärmeträger (Flüssigkeit, Gas) gebunden sein.
- **Technisches Potenzial:** Ausgehend vom theoretischen Potenzial werden hier Einschränkungen, wie technische Möglichkeiten der Wärmeextraktion berücksichtigt. Unberücksichtigt bleibt, ob eine Möglichkeit zur unmittelbaren Nutzung (Wärmesenken in der Nähe der Quelle) besteht.
- **Wirtschaftliches Potenzial:** Der Teil des technischen Potenzials, der unter gegebenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich nutzbar ist.

Ergebnisse der Analyse

Die gesammelten Studien sind im Anhang A in Tabelle 28 zusammengefasst. Neben dem Umfang, der angewandten Methode und der Art des erhobenen Potenzials wurden die Projekte einer Klassifizierung bezüglich räumlicher, zeitlicher und Temporauflösung unterzogen. Die Klassifizierung basiert auf folgender Einteilung:

Räumlich

- Niedrig – Potenziale auf nationaler Ebene bzw. für gesamte Branchen
- Mittel – Potenziale in höherer Auflösung als nationaler Ebene (z. B. Gemeindeebene)
- Hoch – Potenziale von einzelnen Unternehmensstandorten

⁹ Åsblad & Bertsson, 2019

¹⁰ Åsblad & Bertsson, 2019

¹¹ Brueckner et al., 2014; Fiukowski et al., 2016

Zeitlich

- Niedrig – Jährliches Abwärmepotenzial
- Mittel – Saisonale Verteilung des Abwärmepotenzials bzw. Verfügbarkeit der Quelle in Stunden pro Jahr
- Hoch – Saisonale und betriebswöchentliche Verfügbarkeit der Abwärmequelle

Temperatur

- Niedrig – Temperatur wird in Erhebung berücksichtigt
- Mittel – Klassifizierung nach Temperaturniveaus vorhanden
- Hoch – Klassifizierung der Temperaturniveaus mindestens in Nieder-, Mittel- und Hochtemperatur

Die Sammlung zeigt, dass die räumliche Verortung und auch die Temperaturauflösung in vielen Erhebungen bereits hinreichend hoch ist. Größtenteils stellen die erhobenen Potenziale jedoch nur eine jährliche Energiemenge dar, tägliche/betriebswöchentliche/saisonale Schwankungen wurden nur in einzelnen Studien betrachtet. Der Faktor der zeitlichen Verfügbarkeit ist für die Umsetzung der Abwärmenutzung jedoch essenziell. Falls die Abwärme größtenteils im Sommer anfällt, wenn der Wärmebedarf der Wärmesenke gering ist, kann von dem ermittelten Potenzial eventuell nur ein kleiner Teil genutzt werden.

Eine weitere sinnvolle Klassifizierungsart, die im Rahmen dieser Analyse jedoch nicht berücksichtigt wurde, ist die Einteilung der Abwärme nach Trägermedium (z. B. Rauchgas, Ab-/Kühlwasser, Dämpfe oder Abluft). Durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Medien kann eine universelle Erhebung der Potenziale durchgeführt werden. Zusätzlich ermöglicht die Unterteilung die bessere Beurteilung eines wirtschaftlich nutzbaren Potenzials, da die Extraktion von Abwärme, abhängig von den jeweiligen Trägermedien, unterschiedliche technische Lösungen benötigt.

Als gut geeignete Methode zur Erhebung von Abwärmepotenzialen in der Industrie konnte ein grundlegender Bottom-Up Ansatz, ergänzt um Top-Down Analysen, identifiziert werden. Ausgehend von Kenntnissen zu den relevanten Prozessen in den jeweiligen Branchen und Informationen zu Emissionen oder Produktionsmengen, können der Energieträgereinsatz sowie die Abwärmemengen und -temperaturen bestimmt werden. Durch eine zusätzliche direkte Erhebung mittels Fragebögen können einerseits bereits ermittelte Potenziale validiert werden und andererseits Informationen zur zeitlichen Verfügbarkeit der Abwärme gesammelt werden.

Für die restlichen Unternehmen, die mit dem Bottom-Up Ansatz nicht erreicht werden können, bietet eine statistische Top-Down Analyse eine passende Möglichkeit. Unter Verwendung einer entsprechenden Metrik und Proxy-Daten (z. B. branchenspezifische Energieeinsätze pro Mitarbeitenden, typische Temperaturniveaus, etc.) können die Abwärmepotenziale aus statistischen Strukturdaten abgeschätzt werden. Durch die Kombination und mögliche gegenseitige Validierung (Plausibilitätschecks) der Methoden kann eine hohe Datenqualität erreicht werden.

Ein wichtiger Aspekt, der bisher kaum adressiert wurde, ist die Abschätzung der zukünftigen Verfügbarkeit der Abwärmepotenziale. Bedingt durch die angestrebte Dekarbonisierung des gesamten Energiesystems werden Prozessumstellungen, insbesondere in der energieintensiven Industrie, notwendig werden. In einzelnen Branchen (Stahl- und Aluminiumerzeugung, Zementerzeugung und (petro)chemische Industrie) müssen bestehende Prozessrouten durch disruptive Innovationen, so genannten Low-Carbon-Breakthrough-Technologien, ersetzt werden. Damit einhergehend ist eine starke Veränderung des Abwärmepotenzials wahrscheinlich¹².

Bedingt durch den generellen Shift zur direkten Elektrifizierung und dem Etablieren von Hochtemperatur-Wärmepumpen, ist auch in den nicht-energieintensiven Branchen mit einer Veränderung der Abwärmepotenziale zu rechnen. Wenn bestehende Prozesse im Bereich bis 150 °C vorrangig direkt-elektrisch versorgt werden, verringert sich durch den Wegfall der Verbrennungsprozesse auch in diesen Branchen die nutzbare Abwärme. Mittels Wärmepumpen könnte die unternehmenseigene Niedertemperatur-Abwärme auch intern für Prozesse mit höheren Temperaturanforderungen genutzt werden, was die extern zur Verfügung stehende Abwärmemenge weiter reduziert.

Um die langfristige Nutzung der Abwärme zu ermöglichen, muss der Fokus daher, neben der Erhebung von bestehenden Potenzialen, auch auf die Verfügbarkeit in 10, 20 oder 30 Jahren gerichtet werden. Da die externe Nutzung von Abwärme mit erheblichen Investitionen in die nötige Infrastruktur verbunden ist, macht eine solche Investition nur mit der nötigen Planungssicherheit für die nächsten Jahre Sinn.

DELIVERABLE 2.1 –

Methodenportfolio und Klassifizierungskatalog

In diesem Deliverable werden die Methoden für die Ermittlungen der Abwärmepotenziale vorgestellt, die mit Beispielen der Vorgehensweise zu einigen Branchen ergänzt werden. Weiters folgt eine Darstellung der Klassifizierung einschließlich des Klassifizierungskatalogs für die Bewertung der Abwärmern.

Methodenportfolio

Für die Datenerhebung wurden verschiedene Methoden eingesetzt, um gleichzeitig einer guten Datenlage bei einigen Standorten und der großen Anzahl an Unternehmen gerecht zu werden. Um die Abwärmern zu bestimmen, müssen zunächst die Primärenergiebedarfe, aufgeschlüsselt in die einzelnen Energieträger, erhoben werden. Erst danach kann, ausgehend von der Prozessanalyse oder über spezifische Kennzahlen die Abwärme bestimmt werden. Über Fragebögen werden die Bedarfe von Energie und die Abwärmern direkt übermittelt. In Abbildung 2 ist dies in einer Übersicht der Methoden dargestellt.

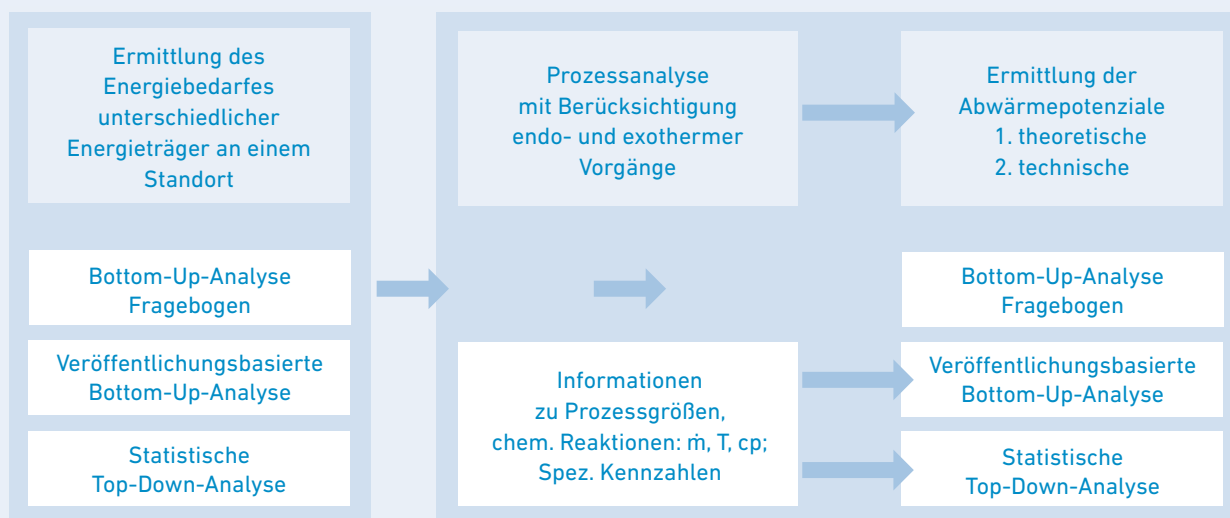


Abbildung 2
Übersicht über die generelle methodische Vorgangsweise zur Bestimmung der Abwärmepotenziale

Im Fall der Methoden über öffentlich verfügbare Daten erfolgt noch eine Aufteilung in die veröffentlichungs-basierte Bottom-Up- und die statistische Top-Down-Analyse. Diese Aufteilung erfolgte in Anlehnung an Brückner¹³, jedoch wird bei Brückner nur die Abwärme aus dem Rauchgas von Verbrennungsprozessen berücksichtigt. Generell ist zu bemerken, dass die Abgrenzung zwischen Bottom-Up und Top-Down kein scharfer Übergang ist, sondern fließend erfolgt.

Ermittlung des Energiebedarfes unterschiedlicher Energieträger an einem Standort

In einem ersten Schritt werden die Möglichkeiten der Ermittlung des Energiebedarfes diskutiert. Darauf folgend wird auf die Methoden der Erfassung der Abwärmern eingegangen.

Veröffentlichungsbasierter Bottom-Up Ansatz

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, wurde bei der veröffentlichungsbasierten Bottom-Up Analyse zur Bestimmung des Energieeinsatzes wiederum in drei verschiedene Methoden unterschieden.



Abbildung 3
Möglichkeiten zur Bestimmung des Energieeinsatzes
über den veröffentlichungsbasierten Bottom-Up Ansatz

Ersteres ist die Nutzung von öffentlich verfügbare Energiedaten, was natürlich die genaueste der drei Methoden darstellt. Diese sind in verpflichtend zu veröffentlichenden EMAS-Berichten, in freiwillig veröffentlichten Umweltberichten oder Websites der Firmen selbst oder etwa in publizierten Berichten über die Betriebe zu finden.

Die nächste Möglichkeit besteht über die Rückrechnung auf den Energieeinsatz (Verbrennungsrechnung) von öffentlich zugänglichen Emissionsdaten aus dem ETS-Register (Emission Trading System)¹⁴, in welchem die ausgestoßenen CO₂-Äquivalente von allen größeren Betrieben der energieintensiven Branche verpflichtend veröffentlicht werden müssen. Beinhaltet der Produktionsprozess auch prozessbedingte Treibhausgasemissionen, so muss dieser Anteil vorher abgezogen werden. Dies kann über spezifische Kennzahlen, beispielsweise aus den BAT-Dokumenten, verknüpft mit den häufig verfügbaren Produktionsmengen, erfolgen. Waren keine weiteren Angaben bekannt, wurde von Erdgas als Energieträger ausgegangen.

Die dritte Möglichkeit der Bestimmung der eingesetzten Energie ist die Verwendung von spezifischen Energiekennzahlen aus bereits berechneten ähnlichen Betrieben. Diese Kennzahlen können auf Mitarbeiter, Produktionsmenge oder Umsatz bezogen sein.

Der Anteil des Stromes kann bei dieser Methode nur über den spezifischen Stromeinsatz aus Literaturwerten (BAT-Dokumente, Branchenberichte) oder wiederum bereits berechneten ähnlichen Betrieben bestimmt werden.

Top-Down Analyse

Als dritte Methode wurde an Standorten der energieintensiven Industrie als auch für Berechnungen der Energie-extensiven Industrie, für die weder Umweltbilanzen noch EMAS-Zertifikate noch Produktionsmengen oder CO₂-Ausstöße bekannt waren, wurde die Top-Down-Methode eingesetzt, vgl. Abbildung 4.



Abbildung 4
Möglichkeiten zur Bestimmung des Energieeinsatzes
über den Top-Down Ansatz

Die erste Möglichkeit ist die Verwendung von spezifischen Energiekennzahlen einer Branche oder eines Sektors. Diese Kennzahlen können ebenfalls auf Mitarbeiter, Produktionsmenge oder Umsatz bezogen sein, in den meisten Fällen sind diese als Energiebedarf pro Produkteinheit bekannt und in BAT-Dokumenten oder Branchenberichten (z. B. des Umweltbundesamtes) zu finden.

Die nächste Möglichkeit ist die Bestimmung von Kennzahlen aus Daten der Statistik. Dabei werden die Energiemengen pro Sektor und Bundesland mit der Beschäftigtenstatistik verknüpft. Für die energieintensiven Industrien Fahrzeugbau, Maschinenbau, Bergbau sowie Textil und Leder wurde die statistische Top-Down-Methode als ausschließliche Berechnungsmethode angewendet.

Um den statistischen Top-Down Ansatz zu verbessern, kann für Branchen oder Sektoren, in denen bereits einige Betriebe über den Bottom-Up Ansatz berechnet wurden, eine Kombination aus Bottom-Up und Top-Down Ansatz Verwendung finden. Hierbei werden die Energiemengen,

die in der Bottom-Up-Methode den einzelnen Standorten zugeschrieben werden, aufsummiert und mit der Energieeinsatzstatistik der Statistik Austria abgeglichen. Ebenso wird bei den Beschäftigtenverfahren. Die Differenz dieser beiden Energiebeträge als auch Beschäftigten werden den noch übrigen Standorten zugeordnet, und zwar gewichtet nach den Mitarbeiterzahlen.

Grundsätzlich ist hier zu beachten, dass in den Statistiken der sektorale energetische Endverbrauch angegeben ist, und für Sektoren wie Eisen- und Stahlerzeugung, Papierherstellung oder Chemie- und Petrochemie auch Umwandlungseinsatz, Umwandlungsausstoß, Verbrauch des Sektors Energie als auch nichtenergetischer Verbrauch zu berücksichtigen ist.

Ermittlung der Abwärmepotenziale

Wenn die eingesetzte Energiemenge bestimmt wurde, kann über verschiedenen Methoden die Abwärme ermittelt werden. Wie in *Abbildung 5* zu sehen ist, wird hier wiederum in veröffentlichungs-basierte Bottom-Up und Top-Down Analyse unterschieden.

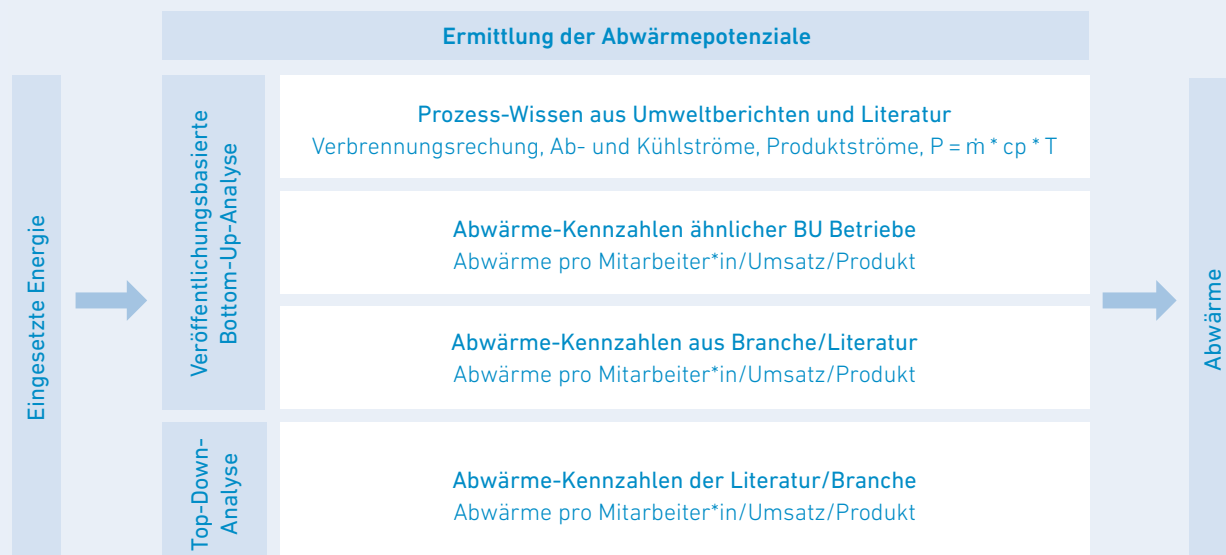


Abbildung 5
Möglichkeiten zur Bestimmung der Abwärmern über verschiedene Ansätze

Ermittlung der Abwärmen über den veröffentlichungsbasierten Bottom-Up Ansatz

Die erste und genaueste Möglichkeit der Bestimmung der Abwärmen ist über die möglichst genaue Nachbildung der Prozesse. So werden mit Hilfe der Verbrennungsrechnung und den bekannten Rauchgas-temperaturen die fühlbaren Wärmen als auch die Kondensationswärmen berechnet. Die Abwärme in den Produkten kann über die Produktionsmengen bestimmt werden, Abwärmen im Kühlwasser meist über die Angaben in Umweltberichten, über Prozessbeschreibungen aus der Literatur¹⁵ oder über spezifische Kennzahlen. Abwärme der Druckluftherzeugung kann über Zurückrechnung aus dem angegebenen Druckluftbedarf berechnet werden. Abwärme von heißen, strahlenden Oberflächen der Drehrohre beispielsweise können mit Zuhilfenahme von spezifischen Werten aus der Literatur ermittelt werden.

Wurden ähnliche Betriebe bereits mit Hilfe von umfangreichen Daten berechnet, so können, ähnlich wie bei der Bestimmung des Energieeinsatzes, Kennzahlen erstellt werden. Diese Kennzahlen können wiederum auf Mitarbeiter, Produktionsmenge oder Umsatz bezogen sein und für die Berechnung auf das betreffende Unternehmen angewendet werden. Auch in der Literatur veröffentlichte Sankey-Diagramme können für die Bildung von Abwärme- bzw. auch Energieeinsatzspezifische Kennzahlen herangezogen werden.

Sind keine Prozessinformationen oder oben beschriebene Informationen vorhanden, so kann als dritte Methode Kennzahlen aus der Literatur eingesetzt werden, welche das Verhältnis von Abwärme zu Energieeinsatz wiedergeben. Beispiele dazu gibt es bei [Cornelis & Bael]¹⁶, [sEnergies]¹⁷, [Mc Kenna]¹⁸ oder [Enova]¹⁹.

Abwärmen über die Bottom-Up Methode des Fragebogens

Wie zu Beginn des Kapitels in *Abbildung 2* zu sehen ist, können Energieeinsatz und Abwärmepotenzial auch über die Bottom-Up Methode der Fragebögen ermittelt werden. Für die Entwicklung des Fragebogens wurden verschiedene ähnliche Umfragen und Fragebögen der Vergangenheit analysiert, die dem Projektteam zur Verfügung standen. In der hier verwendeten Version wurden im Teil A Unternehmensdaten und Produktionsdaten abgefragt. Im Teil B wurde nach den 4 wichtigsten Energieträgern gefragt, in Teil C nach den wichtigsten 3 Abwärmepotenzialen, wobei hier auch Massen- bzw. Volumenströme, Temperaturen oder Leistungen abgefragt wurden. In Teil D wurde um Angabe der bestehenden Abwärmennutzung gebeten. Besonderes Augenmerk wurde auf den Datenschutz gelegt, indem die Unternehmen für jeden Teil auswählen konnten, ob die Informationen für die Veröffentlichung oder nur für wissenschaftliche Zwecke in aggregierter Form genutzt werden dürfen.

15 Brückner et al., Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions – A categorization and literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014

16 Cornelis & Bael: How well can the potential of industrial excess heat be estimated

17 sEnergies: Excess heat potentials of industrial sites in Europe

18 McKenna, Norman: Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK

19 Enova: Utnyttelse av spillvarme fra norsk industri, 2009

Beispielhafte Darstellung der Ermittlung von Abwärmern über den veröffentlichungs-basierten Bottom-Up Ansatz

Das folgende Vorgehen stellt die Bottom-Up-Methode dar und wurde für die größeren Standorte der ÖNACE-Codes C10, C16, C17, C20, C21, C23, C24 und H49²⁰ durchgeführt.

Auf Basis öffentlich verfügbarer Umweltberichte und EMAS-Zertifikate wurde für viele Standorte der energieintensiven Industrie eine Umweltbilanz erstellt.

Die hier in der Berechnung berücksichtigten Abwärmern stammen aus spezifischen Abwärmeströmen, welche durch existierende Technologien (Stand der Technik) gefasst werden können. Daher wird im Ergebnisteil sowohl ein theoretisches als auch ein technisches Potenzial angegeben.

Zur Erhebung der Abwärmepotenziale wurde zunächst für jeden Standort eine Energiebilanz erstellt. Die konkreten Werte zum Energieverbrauch wurden, wo möglich, aus online veröffentlichten Berichten (Umweltberichte, EMAS) entnommen, als Basisjahr wurde 2019 gewählt, in wenigen Fällen wurden abweichende Veröffentlichungs-

jahre verwendet, wenn diese eine besonders ausführliche Analyse boten. In diesen Berichten finden sich in Input-Output-Bilanzen die Jahreseinsätze jedes Energieträgers sowie die Energiemengen, die z. B. in Form von Strom oder Fernwärme in die jeweiligen Netze eingespeist werden. Um Standorte ohne Umweltberichte zu erfassen, wurden die Produktionsmengen und Hauptprozesse eruiert: aus branchenspezifischen Literaturdaten typischer Produktionspfade konnten Hochrechnungen erstellt werden. Dazu wurden die Tonnagen an Produkt und, wo bekannt, die Tonnagen an Rohstoff betrachtet. Zur Überprüfung der Methode wurden die Hochrechnungen auch bei einigen Standorten mit Umweltbericht durchgeführt und Übereinstimmung gefunden. Die hohe Spezialisierung der einzelnen Werke machten es notwendig, die vielen Standorte einzeln zu betrachten.

In der **Papierbranche** wurde dabei zwischen Kraft- und Schleifprozessen zur Pulpherstellung unterschieden, eine Abschätzung der Verhältnisse der Rohstoffe (Hack-schnitzel, Altpapier, zugekaufter Zellstoff) und Produkte (Papier, Zellstoff) war auf Grund guter Datenlage möglich.

Quellen

Papier	doi.org/10.3390/en14041161
Branchenbericht	www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiewende-in-der-industrie-ap2a-branchensteckbrief-papier.pdf
BAT-Dokumente zum prozessspezifischen Energiebedarf	www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0039.pdf www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE180.pdf
Energieinhalt des Grundmaterials (Anteil der Schwarzlauge im Holz)	ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/allowances/docs/benchnm_co2emiss_en.pdf Price, L., Worrell, E., Neelis, M., Galitsky, C. and N. Zhou (2007) World best practice energy intensity values for selected sectors, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-62806 Rev. 1, June 2007

Tabelle 1
Literaturquellen Papierindustrie

²⁰ C10: Herstellung von Nahrungs- und Futtermittel, C17: Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus, C20: Herstellung von chemischen Erzeugnissen, C23: Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden, C24: Metallherzeugung und -bearbeitung, H49: Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen

Die dominante Energieform für mögliche Abwärmenutzung ist hier das Rauchgas aus der Verbrennung von Erdgas und Schwarzlauge; Kohle ist als Energieträger seit 2020 nicht mehr in Verwendung, scheint aber in 2019 noch auf. Als Medien für die Abwärme wurden das Rauchgas aus Kraft-Wärmekopplungsanlagen, Abwasser und Produkte identifiziert.

In der **Eisen- und Stahlbranche** sind als Primärprozesse jene der integrierten Hüttenwerke und der Elektrolichtbogenofen-Prozess zu nennen. Ein Beispiel zur Analyse der Prozesse bezüglich Input und Output ist in Abbildung 6 der Sinterprozess dargestellt.

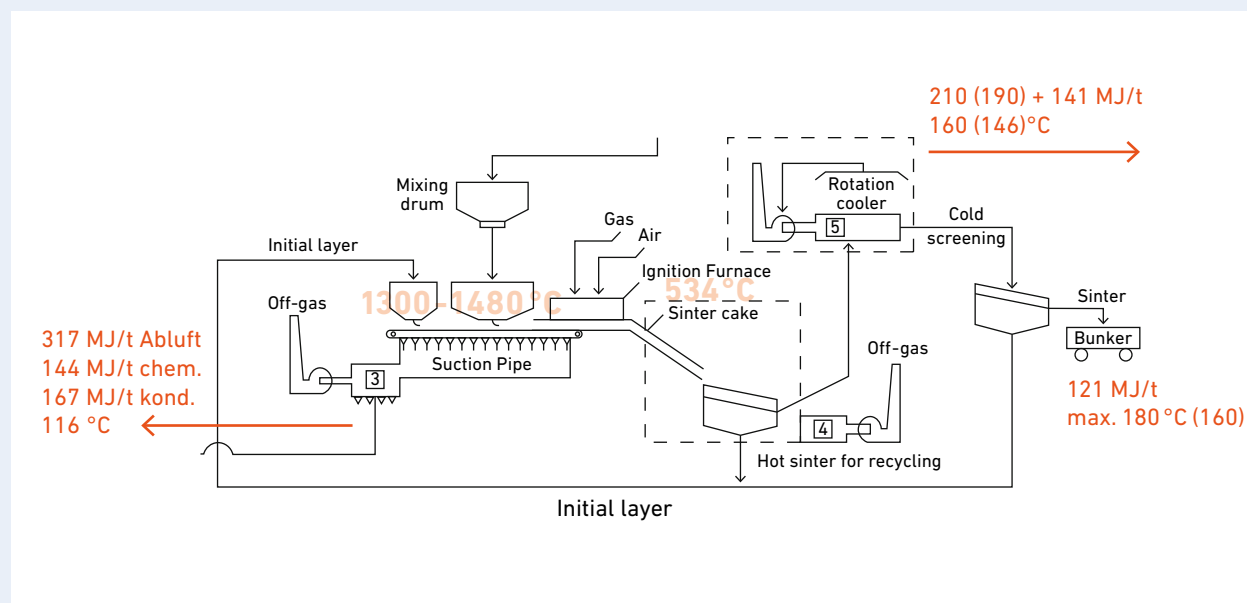


Abbildung 6

Sinterprozess mit spezifischen Prozessdaten und Temperaturen

(Quelle: BREF Iron and steel, Daten aus UBA BRD, Abwärmenutzungspotenziale in Anlagen integrierter Hüttenwerke der Stahlindustrie)

Bei den Prozessen im Integrierten Hüttenwerk der Voestalpine Stahl Donawitz GmbH beispielsweise sind die eingesetzten Energie- und Produktmengen aufgrund des veröffentlichten EMAS Umweltberichtes bekannt. Bei den weiteren Hüttenwerken mit Elektrolichtbogenofen wird die fossil eingesetzte Energiemenge über CO₂ Mengen (aus Prozess und eingesetzten Energieträgern) aus dem ETS-Register bzw. über spezifische Werte bestimmt. Neben dem Primärprozess werden auch Sekundärprozesse betrachtet, z. B. in Umformwerken, wo aus Strangguss-knüppeln Halbzeuge wie etwa Rohre hergestellt werden.

Bei den übrigen Betrieben ohne Umweltberichte kann die Bestimmung des Energieeinsatzes über die CO₂ Mengen aus dem ETS Register der EU und, wenn verfügbar, über die Produktionsmengen in Kombination mit spezifischen Energieangaben aus der Literatur erfolgen.

Bei Betrieben ohne CO₂ Daten, Umweltbilanzen und genauen Prozessinformationen wird die oben beschriebene Top Down Methode, sowohl beim Energieeinsatz als auch bei der Bestimmung des Abwärmepotenzials, angewandt.

Bei der Ermittlung des Stromeinsatzes besteht bei Betrieben ohne Umweltbilanz nur die Möglichkeit der Verwendung von spezifischen Branchenkennzahlen oder die Verwendung von Kennzahlen aus ähnlichen Betrieben mit bekannten Energiedaten.

Wichtig zu erwähnen ist hier auch die Berücksichtigung des Energiebedarfes von endothermen Prozessen (z. B. Reduktionsreaktion im Hochofen) als auch die Energie Freisetzung aus exothermen Prozessen (z. B. im LD-Konverter).

Die Berechnung der Abwärme aus dem Rauchgas erfolgt über die Verbrennungsrechnung des Brennstoffes, wobei die Kondensationsenthalpie in der dabei auftretenden Feuchtigkeit separat ausgewiesen wird. Als Rauchgastemperaturen werden jene in vorhandenen Schemen und Beschreibungen verwendet, wenn darüber keine Information vorhanden ist, wird in die Berechnung eine Temperatur von 200 °C eingesetzt. Bei elektrisch betriebenen Aggregaten wird auf spezifische Energiekennzahlen aus der Literatur zurückgegriffen.

Die Abwärme aus Kühl- und Abwässern wird nur berücksichtigt, wenn Informationen darüber vorhanden sind oder spezifische Werte von ähnlichen Betrieben herangezogen werden können.

Die Produktwärmern bzw. Wärmeinhalte der heißen oder warmen Produkte ergeben sich aus den angegebenen oder berechneten Produktkapazitäten und werden mit angegebenen Temperaturen aus der Literatur berechnet.

Die Abwärme aus der Druckluft wird nur dann berücksichtigt, wenn die Druckluftmengen in Umweltberichten angegeben sind. Dabei erfolgt die Berechnung aus Angaben von DENA/Fraunhofer/VDMA (Druckluft effizient) mit einer spezifischen Leistung von 4,8 kW/m³/min (guter Bereich oberhalb der adiabaten Verdichtung). Daraus kann eine Verdichtungstemperatur von 259 °C errechnet werden, die zur Bestimmung des theoretischen Energieinhaltes herangezogen wird.

Im Unterschied zum physikalischen Potenzial werden beim technischen Potenzial Einschränkungen technischer Natur berücksichtigt. Das sind Grädigkeiten bei Wärmeübertragern – im Bereich von 5 K bei Kühlwasser, bis hin zu 400 K z. B. bei der Trockenschlackegranulation- und Wirkungsgrade der Wärmerückgewinnungs-aggregate inklusive Rohrleitungen. Diese wurden mit 9% bei Wärmeübertragern (Wärmeverlust über Oberflächen und Rohrleitungen bis hin zu 50% bei auskühlenden Produkten.

Wird Abgas mit Falschluff verdünnt ändert sich auch die Kondensationstemperatur. Da die Falschluffmenge nicht bekannt ist, kann hier nur eine Schätzung vorgenommen werden, was in diesem Fall mit einem Wirkungsgrad von vorsichtigen 80% berücksichtigt wird.

Quellen

BAT-Dokumente	eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/iron-and-steel-production eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ferrous-metals-processing-industry
Abwärmenutzungs-potenziale in integrierten Hüttenwerken der Stahlindustrrie	www.umweltbundesamt.de/publikationen/abwaermenutzungspotenziale-in-anlagen-integrierter www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-01-21_texte_07-2019_abwaermenutzungspotenziale-huettenwerke.pdf
Stand der Technik für Anlagen zur Eisenmetallverarbeitung	www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0557.pdf
Technologie-vergleich Elektro-stahlerzeugungs-verfahren	pure.unileoben.ac.at/portal/files/1896823/AC12251146n01vt.pdf

Tabelle 2

Literaturquellen, auf die in den Berechnungen der Branche Eisen und Stahl zurückgegriffen wurde

Im Sektor „Steine und Erden, Glas“ sind die Branchen Herstellung von Zement, Kalk, Gips, Glas, Ziegel, Keramik und Feuerfestprodukten vertreten. Als Beispiel sei hier das Modell der **Zementherstellung** dargestellt.

Während spezifische Energie- und Umweltdaten für die österreichischen Zementwerke nur sehr eingeschränkt vorhanden sind, wird jährlich ein umfassender Bericht veröffentlicht, der u. a. aggregierte Absolutwerte und Durchschnittswerte zu den Emissionen und zum Brenn-

stoff- und Energieeinsatz der gesamten Branche am Standort Österreich liefert. Ausgehend vom Bericht des Jahres 2020 *Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie*²¹ und einem Wärmeflussdiagramm²², wurde ein Rechenmodell erstellt, das versucht die Abwärmeströme eines durchschnittlichen österreichischen Zementwerkes möglichst genau abzubilden. Vereinfacht wurde dieses Modell auf alle Zementwerke angewendet, wobei das Abwärmepotenzial in Abhängigkeit von den erfassten CO₂-Emissionen abgeschätzt wurde. Dabei

21 Mauschwitz, Gerd: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie: Berichtsjahr 2020. Wien, 2021

22 Fürhapter, Peter: Thermische Verfahrenstechnik in der Bindemittel- und Baustoffindustrie, Vorlesungsskript an der Montanuniversität Leoben, 2007

wurden der CO₂-Anteil biogener Brennstoffe als auch der Anteil der prozessbedingten Emissionen in der Rückrechnung zum Brennstoffeinsatz berücksichtigt.

Die Wärmebilanz baut auf ein Wärmeflussdiagramm auf, das den Unterlagen der Vorlesung „Thermische Verfahrenstechnik in der Bindemittel- und Baustoffindustrie“ der Montanuniversität entnommen wurde. Diese ist in Abbildung 7 graphisch dargestellt, wobei für diese

Arbeit besonders die aus dem Bilanzraum ein- und austretenden Wärmeströme relevant sind. Innerhalb der Prozessblöcke deuten positive Vorzeichen auf endotherme und negative Vorzeichen auf exotherme Prozesse hin. Die vollen (schwarzen) Pfeile stellen die feststoffgebundenen, die strichlierten die gasstromgebundenen, die roten die diffusen und die grünen die eintretenden Wärmeströme dar.

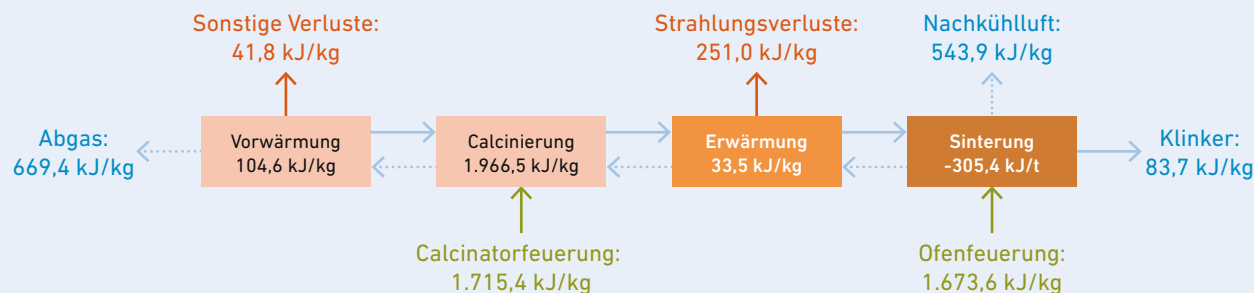


Abbildung 7

Allgemeine Wärmebilanz eines Zementwerkes pro Kilogramm Klinker nach Fürhapter

Mit einem Brennstoff-Input von 3389 kJ/kg ist dieser in der Bilanz deutlich geringer als der durchschnittliche Input der österreichischen Anlagen von 3983 kJ/kg.²³ Wenn davon ausgegangen wird, dass die Reaktionsbilanz mehr oder weniger ident ausfällt, müssen die Wärmeverluste der realen Anlagen größer sein. Um den höheren Energieeintrag pro Klinker zumindest teilweise zu berücksichtigen, wurden die austretenden Wärmeströme auf den Brennstoff-Input der Bilanz bezogen, wobei sich eine neue prozentuelle Verteilung ergibt.

Ein Teil der Abwärme wird bereits intern zur Trocknung und Vorwärmung des Inputmaterials beziehungsweise

des Brennstoffes verwendet. Laut einer Studie der Vereinigung der österreichischen Zementwerke werden dabei 53% des nutzbaren Abwärmepotenzials bereits genutzt. Als nutzbar gilt Abwärme über 100 °C aus den Wärmeströmen Abgas und Abkühlluft²⁴.

Zur Berechnung des theoretischen Potenzials wurden die in den Strömen enthaltene Wärme ausgehend von einer maximalen Temperatur von 300 °C anteilmäßig auf alle Temperaturbereiche verteilt und anschließend von der intern genutzten Wärme im Temperaturbereich über 100 °C abgezogen. Für die Berechnung des technischen Potenzials wurde für die Verteilung der Wärme

²³ Fürhapter, Peter: Thermische Verfahrenstechnik in der Bindemittel- und Baustoffindustrie, Vorlesungsskript an der Montanuniversität Leoben, 2007

²⁴ Berger, Helmut; Höinig, Volker: Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie. 2010

nur mehr von einer Temperatur von 200 °C ausgegangen. Aufgrund der Staubbelastung wurde für alle Wärmeströme außer der Strahlungswärme eine Grädigkeit von 40 °C angenommen.

Die Rückgewinnung der Strahlungswärme bei Drehrohröfen ist derzeit nicht Stand der Technik. Eine Möglichkeit Strahlungs- und konvektive Wärmeverluste zu reduzieren, ist es, den Drehrohröfen mit einem zweiten Mantel zu umhüllen, wobei in den Zwischenspalt Kühlluft geleitet wird. Die Wärme soll dabei auf einem Temperaturniveau von etwa 300 °C rückgewonnen werden können, ohne den Prozess zu beeinflussen.²⁵ Dabei ist davon auszugehen, dass es weder technisch noch ökonomisch möglich ist den gesamten Reaktor zu umhüllen, diese Arbeit nimmt an, maximal 40 % der Verluste rückgewinnen zu können.

Als weiteres Beispiel soll hier die Berechnung der Abwärme aus den **Gasverdichter** beispielhaft angeführt werden, welche in der ÖNACE unter dem Code H49 „Landverkehr, Transport in Rohrfernleitungen“ eingeordnet ist.

Die hier betrachtenden Gasverdichter-Einheiten sind erdgasbefeuerte Verdichtereinheiten, wobei die anlagen-spezifischen Informationen aus den veröffentlichten UVP-Bescheiden der Anlagen Eggendorf und Weiten-dorf stammen.

Als Abwärmequellen aus den Verdichterstationen kommen Turbinenabluft aus der Gasturbine der Verdichtereinheit und die Erwärmung des Gases durch die Verdichtung in Frage (Abbildung 8).

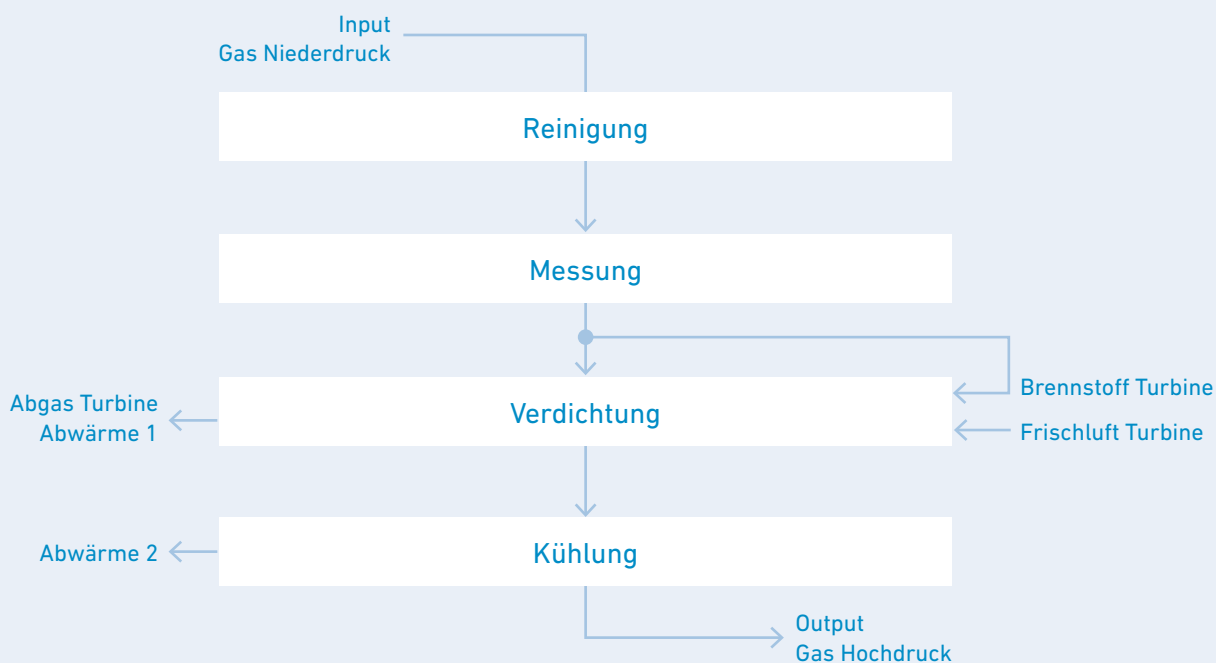


Abbildung 8
Blockschaltbild Gasverdichteranlage (eigene
Darstellung nach Vorlage Gas Connect Austria)²⁶

²⁵ Karamarkovic et al.: Recuperator for waste heat recovery from rotary kilns, Applied Thermal Engineering, 2023

²⁶ Gas Connect Austria GmbH: Verdichterstation: Mit Hochdruck durch die Leitung, Verdichterstationen entlang der Gasleitungen bringen Endgas wieder in Fahrt. www.gasconnect.at/ueber-erdgas/erdgas-transport/verdichterstation – Überprüfungsdatum 2023-02-14

Für Letzteres ist die exakte Erwärmung abhängig von der genauen Druckdifferenz und dem Durchfluss. Da diese Informationen nicht zugänglich sind, wurden die Berechnungen über den im Bescheid angegebenen Wirkungsgrad der Turbine und den oben angenäherten Durchfluss errechnet. Da die Druckdifferenz nicht bekannt ist, wurde die Verdichterarbeit für die Verdichtung zum Maximaldruck von 70 bar ermittelt und daraus die Temperaturerhöhung bei der Verdichtung der ermittelten Durchflussmengen errechnet.²⁷

Der Energiegehalt der Turbinenabluft als zweite Abwärmequelle hängt vorrangig von Temperatur und Luftmenge am Kamin ab. Da beim Betrieb von Gasturbinen hohe Luftzahlen zum Einsatz kommen, muss die Abgasmenge für den Turbinenbetrieb ermittelt werden. Die Luftzahl einer Turbine hängt vom Typ der Turbine sowie vom Arbeitspunkt und Betriebszustand ab. Der Energieeinsatz der Turbinen wurde mit Hilfe der Veröffentlichungen der CO₂ Ausstöße über die Verbrennungsrechnung zurückgerechnet. Für die Anlagen Eggendorf und Weitendorf liegen UVP-Bescheide vor, diesen Bescheiden ist zu entnehmen, dass der Nutzungsgrad der Turbinen für beide Anlagen bei jeweils 37,7% liegt. Die Abgas-temperatur ist mit 530 °C angegeben^{28,29}.

Ein wichtiger Punkt bei der Berechnung der Abwärmepotenziale von Gasverdichtern ist die Ermittlung des Durchflusses. Die Durchflussabschätzung stellt die Grundlage für die Berechnung der möglichen zu gewinnenden Abwärme aus dem verdichteten Gas.

Die genauen Angaben über den Durchsatz der Verdichter-Einheiten sind nicht öffentlich zugänglich, weswegen zur Abschätzung auf vorhandene, zugängliche Daten zurückgegriffen wurde. Grundlage für die Abschätzungen

waren die im Zuge des Entry/Exit-Modelles veröffentlichten Durchflussmengen an den Verrechnungspunkten. Die *Austrian Gas Grid Management AGGM* stellt als Tochtergesellschaft der *Gas Connect Austria* die Aufzeichnungen über die verrechneten Entry/Exit-Aufzeichnungen zur Verfügung.

Die elektrischen Verdichter wurden nicht berücksichtigt, da hier einerseits kein Abgas entsteht und es aufgrund der nicht vorhandenen CO₂-Menge kaum möglich ist, auf die Drucksteigerungen zu schließen.

Klassifizierungen

Hier wird versucht, die Abwärmern und dessen Potenziale zu klassifizieren, um für nachfolgende Prozesse und Nutzungen, wie den unten angeführten Klassifizierungskatalog, eine leichtere Bewertung zu ermöglichen. Weitere hier nicht detailliert beschriebene Klassifizierungen sind die Einteilung in Leistungsbereiche und die Verschmutzung des Abwärmestromes.

Potenzialbegriffe

Für den Potenzial-Begriff gibt es unterschiedliche Definitionen in der Literatur, wobei diese hauptsächlich für den Bereich der Erneuerbaren Energien beschrieben werden. Für die hier betrachtete Abwärme wurden eigene Definitionen verwendet:

Das theoretische (oder physikalische) Potenzial berücksichtigt nur physikalische Einschränkungen: Die Wärme muss oberhalb von 0 °C liegen (= Referenztemperatur) und an einen Wärmeträger (Flüssigkeit, Gas, Feststoff) gebunden sein. Nicht berücksichtigt werden hier die technische Möglichkeit der Wärmeextraktion oder Nutzung der Wärme.

²⁷ Murhammer, Christoph: Ermittlung industrieller Abwärmepotentiale mit Schwerpunkt Holzindustrie, Herstellung von Biotreibstoffen und Gasinfrastruktur, Masterarbeit Montanuniversität Leoben, 2023

²⁸ Bescheid Amt der niederösterreichischen Landesregierung: UVP Bescheid Eggendorf, Bescheid, RU4-U-234/020-2007, 2007-05-22

²⁹ Bescheid Amt der steiermärkischen Landesregierung: Bescheid Gasverdichterstation Weitendorf, Bescheid, FA13A-11.10-11/2008-16, 2008-03-13

Ausgehend vom theoretischen Potenzial werden beim technischen Potenzial Einschränkungen, wie Limitierungen der Wärmeextraktion berücksichtigt, d. h. abhängig von den technischen Möglichkeiten (z. B. Stand der Technik bzw. Stand der Wissenschaft). Technische Einschränkungen sind z. B. die minimale Temperaturdifferenz im Wärmetauscher (Grädigkeit), starke Verunreinigungen des Wärmeträgermediums, biologische Randbedingungen bei Abwasser (Biofouling) oder Betriebssicherheit. Nicht berücksichtigt wird hier, ob eine Möglichkeit der unmittelbaren Nutzung (Industriebetrieb mit Wärmebedarf, vorhandenes Wärmenetz) besteht oder ob die Nutzung wirtschaftlich ist.

Die Wahl von 0°C als untere Grenze ist unterhalb der Jahresdurchschnitts-temperatur in den geografischen Tallagen, wurde jedoch vom Konsortium so festgelegt, da bis zu dieser Temperatur die Nutzung der Wärme für Heizungszwecken mit einer Wärmepumpe doch durchaus wirtschaftlich als auch effizient möglich ist.

Klassifizierung der Abwärme nach Temperaturbereichen

Bezüglich der Einteilung der Temperaturkategorien wurden folgende Klassen gewählt: > 100°C, 50 bis 100°C, 0 bis 50°C.

Die im Vergleich zu anderen Studien relativ feine Einteilung im unteren Temperaturbereich soll der zu erwartenden steigenden Bedeutung von Niedrigtemperaturquellen und deren Nutzung in Niedrigtemperatur- bzw. Anergienetzen im Zusammenspiel mit Wärmepumpen Rechnung tragen. Diese Anwendungen können mit Temperaturen unter 50°C gespeist werden. Der Bereich zwischen 50 und 100°C zielt auf kleinere Netze, optimierte oder moderne Fernwärmenetze mit reduzierten Vorlauftemperaturen ab, der Bereich über 100°C kann klassische Fernwärmenetze versorgen.

Klassifizierung nach Trägermedien oder Herkunft aus dem Produktionsprozess

Mit dem Ziel der universellen Anwendbarkeit über alle Branchen wurden folgende 4 Kategorien von Trägermedien für Abwärme klassifiziert: Rauchgas, Kondensation, Abwasser und Kühlwasser und Produktwärm-/Hallenab-/Maschinenabluft (Tabelle 3). Dies ermöglicht detaillierte Analysen in der Gesamtauswertung.

Abwärmekategorie	Beschreibung
Rauchgas	Dies umfasst alle durch Verbrennungsvorgänge verursachte Rauchgasströme, wobei hier nur die fühlbare Abwärme in diese Kategorie aufgenommen wird.
Kondensation	Diese Kategorie enthält die im Rauchgas durch Kondensation erzielbare Abwärme, als auch jene durch Kondensation von Brüden aus Verdampfungs- oder Trocknungsvorgängen.
Abwasser und Kühlwasser	Diese Kategorie umfasst alle Wasserströme aus Kühlvorgängen, als auch Wasserströme, welche die Produktion oder die Anlage verlassen
Produktwärme/Hallenabluft/ Maschinenkühlung	Zum einen werden hier die Abwärmepotenziale aus noch warmen oder heißen Produkten aus dem Produktionsprozess erfasst und durch Abkühlen Energie an die Umgebung abgeben. Wenn Daten oder Literatur zu Hallenabluft verfügbar waren, wird auch diese Wärme – Abwärme aus Industrieöfen, Produktionslinien etc. – in die Berechnung dieser Kategorie mit eingebunden. Die Maschinenkühlung umfasst alle luftbasierten Abwärmepotenziale die einer Maschine zugeordnet sind, wie z. B. Druckluftkompressoren in der nicht-energieintensiven Industrie.

Tabelle 3

Definierte Abwärmekategorien für den Abwärmekataster Steiermark

Klassifizierung nach zeitlicher Verfügbarkeit

Bei der Klassifizierung der Unternehmen wurde auch versucht die zeitliche Verteilung der Abwärme zu erfassen. Das ist über die Auswertung der Fragebögen in genauer Weise möglich, bei der veröffentlichungs-basierten Bottom-Up Methode als auch bei Top-Down Berechnungen ist man auf Informationen aus der Webseite des Unternehmens oder weitere Informationen aus dem Web angewiesen. Dabei teilt sich die zeitliche Verfügbarkeit auf saisonale und betriebswöchentliche Effekte auf.

Klassifizierung nach Branchen

Generell wurde jedem berechneten Unternehmen der zugehörige ÖNACE- Code, mindestens 4-stellig, beigelegt, um Auswertungen in den einzelnen Branchen vornehmen zu können.

Speziell für große Betriebe in den energieintensiven Branchen, wie die Herstellung von Papier/Pappe und Waren daraus (C17), Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (C23) oder Metallherzeugung und Metallbearbeitung (C24) sind die meisten öffentlichen Daten verfügbar und diese wurden deshalb zu Großteil mittels der Bottom-Up Methode berechnet. Kleinere Betriebe und große Unternehmen in diesen Sektoren ohne öffentlich verfügbare Daten und vor allem die Unternehmen in der Energie-extensiven Branchen wurden über die Top-Down Methode behandelt.

Technologien zur Nutzung

Da Abwärme entweder an spezifische Stoffströme gebunden oder in Form von Abstrahlung auftritt, muss die Technologie zur Wärmerückgewinnung entsprechend gewählt werden.

Die Wärmerückgewinnung erfolgt im Allgemeinen über Wärmeübertrager. Unterschiedliche Technologien sind für einzelne Temperatur- und Anwendungsbereiche besser oder schlechter geeignet, Beispiele sind Wärmetauscher, Strahlungsrohre oder Regeneratoren. Grädigkeiten und Verluste hängen von der Geometrie, den eingesetzten Materialien und Wärmemedien oder auch von den Größen der Aggregate ab.

Die Grädigkeiten³⁰, also die Temperaturdifferenz zwischen der Austrittsseite des kalten Stroms (Sekundärseite) zum warmen Strom (Primärseite) wurden mit 5 K im Bereich von flüssigen Medien, mit 20 bis 30 K bei verschmutzten Gasen bis hin zu 400 K bei flüssigen Schmelzen festgelegt.

Neben der Grädigkeit wurde der Wirkungsgrad der Wärmeübertragungs-Technologie für die Umrechnung vom Theoretischen zum Technischen Potenzial berücksichtigt. Dies sollte die Verluste des Wärmeübertragers selbst als auch die Zu- und Ableitungen der Medien berücksichtigen. Klarerweise kann dies nur eine Abschätzung sein, ist dies doch von Situation zu Situation, vor allem räumlich, verschieden.

So wurden bei der Energieübertragung von Flüssigkeiten und Gasen, welche über einen Rekuperator bewerkstelligt werden können, ein Wirkungsgrad von 90% angenommen, bei porösen Produkten wie gesintertes Material oder kleines Stückgut Werte von 70 bis 80%. Bei der Wärmeübertragung von Produkten mit glatten Oberflächen bzw. von heißen Schmelzen wurde von einem Wirkungsgrad von jeweils 50% ausgegangen. Weil die Abluft in einem realen Verbrennungsprozess mit Falschluft oder Zusatzluft verdünnt wird, wurde für die Kondensation ein Wirkungsgrad von 70 bis 80% angenommen.

Häufige Technologien sind direkte Nutzung, Nutzung mittels Wärmepumpen oder mehrstufige Verfahren. Als Nutzungspfade bieten sich als interne Möglichkeit die direkte Nutzung oder mit Wärmepumpe an. Als externe Nutzung gibt es die folgenden Optionen: Direkte Nutzung in anderer Industrie, direkte Nutzung für Fernwärme und Niedertemperaturnetz mit dezentraler Wärmepumpe.

Klassifizierungskatalog

Aufgabe des Projektes INXS ist es, die bislang ungenutzten Potenziale standortgenau zu erheben und mit weiteren Kennzahlen in einer Datenbank zu hinterlegen. Diese Datenbank muss interpretiert werden: Um qualitativ zu entscheiden, welche Abwärmequellen für eine Nutzung sinnvoll erscheinen, wurden einige Parameter in einer Matrix (siehe Tabelle 4) zusammengefasst. Diese Kenngrößen und Indikatoren werden im Folgenden erklärt:

- das Temperaturniveau des Abwärmestroms, der die Art der möglichen Nutzung bestimmt
- die durchschnittliche Leistung, die von der Wärmequelle zur Verfügung gestellt werden kann und erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat
- die zeitliche Verfügbarkeit, die die Zuverlässigkeit der Versorgung mit Wärme beschreibt
- die saisonale Schwankung, unter der die Abwärme verfügbar ist
- das Medium und Verschmutzung des Abwärmestroms, die Einfluss auf die einsetzbaren Technologien haben
- der Abstand zum nächsten Fernwärmeakteur z. B. eine Quelle, Senke oder eine nahegelegene bestehende Fernwärmeleitung, mit der ein Austausch erfolgen könnte.

Für jeden dieser Punkte wurden außerdem verschiedene Kategorien oder Bereiche definiert.

Die Nutzung des Abwärmestroms ist auch abhängig von der Entfernung zwischen Quelle und Senke; daher ist neben den genannten Kriterien auch die beabsichtigte Art der Wärmenutzung relevant und bildet die zweite Achse der Matrix. Hier wird zunächst zwischen betriebsinterner und externer Wärmenutzung unterschieden: Für die betriebsinterne Nutzung ist festzustellen, ob eine direkte Nutzung möglich ist (z. B. Verbrennungsluftvorwärmung, Speisewasservorwärmung, Trocknung zur Einsparung von Primärenergie) oder ob eine Wärmepumpe einzusetzen ist um das Temperaturniveau des Abwärmestromes auf ein brauchbares Niveau zu heben. In der externen Nutzung schlüsseln sich die möglichen Anwendungen auf in eine direkte Nutzung des Abwärmestroms durch benachbarte Industrieanlagen, in eine direkte Einspeisung in ein Fernwärmenetz und in eine Einspeisung in ein Fernwärmenetz mit Nutzung einer Wärmepumpe. „Industrie direkt“ bedeutet die Nutzung der Abwärme in einem mehr oder weniger benachbarten anderen Industrie- oder Gewerbebetrieb bzw. in Industrie- oder Gewerbe-Clustern. „Fernwärme-Netz direkt“ meint die Einspeisung der Abwärme in ein Fernwärmenetz bei vorwiegend ausreichender Höhe der Temperatur, sodass die Versorgung von Gebäuden, Gewerbe, aber auch Industrien mit zumeist ohne Hebung mit Wärmepumpen erfolgen kann. „Fernwärmenetz mit dezentraler WP“ bedeutet die Einspeisung von Niedertemperaturwärme in ein Niedertemperaturnetz oder in ein Kaltes Nahwärmenetz (Anergienetz), wobei in den meisten Fällen die Anhebung der Temperatur bei den Verbrauchern notwendig ist (Ausnahmen können hier z. B. die Anwendung in Gewächshäuser sein).

Auf einer groben Skala von -2 bis +2 wird die Eignung des betrachteten Abwärmestroms (Zeile) hinsichtlich der potenziellen Nutzung (Spalte) abgeschätzt.

Bewertungskriterien	Wärmenutzung				
	Betriebsintern		extern		
	direkt	Wärmepumpe	Industrie direkt	FW-Netz direkt	NT-Netz mit dezentraler WP
Temperatur					
> 100 °C	1	-2	1	2	-2
50 – 100 °C	0	1	-1	1	1
bis 50 °C	-1	2	-2	-1	2
durchschnittliche Leistung					
> 10 MW	2	0	2	2	1
1 – 10 MW	2	1	2	2	2
100 kW – 1 MW	2	1	1	1	2
< 100 kW	1	2	-1	1	2
zeitliche Verfügbarkeit					
> 6.000 Std.	2	2	2	2	2
4.000 – 6.000 Std.	2	2	0	1	1
2.000 – 4.000 Std.	2	2	-1	0	1
< 2.000 Std.	1	1	-2	-2	1
Saisonale Schwankung					
7 Tage/ganzjährig	2	2	2	2	2
Nur wochentags/ganzjährig	2	2	2	2	1
Vorrangig im Sommer	1	2	1	1	1
Vorrangig im Winter	2	2	1	2	2
Medium des Abwärmestromes					
Rauchgas	1	1	1	2	0
Kondensat	0	1	-2	-1	2
Ab-/Kühlwasser	0	1	-1	-1	2
Produktwärme/Hallenabluft	-1	1	-2	-1	2
Abluft Maschinenkühlung	1	1	-2	-1	2



Bewertungskriterien	Wärmenutzung				
	Betriebsintern		extern		
	direkt	Wärmepumpe	Industrie direkt	FW-Netz direkt	NT-Netz mit dezentraler WP
Verschmutzung des Wärmestromes					
keine	2	2	2	2	2
leichte	1	1	1	1	1
starke	1	-1	-1	-1	-1
Entfernung zum FW-Akteur					
<1 km	2	2	2	2	2
1–5 km	1	1	1	1	2
5–10 km	n. a.	n. a.	0	1	1
>10 km	n. a.	n. a.	-1	-1	-1

Tabelle 4

Bewertungsmatrix für die Priorisierung der Abwärmern. Struktur nach Schnitzer, et al. (2012). Neubewertung durch Projekt-Team.

Legende

- 2 gute Eignung
- 1 in meisten Fällen ist Nutzung möglich
- 0 unter bestimmten Umständen ist die Nutzung möglich
- 1 kritisch, Nutzung kaum möglich bzw. wird erschwert
- 2 Ausschlusskriterium, Nutzung unmöglich

Diese Parameter können für Quellen und für Senken gleichermaßen angewendet werden.

auf einen Rauchgasstrom mit der Temperatur 90 °C. Dabei werden nur die für den Rauchgasstrom relevanten Zeilen abgebildet und in die Bewertung miteinbezogen.

In Tabelle 5 wird diese Matrix am Beispiel eines Schacht-ofens in der Kalkindustrie angewendet, und zwar konkret

Bewertungskriterien	Wärmenutzung				
	betriebsintern		extern		
	direkt	Wärmepumpe	Industrie direkt	FW-Netz direkt	FW-Netz mit dezentraler WP
Temperatur					
50 – 100 °C	0	1	-1	1	1
durchschnittliche Leistung					
100 kW – 1 MW	2	1	1	1	2
zeitliche Verfügbarkeit					
> 6000 Std.	2	2	2	2	2
Saisonale Schwankung					
7 Tage/ganzjährig	2	2	2	2	2
Medium des Abwärmestromes					
Rauchgas	1	1	1	2	0
Verschmutzung des Wärmestromes					
leichte	1	1	1	1	1
Entfernung zum FW-Akteur					
< 1 km	2	2	–	–	–
5 – 10 km	–	–	0	1	1
Summe	10	10	6	10	9

Tabelle 5

Anwendung am Fallbeispiel eines Kalkbrandofens:

Rauchgasstrom bei 90°

In diesem Beispiel ist zusätzlich eine Summe angegeben, die die entsprechende Spalte zusammenfasst. Diese Summe bietet allerdings nur eine grobe Orientierung, für welche der Anwendungen der Wärmenutzung eine genauere Untersuchung empfohlen werden kann.

Abwärmepotenziale für die Jahre 2030 und 2040

Neben den Erhebungen der aktuellen Abwärmepotenziale, bei denen man vom „vor-pandemischen“ Jahr 2019 ausgegangen war, wurden auch die Abwärmepotenziale für die Jahre 2030 und 2040 berechnet. Dabei wurde auf das vom Innovationsnetzwerk „New Energy for Industry“ (NEFI) ausgearbeitete Szenario „Pathway of Industry“ (POI) zurückgegriffen, welches mit dem Szenario „With Existing Measures“ (WEM) vergleichbar ist, jedoch auch die Sicht der Industrie mit ihren eigenen Maßnahmen berücksichtigt.

Das Innovationsnetzwerk „New Energy for Industry“ (NEFI) ist die zentrale Anlaufstelle für die Bemühungen der Industrie um Klimaneutralität in Österreich. Im Rahmen von NEFI arbeiten Stakeholder aus verschiedenen Teilspektoren gemeinsam mit Forschern und Ingenieuren an der Entwicklung neuartiger grüner Technologien, die der Industrie zur Klimaneutralität verhelfen und gleichzeitig den Industriestandort Österreich voranbringen und seine weltweite Technologieführerschaft sichern.

Im Rahmen der Studie „Pathway to industrial decarbonisation“³¹ hat NEFI die hier skizzierten Bedarfs-szenarien der Industrie als visionären Leitfaden für Stakeholder der produzierenden Industrie, für politische Entscheidungsträger und für Technologieanbieter entwickelt. Diese Studie präsentiert die Ergebnisse der drei NEFI-Szenarien, die für den Zeitraum 2017 bis 2050 durchgeführt wurden:

1. Business as usual (BAU)
2. Weg der Industrie (POI)
3. Null-Emission (ZEM)

Die Studie wurde im Jahr 2018 initiiert und berücksichtigt die EU-Klimaziele für 2050. Als Basis für die Szenarioprojektionen wurde der Zeitraum 2017 bis 2019 herangezogen. Obwohl das aktuelle Programmziel der Regierung die Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 ist, wurde das Zieljahr 2050 beibehalten, um internationale Vergleiche zu ermöglichen und die Sichtbarkeit der Projektergebnisse zu erhöhen. Die drei Szenarien bieten eine Bandbreite an Entwicklungsmöglichkeiten, die Unsicherheiten in der Entwicklung berücksichtigen und eine solide Vergleichsbasis bieten.

In Anlehnung an frühere Studien werden die folgenden vier zentralen Hebel für die Klimaneutralität der Industrie identifiziert:

- Signifikante Verbesserung der Energieeffizienz aller industriellen Prozesse und emissionsarme Elektrifizierung des thermischen und motorischen Energiebedarfs (Wärmepumpen und Motoren)
- Brennstoffumstellung auf kohlenstoffneutrale Gase (Wasserstoff, Bio- und synthetisches CH₄)
- Technologien zur Kohlenstoffabscheidung
- Aspekte der Kreislaufwirtschaft

Die Auswirkungen der Umsetzung dieser Hebel wurden untersucht und in den drei Nachfrageszenarien dargestellt. Der Vergleich der Szenarien ermöglicht die Identifizierung von technologischen Lücken in Bezug auf den Zielpfad.

Wirtschaftliche Annahmen

Die langfristige Entwicklung des nationalen BIP und seiner Struktur ist der Schlüssel für die zukünftige Energienachfrage in allen Sektoren, insbesondere im Industriesektor. Der hier verfolgte Ansatz leitet die Energienachfrage für jeden wirtschaftlichen Teilssektor durch das Niveau seiner wirtschaftlichen Aktivität ab, ausgedrückt durch seine BIP-Wertschöpfung (VA) und die Nutzenergieintensität. Die prognostizierte Entwicklung des österreichischen BIP wird durch externe

³¹ NEFI – New Energy for Industry: Pathway to industrial decarbonisation, Scenarios for the development of the industrial sector in Austria, Vienna, 2022, www.nefi.at/files/media/Pdfs/NEFI_Szenarienbericht_v15_WHY_Design.pdf (20.06.2023)

Referenzen, historische Trendentwicklungen, das jüngste Wachstum im Jahr 2019 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 1,6% und die beobachtete Entwicklung für die kurzfristige Periode 2020–2023, die stark von COVID-19 beeinflusst wurde, bestimmt. Annahmen über die erwartete langfristige Entwicklung für den Zeitraum 2025–2050 werden aus der historischen Entwicklung vor 2020 und WIFO-Studien abgeleitet.³²

Bilanzgrenzen

Die Szenariomodellierung wird innerhalb der definierten Bilanzgrenze durchgeführt, die neben der Endenergie auch noch Umwandlungseinsatz, Umwandlungsausstoß und Verbrauch des Sektors Energie umfasst. Der Gesamtenergiebedarf der Industrie wird an Ort und Stelle also durch zwei allgemeine Verbraucherkategorien bestimmt, die sich innerhalb der Bilanzgrenze befinden und alle Energieverwendungs- und -umwandlungseinheiten im Besitz der Industrie umfassen. Auf der einen Seite wird Energie von Endverbrauchern wie Kesseln, Öfen, Motoren oder Beleuchtungsanlagen verbraucht, die Endenergie verbrauchen. Auf der anderen Seite benötigt die Industrie Energie für ihre Energieumwandlungsanlagen, z. B. KWK- oder Kraftwerke, Hochöfen, Koksöfen oder Elektrolyseure.

Szenario Storyline

Die entwickelten Szenarien orientieren sich an den NEFI-Zielen: (I) Dekarbonisierung des Industrie-Energiesystems, (II) Wertschöpfung durch Technologie made in Austria, (III) Sicherung von Produktionsstandorten und Arbeitsplätzen durch Nutzereinbindung.

Die im Rahmen der NEFI-Studien erstellten drei Szenarien, die auf drei wissenschaftlich dokumentierten Szenariokonzepten basieren, sind „Business as usual“ (BAU), „Pathway of Industry“ (POI) und „Zero Emission“ (ZEM).

Der für das Projekt INXS für die Vorausschau 2030 und 2040 verwendete Szenario ist das POI.

Das Szenario „Pathway of Industry“ (POI)

Das POI ist ein Vorausschau-Szenario, das mit Hilfe eines umfassenden Prozesses zur Einbeziehung von Interessengruppen erstellt wurde. Vertreter großer Unternehmen in jedem Teilssektor der Industrie wurden kontaktiert und befragt, um ihre Selbsteinschätzung der geplanten Veränderungen bis 2030 unter den derzeitigen Rahmenbedingungen zu erfassen. Diese Einschätzungen wurden dann auf der Grundlage der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit der besten verfügbaren Technologien (BAT) und bahnbrechenden Technologien (BTT) bis 2050 extrapoliert. Im Einklang mit dem Konzept der Vorausschau stellen die Ergebnisse dieses Szenarios keine deterministischen Prognosen dar. Vielmehr sollen sie ein regelmäßig aktualisiertes Bild der Absichten, Einschätzungen und Pläne der österreichischen Industrie zeichnen. Der Vergleich mit dem im ZEM-Szenario dargestellten Idealpfad ermöglicht die Identifikation von technisch-ökonomischen und infrastrukturellen Lücken. Damit kann er die öffentliche Diskussion über notwendige Randbedingungen für eine erfolgreiche Dekarbonisierung informieren. Dieses Szenario ist eine einzigartige Darstellung aktueller industrieller Transformationspläne und eignet sich gut, um wichtige Bereiche für politische Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität zu identifizieren.

Genauigkeit der angewandten Methoden zur Analyse der energie-intensiven und -extensiven Industrie

Aufgrund der nicht bekannten realen bzw. gemessenen Abwärmemengen kann auch keine Verifizierung der Modelle stattfinden und daher die Genauigkeit der Ergebnisse nicht bestimmt werden.

Somit ist die Genauigkeit der Ergebnisse abhängig von öffentlich verfügbaren Daten – je mehr bekannt ist, desto besser kann das Unternehmen bzw. der Prozess beleuchtet werden. Betriebe mit vielen komplex vernetzten Prozessschritten erhöhen jedoch wieder die Ungenauigkeit. Bei vergleichbaren Betrieben mit quasi-identischen Produkten ist meist auch nicht die Fertigungstiefe bekannt d. h. wie weit wurden die in die Produktion eingesetzten Stoffe bzw. Halbzeuge bereits vorgefertigt.

Bei der Rückrechnung von den Emissionen zum Energieeinsatz ist der Anteil der zusätzlichen Luft, d. h. die Luftzahl bei der Verbrennung bzw. der Anteil der Falschluff im Verlauf des Abgasweges nicht bekannt.

Wird elektrische Energie eingesetzt, so kann diese nur bei vorhandenem Umweltbericht genau berücksichtigt werden, jedoch aufgrund des nicht vorhandenen Abgases kann auch keine Rückrechnung über die Verbrennungsrechnung stattfinden. An dieser Stelle muss mit Kennzahlen gearbeitet werden.

Gibt es heiße Produkte, so kann nur eine Abschätzung über Literaturangaben mit Einbeziehung von großzügigen Verlusten bei der Ableitung eines Abwärmestromes vorgenommen werden. Ähnliches gilt für Hallenabluft oder Abwärme von heißen Oberflächen wie beispielsweise dem Drehrohr.

Die Wirkungsgrade, welche für die Berechnung des technischen Potenzials angesetzt wurden, können, wie bereits oben geschrieben, von Situation zu Situation, vor allem räumlich, von der verwendeten abweichen.

Sollten bereits Maßnahmen für die Wärmerückgewinnung durchgeführt worden sein, vor allem interne, so sind diese häufig nicht bekannt, sodass hier eine Reduktion der berechneten Werte um diese Beträge nicht möglich ist.

Arbeitspaket 3 – Detailliertes und vollständiges Erheben der österreichischen Potenziale an industrieller Abwärme

DELIVERABLE 3.1 – Theoretische und Technische Potenziale zusammengeführt

Für einen Vergleich zwischen theoretischem und technischem Potenzial soll zur Veranschaulichung auf einzelne Branchen als Beispiele eingegangen werden. Wie im Abschnitt Methodenportfolio ausgeführt, wird das theoretische Potenzial durch reale Einschränkungen wie z. B. Grädigkeiten in der Wärmeübertragung und Wirkungsgrade verringert.

Als Beispiel werden aggregiert die mit der Bottom-Up-Methode berechneten Standorte aus den Sektoren Eisen und Stahl bzw. Papier herangezogen, da diese in ihren Produktionsprozessen die höchsten bzw. niedrigsten Prozesstemperaturen zeigen. Die meisten anderen Sektoren liegen mit ihrem Verhalten zwischen diesen beiden Extremen.

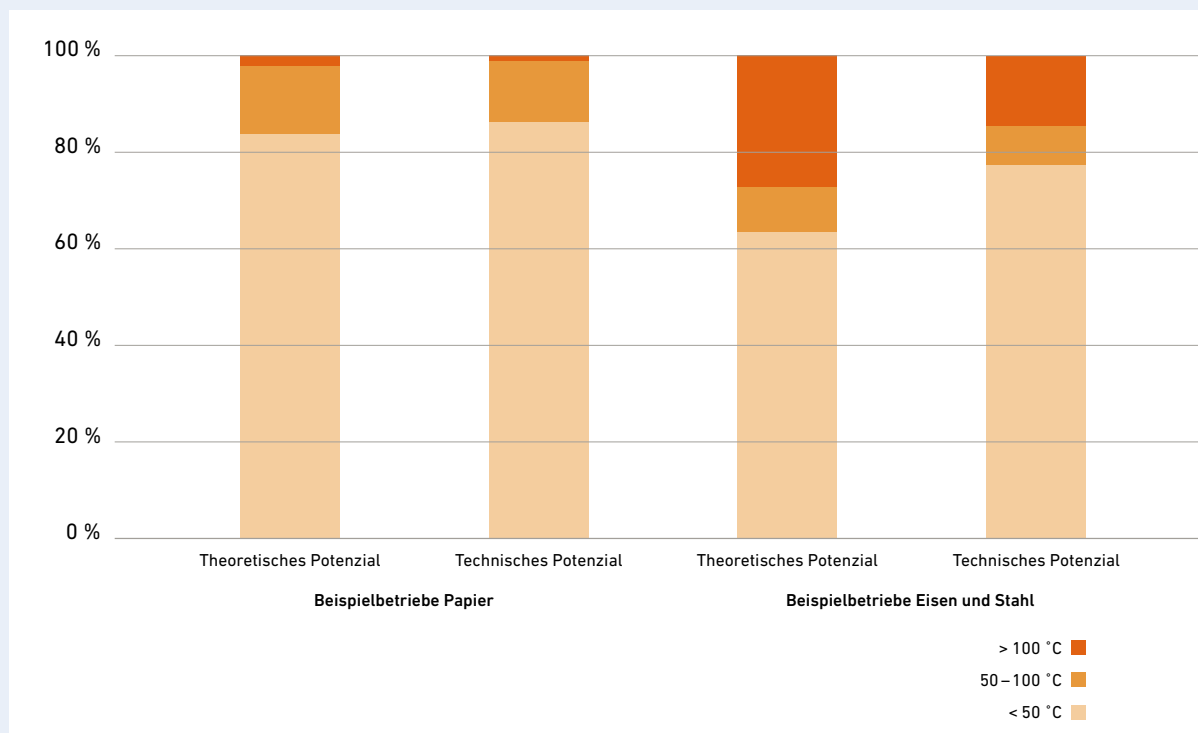


Abbildung 9
Theoretisches und technisches Potenzial in den Sektoren
Papier und Eisen und Stahl nach Temperaturniveaus

Es zeigt sich in Abbildung 9, dass durch den Übergang vom theoretischen auf das technische Potenzial vor allem der Anteil bei hohen Temperaturen gemindert wird. Die absoluten Zahlen für das Abwärmepotenzial werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

Ergebnisse aus der Anwendung der Bottom-Up und Top-Down Methoden

In der Übersichtsgrafik Abbildung 10 wird der Vergleich zwischen dem Endenergieeinsatz und dem technischen Abwärmepotenzial gezogen, dabei sind die Daten für die einzelnen Industriebranchen dargestellt. Branchen, die im Primärenergieeinsatz dominant sind, haben grundsätzlich auch ein hohes Abwärmepotenzial. Die Abwärmequote liegt dabei bei 21,5%.

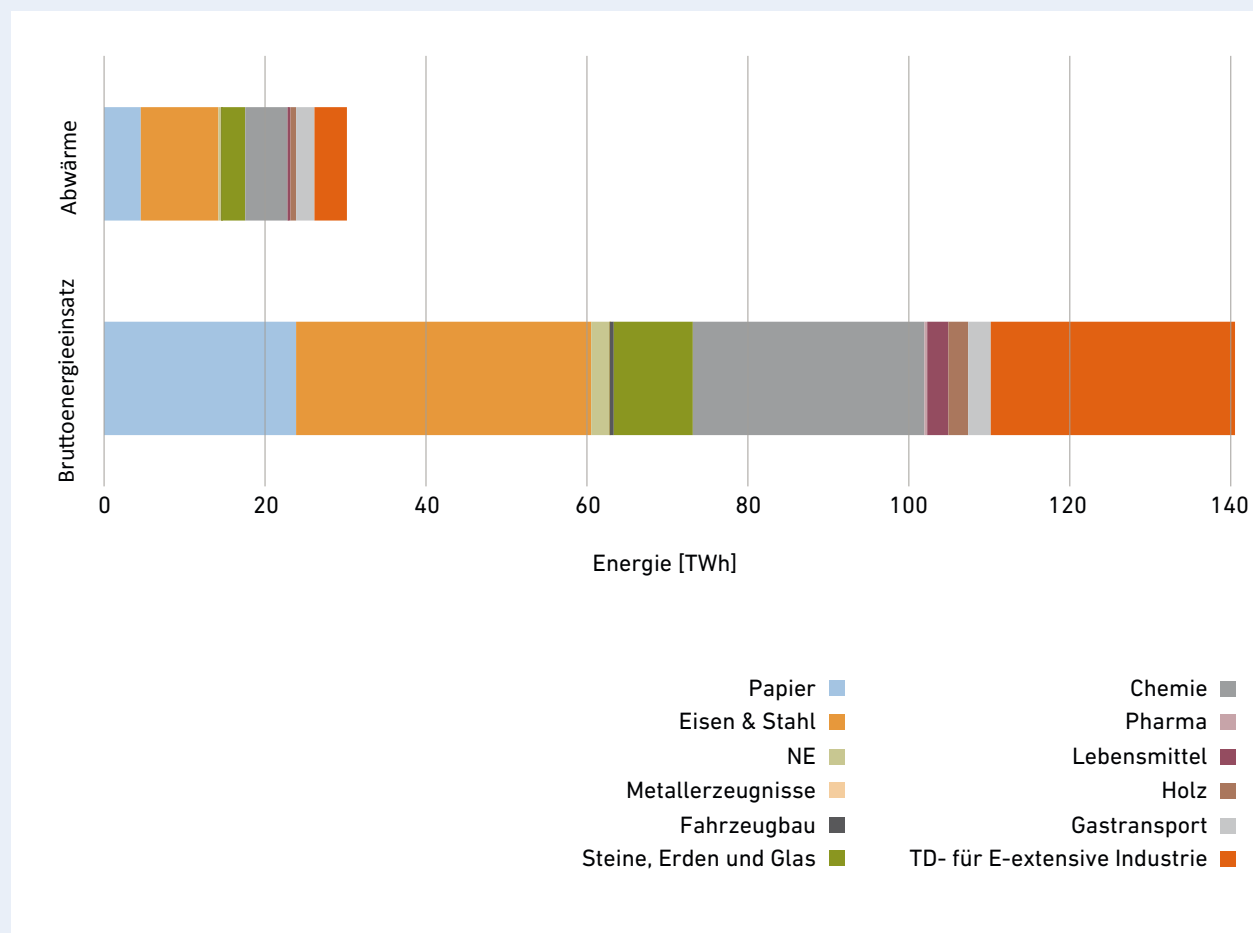


Abbildung 10

Vergleich der Summen von Abwärme und Energieeinsatz über alle berechneten Unternehmen

Im Durchschnitt ist die Quote an Abwärme für die einzelnen Branchen wie in der folgenden Tabelle 6: Abwärmequoten der Sektoren aufgeführt:

Papier	19 %
Eisen	26 %
NE	16 %
Metallerzeugnisse	14 %
Fahrzeugbau	12 %
Chemie	18 %
Pharma	18 %
Gips	35 %
Mg	28 %
Keramik	24 %
Kalk	14 %
Zement	22 %
Ziegel	32 %
Glas	60 %
Lebensmittel	14 %
Holz	27 %

Tabelle 6
Abwärmequoten der Sektoren

Branchen, die hohe Temperaturen in ihren Prozessen einsetzen, haben häufig auch ein höheres Abwärmepotenzial.

Für die ausschließlich über den statistischen Top-Down Ansatz berechneten Branchen liegt der Anteil für ganz Österreich gemittelt bei 13 %.

Abbildung 11 zeigt das relative Verhältnis des Energieeinsatzes, den jedes einzelne Bundesland in der jeweiligen Branche beiträgt. Einzelne Branchen mit wenigen Standorten werden daher von den entsprechenden Bundesländern dominiert, Branchen mit vielen Standorten in unterschiedlichen Bundesländern zeigen mehrere Beiträge.

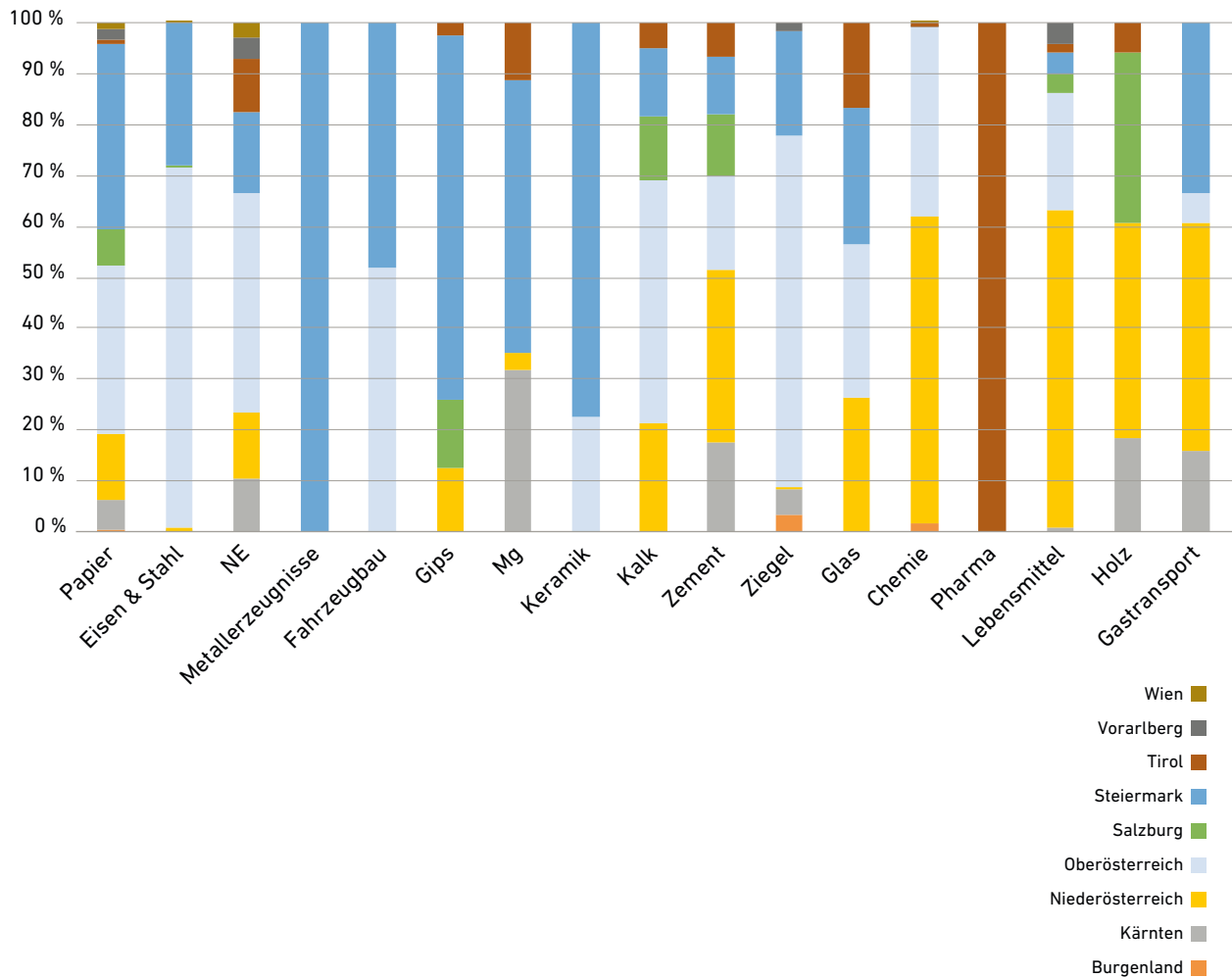


Abbildung 11
Energieeinsatz der Bundesländer je Sektor

In Abbildung 12 wird analog dazu der Beitrag der Bundesländer zum Abwärmepotenzial dargestellt. Der Energieeinsatz in den Bundesländern bestimmt auch die Abwärmepotenziale, der Beitrag jedes Bundeslandes

bleibt damit als relative Balkengröße in den Branchen ähnlich. Wo es zu Abweichungen kommt, stammen diese aus verschiedenen Produktionsmethoden und -schwerpunkten einzelner Standorte.

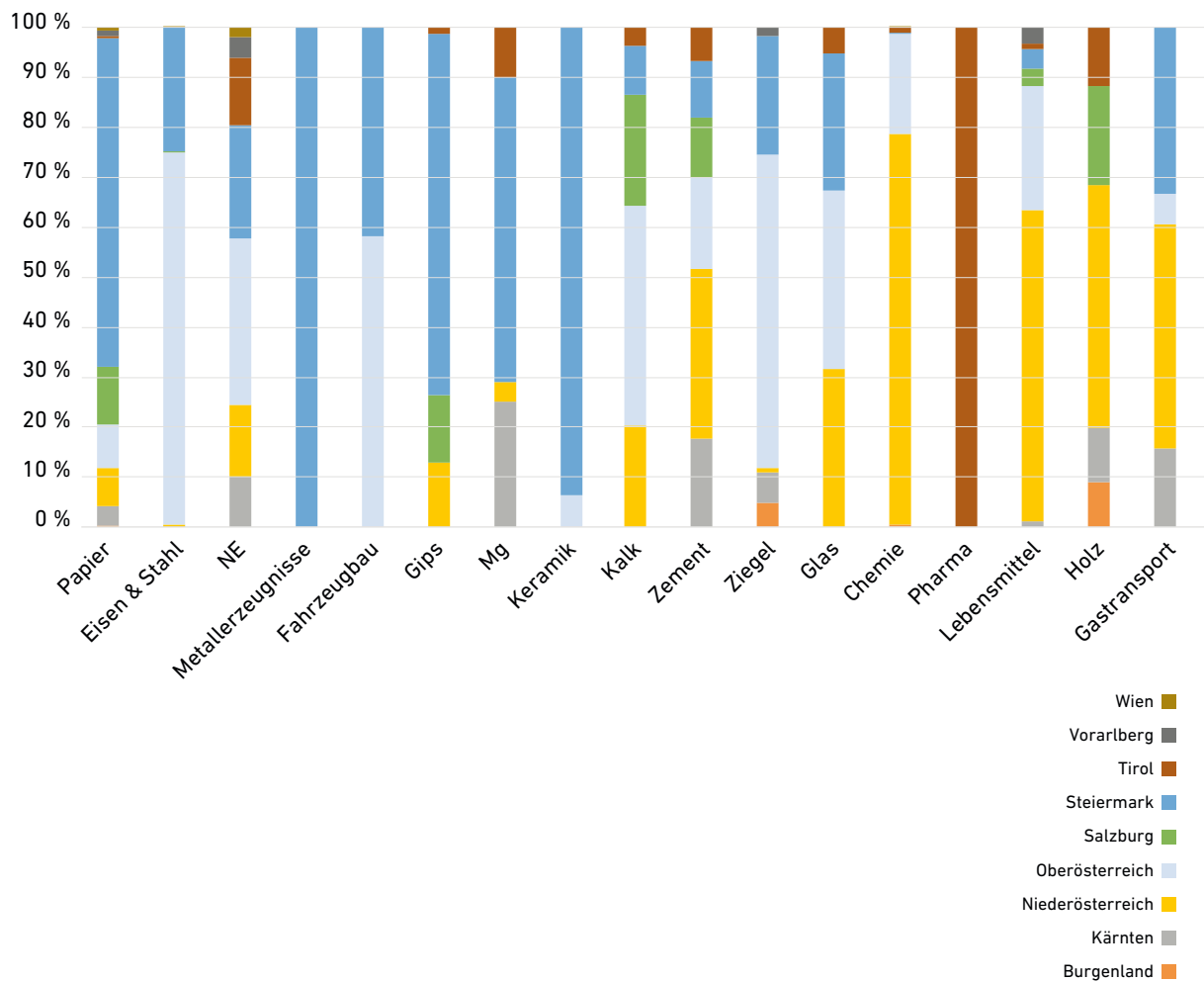


Abbildung 12
Abwärme der Bundesländer je Sektor

Da die Kläranlagen in vielen Siedlungsgebieten angesiedelt sind und damit beinahe flächendeckend gesehen werden können, wurden sie nicht in die Abbildungen *Abbildung 11* und *Abbildung 12* aufgenommen.

Die *Abbildung 13* bildet für alle betrachteten Branchen inklusive der Gasverdichterstationen und Kläranlagen ab, in welchem Umfang und mit welcher Temperaturverteilung die Abwärmern auftreten. Die Temperaturbereiche wurden dabei wie im Methodenportfolio beschrieben mit $< 50\text{ °C}$, $50\text{--}100\text{ °C}$ und $> 100\text{ °C}$ gewählt.

Auffällig sind die großen Abwärmepotenziale von Eisen und Stahl, Papier, Chemie und den Kläranlagen. In den drei erstgenannten sind diese Potenziale auf wenige Standorte konzentriert, bei den Kläranlagen ergibt sich das große Potenzial durch die Menge von über 600 Standorten.

Es zeigt sich auch ein Einfluss der eingesetzten Prozesse auf die verfügbaren Temperaturen, dies ist in *Abbildung 14* noch deutlicher, daher wurde in dieser Grafik die Branche Steine, Erden und Glas in die einzelnen Bereiche unterteilt, um die Inhomogenität dieses Sektors hervorzuheben. Hochtemperaturanwendungen wie die Schmelze

im Herstellungsprozess von Eisen und Stahl bzw. Glas oder das Brennen von Ziegeln führen zu einem großen Anteil von Abwärme bei hohen Temperaturen. Wenn Trocknungsprozesse dominieren wie in den Sektoren Papier oder Holz, ist der Anteil von Abwärme bei $< 50\text{ °C}$ deutlich größer. Auch Kläranlagen werden bei niedrigen Temperaturen betrieben und bieten daher keine Abwärmern im Hochtemperaturbereich.

Besonders hinsichtlich der Sektoren mit geringem Energieeinsatz wie z. B. Gips oder Nichteisenmetalle (NE) ist die Darstellung *Abbildung 14* hilfreich: hier wurden die Anteile der drei Temperaturbereiche jedes Sektors aufgetragen, sodass ihre Verhältnisse deutlich werden. In diesen Beispielen finden sich Abwärmern auf mittlerem und hohem Temperaturniveau. Auffällig ist hier die Temperaturverteilung im Sektor Gips: der große Anteil Abwärme im mittleren Temperaturbereich stammt aus der Kondensation, die durch den hohen Wassergehalt des Materials bedingt ist. Für Magnesium, Keramik und Zement dominieren Trocknungsprozesse, die zu einem hohen Abwärmeanteil bei über 100% führen.

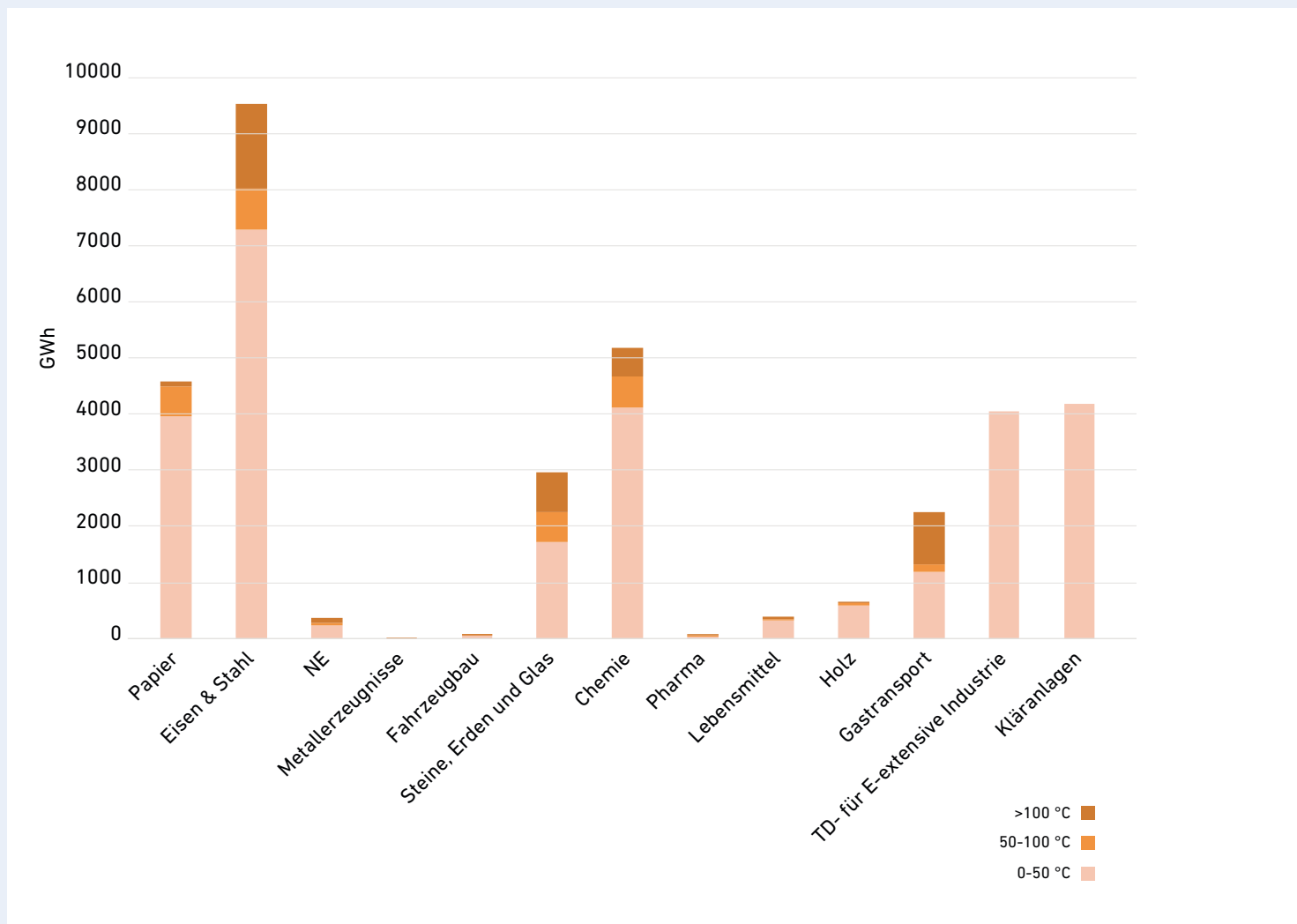


Abbildung 13
Temperaturverteilung der Abwärme
in den einzelnen Sektoren

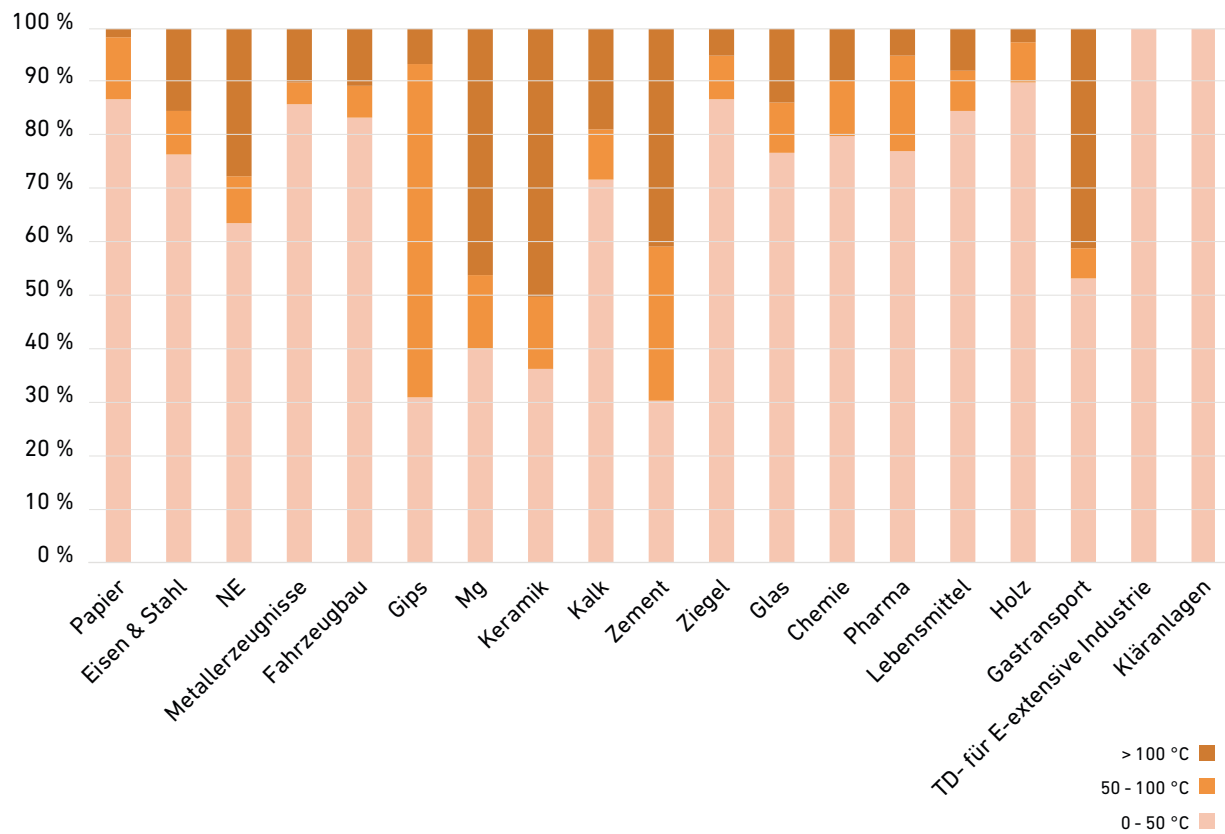


Abbildung 14
Relative Temperaturverteilung der Abwärme
in den einzelnen Sektoren

Abwärmepotenziale für 2030 und 2040

Für die Vorausschau des Energiebedarfs 2030 und 2040 wurde ein Szenario aus dem Projekt NEFI verwendet,³³ in dem für die energieintensiven Industriebranchen die wirtschaftliche Entwicklung mit einer technischen Entwicklung in der entsprechenden Branche zusammengeführt wurden, siehe Abschnitt „Methodenportfolio“. In den energieextensiven Branchen wurde der Energiebedarf nur als Folge der Wirtschaftsentwicklung ange-

nommen. Die Entwicklung des Abwärmepotenzials wurde entsprechend skaliert. In Abbildung 15 ist daher bei Papier eine Stagnation und bei Eisen ein Abfall des Abwärmepotenzials zu sehen, bei den anderen Branchen sind laut dem Szenario weniger Durchbruchstechnologien zu erwarten, weswegen der Energieverbrauch sowie die Abwärmepotenziale ansteigen.

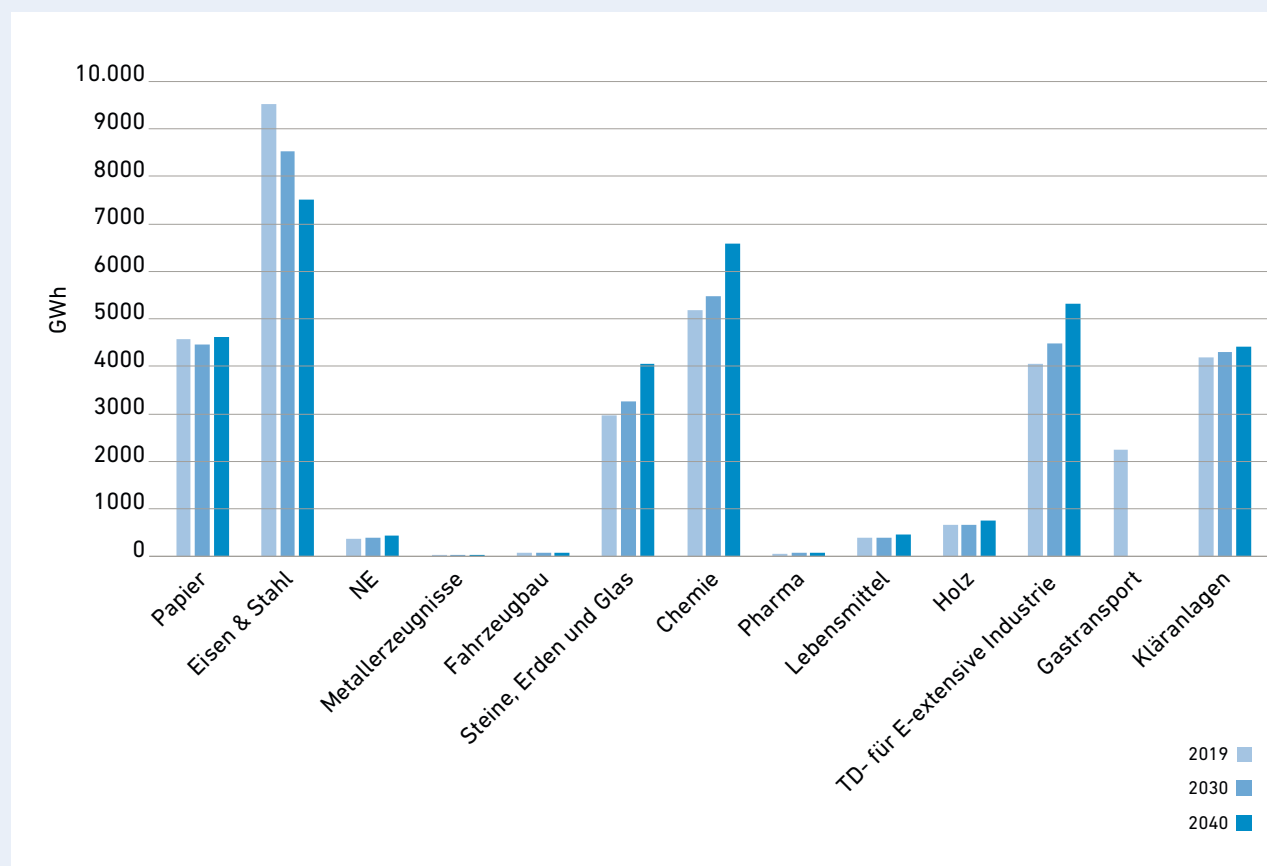


Abbildung 15
Entwicklung des Abwärmepotenzials für 2030 und 2040

³³ NEFI – New Energy for Industry: Pathway to industrial decarbonisation, Scenarios for the development of the industrial sector in Austria, Vienna, 2022, www.nefi.at/files/media/Pdfs/NEFI_Szenarienbericht_v15_WHY_Design.pdf (20.06.2023)

Die Summe des gesamten Abwärmepotenzials beträgt nach dieser Abschätzung 34,248 TWh für das Jahr 2019, 32,137 TWh für 2030 und 34,302 TWh für 2040. Wirtschaftliches Wachstum und technologischer Fortschritt wie Effizienzsteigerungen zeigen gegenläufige Trends, die sich in ihrem Einfluss auf die Abwärmenutzung gegenseitig abschwächen.

Technische Potenziale bereits fernwärmeerschlossener Gebiete

Nach Erhebung eines Großteils der Abwärmepotenziale wird eine Verknüpfung mit den fernwärmeerschlossenen

Gebieten hergestellt. Hier bietet die Austrian Heat Map eine geeignete Visualisierung, indem sowohl Abwärmepotenziale als auch fernwärmeerschlossene Gebiete eingeblendet werden können.

Fernwärmenetze werden hierbei als Punkt-Layer angezeigt, wobei die Größe des Punktes mit der Netzgröße korreliert. Allgemeine Daten wie Anzahl der Anschlüsse oder Anschlussleistung können einer Informationsbox inklusive Quellen entnommen werden, wie anhand des Beispiels Graz in Abbildung 16 gezeigt wird.

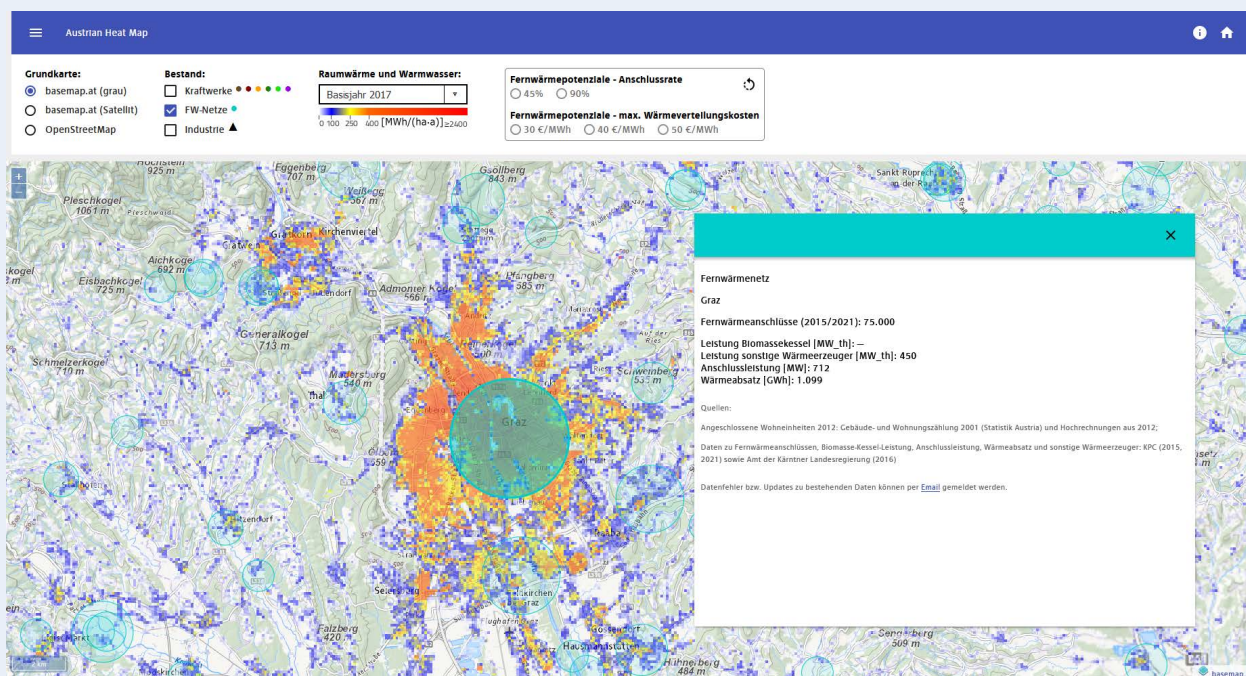


Abbildung 16
Fernwärmenetzdarstellung für Graz in der Austrian Heat Map ³⁴

Um die Potenziale anzuzeigen, gibt es die Möglichkeit, verschiedene Bezugsjahre (2030, 2050) zu wählen, sowie die Anschlussrate und maximalen Wärmeverteilungskosten, die angestrebt werden sollen. Der Unterschied,

den bspw. eine höhere Anschlussrate auf das Fernwärmepotenzial hat, wird im Vergleich von 17 und Abbildung 18 anschaulich dargestellt.

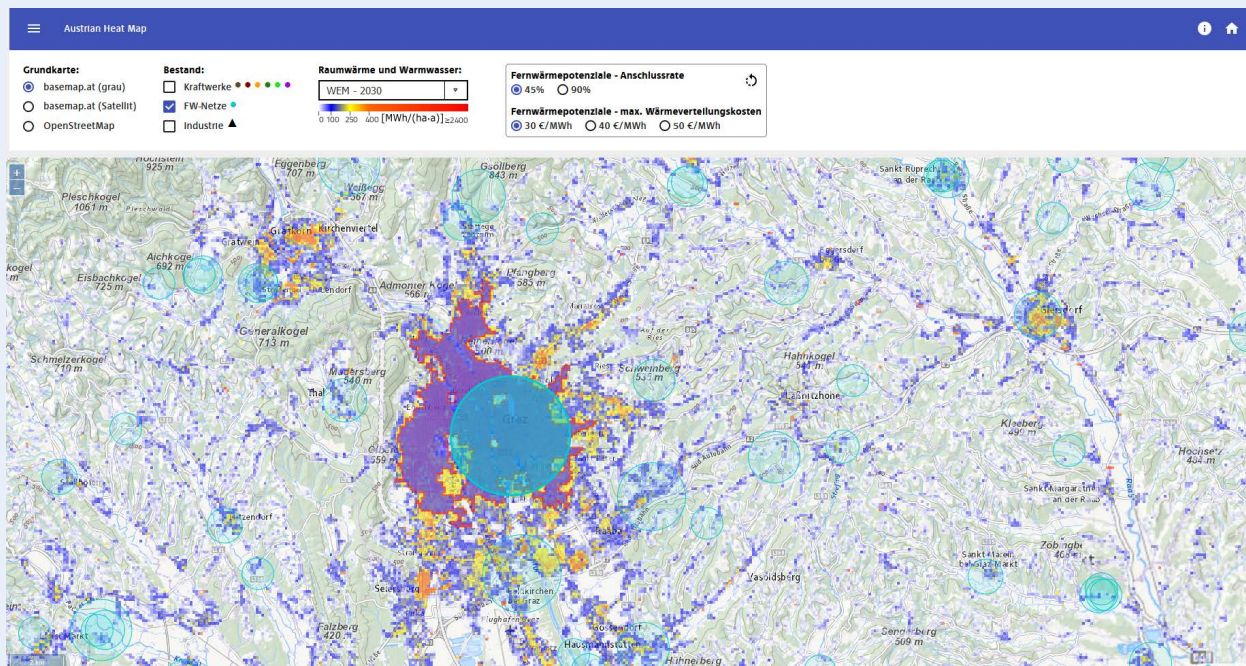


Abbildung 17

Fernwärmepotenzial für das Jahr 2030 mit 45 % Anschlussrate und maximalen Wärmegestehungskosten von 30 €/MWh ³⁵

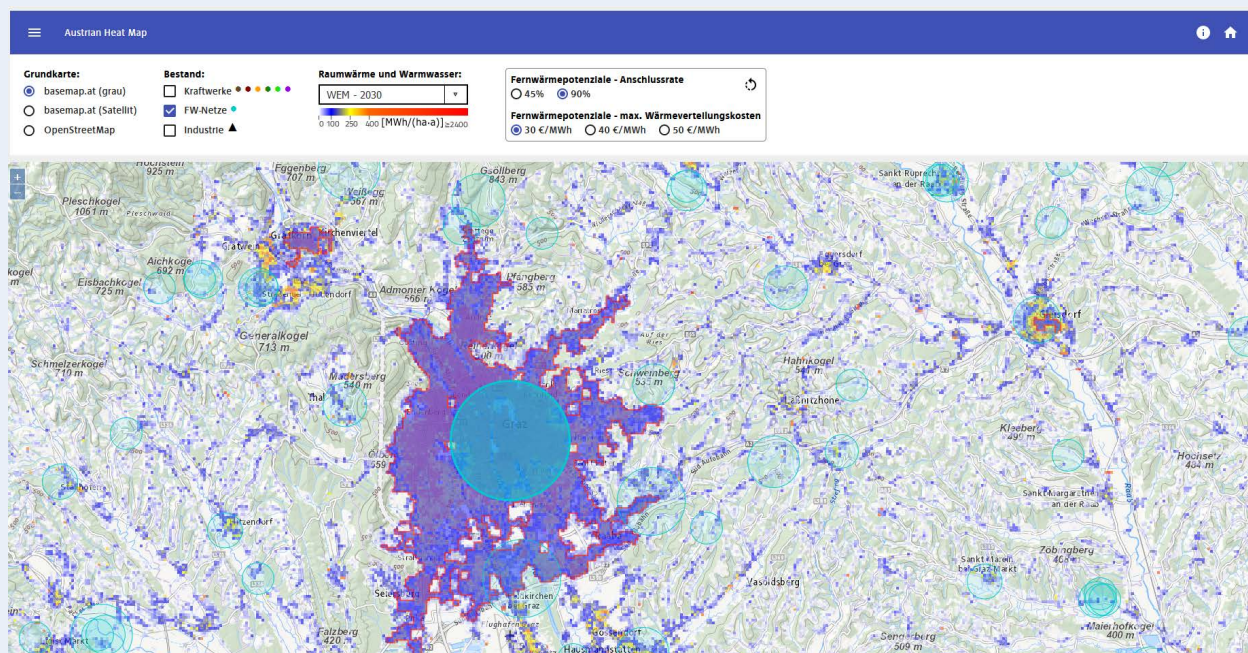


Abbildung 18
Fernwärmepotenzial für das Jahr 2030 mit 90 % Anschlussrate
und maximalen Wärmegestehungskosten von 30 €/MWh³⁶

Weiters ist wie bereits erwähnt die Verknüpfung mit Abwärmepotenzialen der Industrie möglich, um so eine Abschätzung über mögliche Einbindungen in die Fernwärme treffen zu können. Abbildung 19 zeigt,

dass bei einer Anschlussrate von 90% im Jahr 2030 drei Industriestandorte im Einzugsgebiet des Fernwärmenetzes liegen.

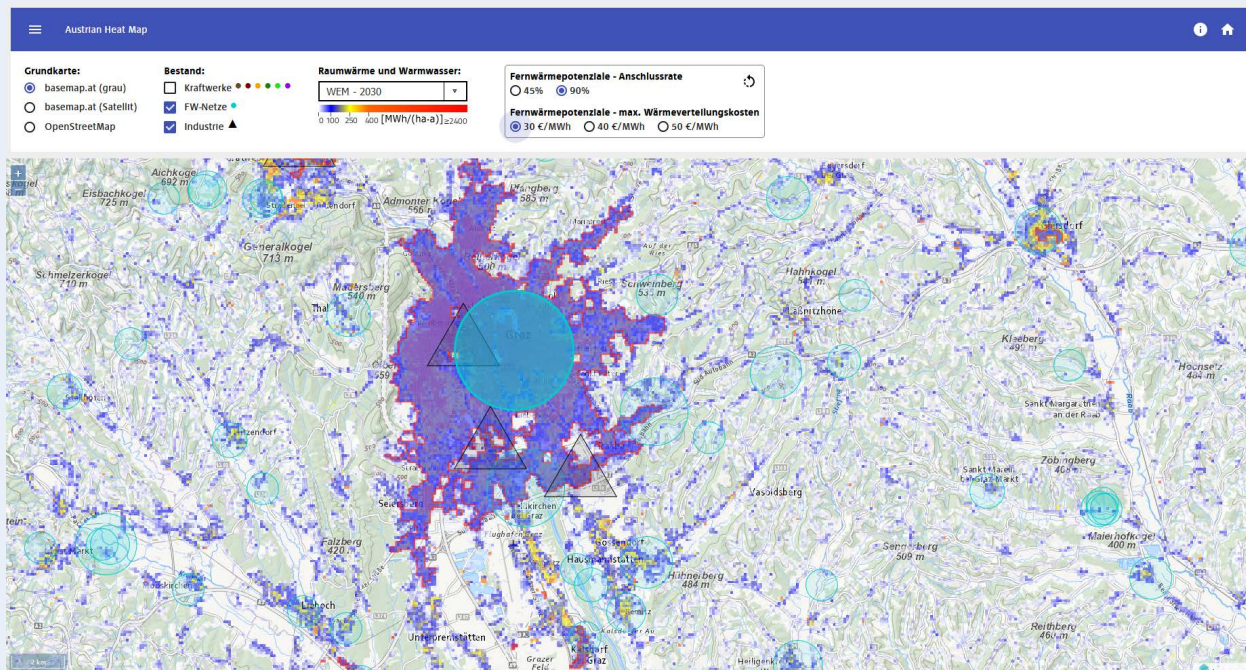


Abbildung 19
Fernwärmepotenzial für das Jahr 2030 mit 90 % Anschlussrate
und maximalen Wärmegestehungskosten von 30 €/MWh
inklusive Industriestandorte³⁷

Arbeitspaket 4 – Darstellung einer vollständigen Landkarte des detaillierten industriellen Abwärmepotenzials in Österreich

Einleitung

Für eine vollständige Darstellung des industriellen Abwärmepotenzials in Österreich wurde auf der Austrian Heat Map aufgebaut, die in dem gleichnamigen Projekt entstand und den Wärme-/Kältebedarf aller Verbrauchssektoren sowie mögliche Quellen (industrielle Abwärme, KWK-Anlagen) in einer interaktiven Karte vereint. Ebenso sind in der Austrian Heat Map die Fernwärmenetze (als Punktlayer) dargestellt und die Wärmebedarfsdichten (als Flächenlayer). **Daraus kann ein Abgleich zwischen technischen Potenzialen für Fernwärmenetze individuell abgeleitet werden.** Dies wurde bereits kurz im Kapitel zum Deliverable 3.1 erwähnt (siehe Abbildung 19).

Ziele

- Definition der für eine georeferenzierte Darstellung notwendigen Schnittstellen aus erhobenen Daten und Darstellung
- Verfügbarmachung der erhobenen Daten gemäß Schnittstellendefinition
- Aufbereitung der Daten mit Methoden der Geoinformatik und räumliche Modellierung
- Prüfung DSGVO-relevanter Punkte zur konformen Veröffentlichung und ggf. Anpassung durch geeignete Clusterung und Gruppierung
- Georeferenzierte Darstellung der in AP3 erhobenen Daten

DELIVERABLE 4.1 –

Landkarte der industriellen Abwärmepotenziale in Österreich erstellt

Um die in AP3 erhobenen Daten zur Austrian Heat Map hinzufügen zu können, musste zunächst eine Schnittstelle definiert werden, um eine Verortung der Daten auf der Karte möglich zu machen. Für die Einbindung wurde e-think mit einem Subauftrag eingebunden, die die Austrian Heat Map ursprünglich mitentwickelten.

Im Rahmen eines Workshops zwischen MUL, AEE und e-think wurde der Übertrag der erhobenen Daten als georeferenzierter Datensatz in die Austrian Heat Map diskutiert. Zum einen wurde die bestehende Datenstruktur der Datenerhebung berücksichtigt. Zum anderen wurden die Möglichkeiten der Austrian Heat Map evaluiert. Aufbauend darauf wurde die Visualisierung und Einbettung der neuen Erhebung unter Berücksichtigung bisheriger Erhebungen definiert.

Ein Datenkonzept wurde erstellt, das einerseits der Anforderungsspezifikation an die Ergebnis-Rohdaten aus AP3 und andererseits der Schnittstelle zum GIS-System nachkommt. Es wurde ein Skript entwickelt, um die Rohdaten in das richtige Import-Format zu konvertieren. Die Konvertierung der Daten in das notwendige Format wurde bei AEE INTEC erstellt und an Beispieldaten getestet und mit dem finalen Datensatz umgesetzt.

Die Austrian Heat Map wurde für die umfangreichere Darstellung der industriellen Abwärmepotenziale wie folgt erweitert:

- Die zur Verfügung stehenden Informationen wurden um die technischen Potenziale der verschiedenen Kategorien der Abwärme erweitert (Rauchgas, Abwasser, etc.), sowie deren Temperaturniveaus (siehe Abbildung 20).
- Durch den Einsatz von Bottom-Up bzw. Top-Down-Analysen und gezielte Versendung von Fragebögen (AP3) konnte die Anzahl der in der Austrian Heat Map aufscheinenden Industriebetriebe wesentlich erhöht werden. Beispielsweise wurden die Sektoren Chemie/Petrochemie, Pharma, Nahrungs- und Genussmittel, Tabak, Holzverarbeitung und Transport in Rohrfernleitungen eingebunden.
- Es wird zwischen den verschiedenen Quellen (Bottom-Up, Top-Down, Fragebogen) unterschieden und die Berechnungsgrundlage erklärt.
- Neu inkludiert wurden die Kläranlagen, für die ein eigener Darstellungs-Layer definiert wurde, damit die hohe Anzahl dieser Niedrigtemperatur-Quelle nicht die Darstellung von Industrieabwärme überdeckt.
- Weiters wurden die Potenziale für die Zukunft (2030, 2040) basierend auf Hochrechnungen inkludiert. Dadurch kann eine bessere Verknüpfung mit zukünftigen Fernwärmepotenzialen dargestellt werden.

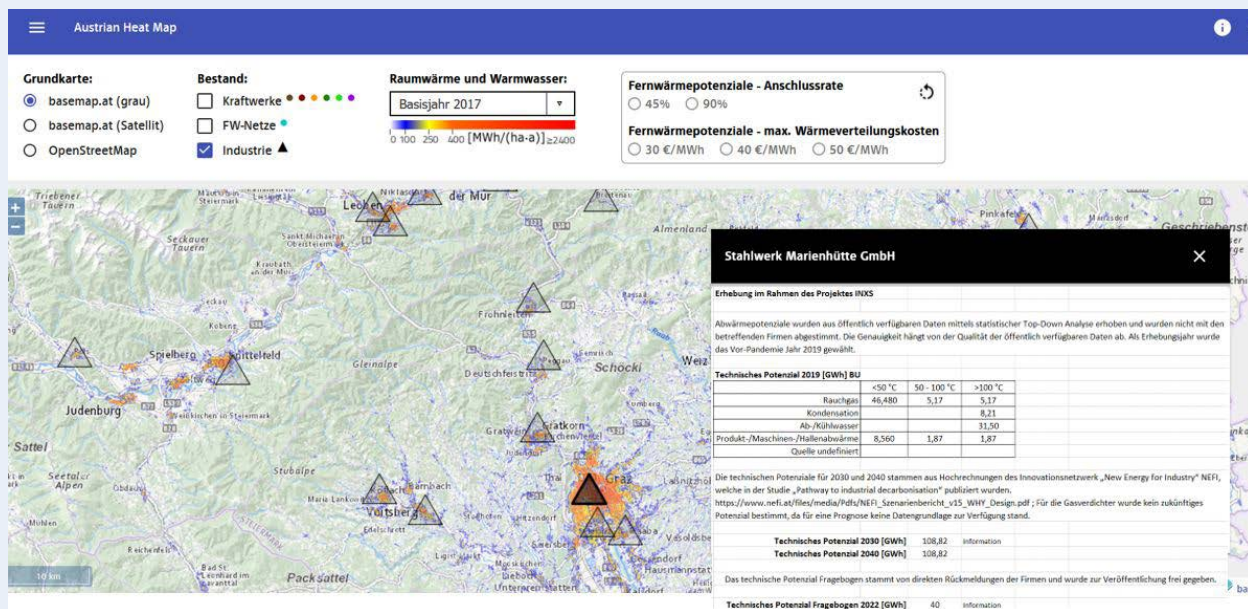


Abbildung 20
Beispiel für die Darstellung industrieller Abwärmepotenziale in der Austrian Heat Map

Arbeitspaket 5 – Techno-ökonomische Empfehlungen in Richtung Umsetzung

Einleitung

Die Einspeisung von Abwärme in ein Wärmenetz hängt insbesondere vom Temperaturniveau der jeweiligen Wärmequelle ab. Dementsprechend gibt es unterschiedliche Technologien, die zur Wärmeeinspeisung eingesetzt werden. Über einen Wärmetauscher ist eine direkte Nutzung der Abwärme möglich, sofern keine Temperaturerhöhung erforderlich ist. Die Abwärme kann aber auch indirekt zunächst über eine Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau angehoben und anschließend in das Wärmenetz eingespeist werden. Weitere wichtige Faktoren für die Wärmeeinspeisung sind die industriellen Energiemengen bzw. -leistungen sowie die zeitliche Verfügbarkeit. Diese Faktoren hängen vor allem von Wartungs- und Revisionsarbeiten sowie der Auslastung der Anlagen ab. Stehen Abwärmepotenziale nicht kontinuierlich zur Verfügung, können Speicher- oder Backup-Systeme entsprechend Abhilfe schaffen und somit die Versorgungssicherheit im Wärmenetz gewährleisten.

Ein Teilfokus des Arbeitspakets 5 liegt daher auf der direkten und indirekten Nutzung der Abwärme unter Berücksichtigung der zeitlichen Abhängigkeiten von Verfügbarkeit und Bedarf. Darüber hinaus wird das technisch nutzbare Potenzial der Abwärme definiert. In der Erfassung gilt es zu unterscheiden zwischen Standorten (i) an denen die Abwärme bereits genutzt wird und (ii) an denen die Abwärme noch nicht genutzt wird.

Hinsichtlich techno-ökonomischer Empfehlungen für eine forcierte Nutzung industrieller Abwärme in Österreich gibt es bereits eine Reihe von Vorarbeiten. Ein durchgängiges Dokument, welches Handlungsempfehlungen

für Technologie- und Systemoptionen bzw. Geschäftsmodelle sowie für rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen spezifisch für Österreich nennt, existiert jedoch noch nicht.

Im Arbeitspaket 5 werden daher auf Basis von mikro- und/oder makroökonomischen Berechnungen bzw. Geschäftsmodellanalysen durchgängige Handlungsempfehlungen zum Abbau ökonomischer und regulatorischer Hemmnisse entwickelt, die sowohl Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen als auch Anpassungen des Fördersystems umfassen. Ziel ist es, technologisch und systemisch sinnvolle Konzepte zu unterstützen bzw. heute bestehende Finanzierungsrisiken und Informationsasymmetrien abzubauen.

Zur Evaluierung der Geschäftsmodelle werden Zahlungs(rück)flüsse im Zusammenhang mit der außerbetrieblichen Abwärmenutzung evaluiert und mögliche Organisationsstrukturen identifiziert. Die makroökonomische Analyse wird aufbauend auf den Potenzialerhebungen und der mikroökonomischen Analyse der Auswirkungen auf die österreichische Volkswirtschaft anhand des Tools MOVE2 bewertet. Für die sozioökonomische Betrachtung steht das Modell SAMBA zur Verfügung, das über eine STEEP- sowie Stakeholderanalyse qualitativ die Auswirkungen einer intensivierten außerbetrieblichen Abwärmenutzung bewerten kann. Die rechtliche Analyse untersucht die Anforderungen des EU-Rechts, und im Folgenden werden daher die Judikatur und die jeweilige rechtliche Zusammensetzung betrachtet.

Die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Effekte einer flächendeckenden (industriellen) Abwärmennutzung muss auf tatsächlichen Abwärmepotenzialen in Österreich basieren und soll daher im Zuge des Arbeitspakets 5 erarbeitet werden. Im Fokus stehen dabei vor allem leistungsbilanzielle Effekte durch den Rückgang von fossilen Energieträgerimporten sowie Investitionsimpulse infolge der Implementierung der Auskopplungs- und Wärmetauschtechnologien sowie der Leitungs- und Speicherinstallation.

Das Arbeitspaket 5 gliedert sich in die folgenden vier Tasks:

- Task 5.1: Technologie- und Systemoptionen insbesondere für zeitlich schwankende, industrielle Niedertemperaturabwärme
- Task 5.2: Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension
- Task 5.3: Vermeidung von Informationsasymmetrien, Risikobewertung und -vermeidung
- Task 5.4: Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten

Ziele

Das Arbeitspaket 5 verfolgt die nachstehenden vier Ziele:

1. Techno(ökonomische) Bewertung von Optionen zur Nutzung von (Niedertemperatur-)Abwärme
2. Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimensionen der Abwärmennutzung und deren volkswirtschaftlicher Dimensionen
3. Evaluierung potenzieller Risiken, insbesondere überbetrieblicher Abwärmennutzung
4. Ableitung von Handlungsempfehlungen an die Politik, um das Abwärmepotenzial bestmöglich ausschöpfen zu können

Technologie- und Systemoptionen insbesondere für zeitlich schwankende, industrielle Niedertemperaturwärme

Die Integration von Abwärme in Wärmenetze kann, je nach den spezifischen Gegebenheiten, direkt über einen Wärmetauscher erfolgen oder mittels Wärmepumpen, die die Wärme auf das benötigte Temperaturniveau heben. Bei unzeitigem Abwärmepotenzial können Speicher- oder Backup-Systeme nötig sein, um eine kontinuierliche Wärmeversorgung des Abnehmers sicherstellen zu können. Dieser Task identifiziert diverse Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen und Wärmespeichern zur Abwärmennutzung und deren Anwendung in Niedertemperaturnetzen.

Wärmepumpen

Wärmepumpen können nach der Art ihres Antriebes unterteilt werden, siehe *Abbildung 21*. Bei Kompressionswärmepumpen wird der Verdichter elektrisch angetrieben. Im Gegensatz dazu werden Absorptionswärmepumpen mit einem thermischen Verdichter betrieben, der zum Antrieb Wärme auf einem höheren Temperaturniveau benötigt. Dabei wird der elektrische Verdichter durch einen Lösungsmittelkreislauf ersetzt.

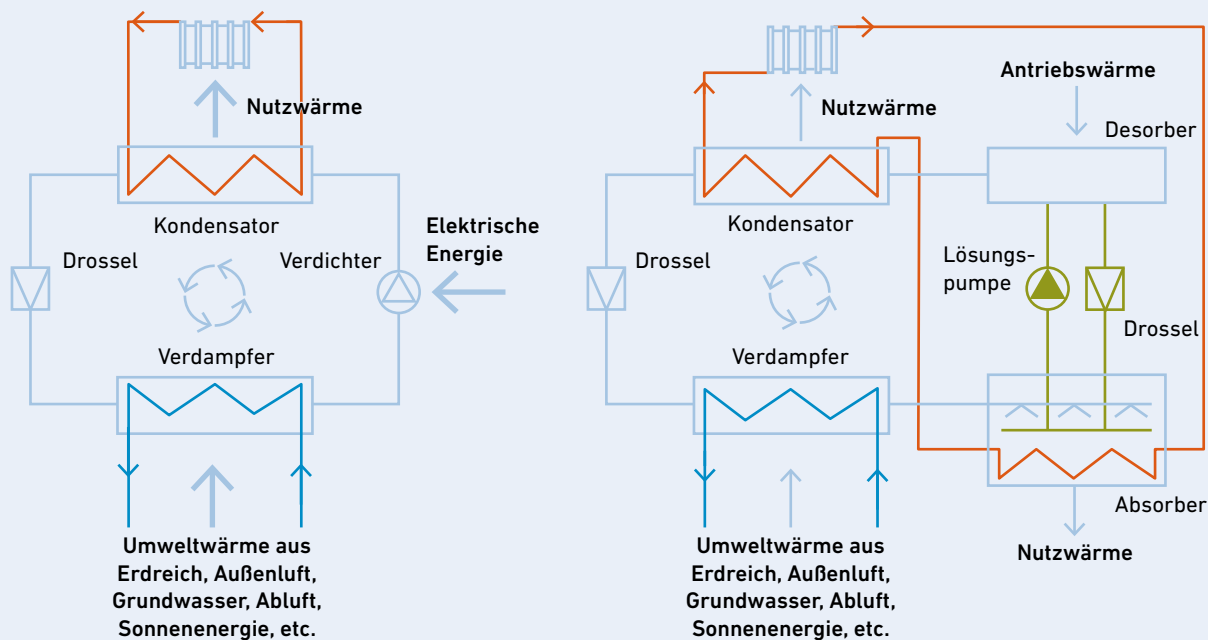


Abbildung 21
Kreislauf einer Kompressionswärmepumpe (links) im Vergleich zu einer Absorptionswärmepumpe (rechts) (Köflinger et al., 2017)

Einbindungskonzepte

Bei der Einbindung von Wärmepumpen in Fernwärmenetzen kann zwischen zentraler und dezentraler Schaltung unterschieden werden. Von einer zentralen Einbindung wird gesprochen, wenn es einen oder nur wenige Einspeisepunkte mit großer Leistung der dort vorhandenen Anlagen gibt. Sind die Erzeuger auf viele Standorte im Netz verteilt, kann von einer dezentralen Einbindung gesprochen werden. Als Wärmequelle können externe und interne Quellen verwendet werden. Externe Quellen bringen Energie von außen in das System ein, z. B. aus Umweltwärme oder industriellen Abwärmequellen. Demgegenüber wird bei internen Quellen das Fern-

wärmenetz selbst als Wärmequelle genutzt. Das kann sinnvoll sein, um z. B. eine Temperaturerhöhung beim Verbraucher zur Warmwasserbereitung zu erzielen.³⁸

Vergleich der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit

Zum Vergleich der Effizienz und Wirtschaftlichkeit beider Wärmepumpentypen wurde im Rahmen des Projektes ein einfaches Vergleichstool entwickelt. Dieses basiert in seinen Grundzügen auf dem SEEET Framework des AITs, das zur techno-ökonomischen Bewertung von Energieversorgungsoptionen entwickelt wurde, und berücksichtigt vier charakteristische Zeitfenster, d. h. die vier Jahreszeiten.

In diesem Tool können dabei die Abwärmemenge, Abwärmtemperatur, Abwärmepreis, Strom- bzw. Antriebswärmepreis, Antriebswärmtemperatur, Volllaststunden der Wärmepumpen sowie Vor- und Rücklauftemperatur der Wärmesenke variiert werden. Auf diesen Parametern basierend wird in einem ersten Schritt die Effizienz sowie die Leistung der Wärmepumpen, welche für die Nutzung der Abwärme benötigt wird, berechnet. Der zweite Schritt stellt die Berechnung der jährlichen Kosten dar. Die Beschreibung der Berechnungsmethodik befindet sich im Anhang B.

Wichtig ist hierbei anzumerken, dass die Berechnungen auf vielen Vereinfachungen basieren und stark von den angenommenen Kostenparametern abhängen. Um konkrete Aussagen für spezifische Anwendungsfälle tätigen zu können, sind tiefergehende Analysen notwendig.

Fallbeispiel

Zum anschaulichen Vergleich beider Wärmepumpentypen wurde ein Fallbeispiel konzipiert, in dem als Abwärmequelle der Kühlkreislauf eines konstant laufenden industriellen Prozesses herangezogen wird. Da die Rückkühlung in der kälteren Jahreshälfte teilweise über Free-Cooling möglich ist, steht in diesem Beispiel im Winter weniger Abwärme zur Verfügung als im Sommer. Als Antriebswärme für die Absorptionswärmepumpe wurde Abluft aus einem Verbrennungsprozess angenommen.

In Tabelle 7: Parameter des exemplarischen Fallbeispiels sind die Parameter des Fallbeispiels aufgelistet.

Parameter	Einheit	Nicht-saisonal	Saisonal			
			Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Abwärmtemperatur	°C	44	–	–	–	–
Abwärmepreis	Euro/MWh	–	10	10	10	10
Abwärmemenge	MWh/a	–	2.250	4.500	2.250	1.000
Volllaststunden	h/a	8000	–	–	–	–
Strompreis	Euro/MWh	–	150	100	150	200
Antriebswärmepreis	Euro/MWh	–	20	20	20	20
Antriebstemperatur	°C	150	–	–	–	–
Wärmeabnehmer VL	°C	70	–	–	–	–
Wärmeabnehmer RL	°C	50	–	–	–	–

Tabelle 7

Parameter des exemplarischen Fallbeispiels

Wie in Abbildung 22 und Abbildung 23 ersichtlich, fallen die Kosten des Absorbers deutlich geringer aus, sowohl gemessen an der Wärmegestehung (heat generation) als auch an der Abwärmenutzung (waste heat utilisation). Dies ist unter anderem auf den geringen CAPEX zurückzuführen, welcher jedoch, wie oben bereits angemerkt, kritisch hinterfragt und projektspezifisch recherchiert werden muss. Ein weiterer Faktor ist der deutlich geringere Antriebswärmepreis im Vergleich zum Strompreis. Nach dem angewendeten Berechnungsmodell sind die Leistungen beider Wärmepumpentypen

an der Abwärmemenge orientiert, daher ist die Menge der genutzten Abwärme gleich. Der Vergleich von Wärmegestehungskosten und Abwärmenutzungskosten macht nun deutlich, dass die Absorptionswärmepumpe signifikant mehr Wärme erzeugt als die Kompressionswärmepumpe. Der Grund dafür ist die geringere Effizienz der Absorptionswärmepumpe, wodurch bei gleicher Menge an genutzter Abwärme, mehr Antriebsenergie benötigt wird und damit auch mehr nutzbare Wärme erzeugt wird.

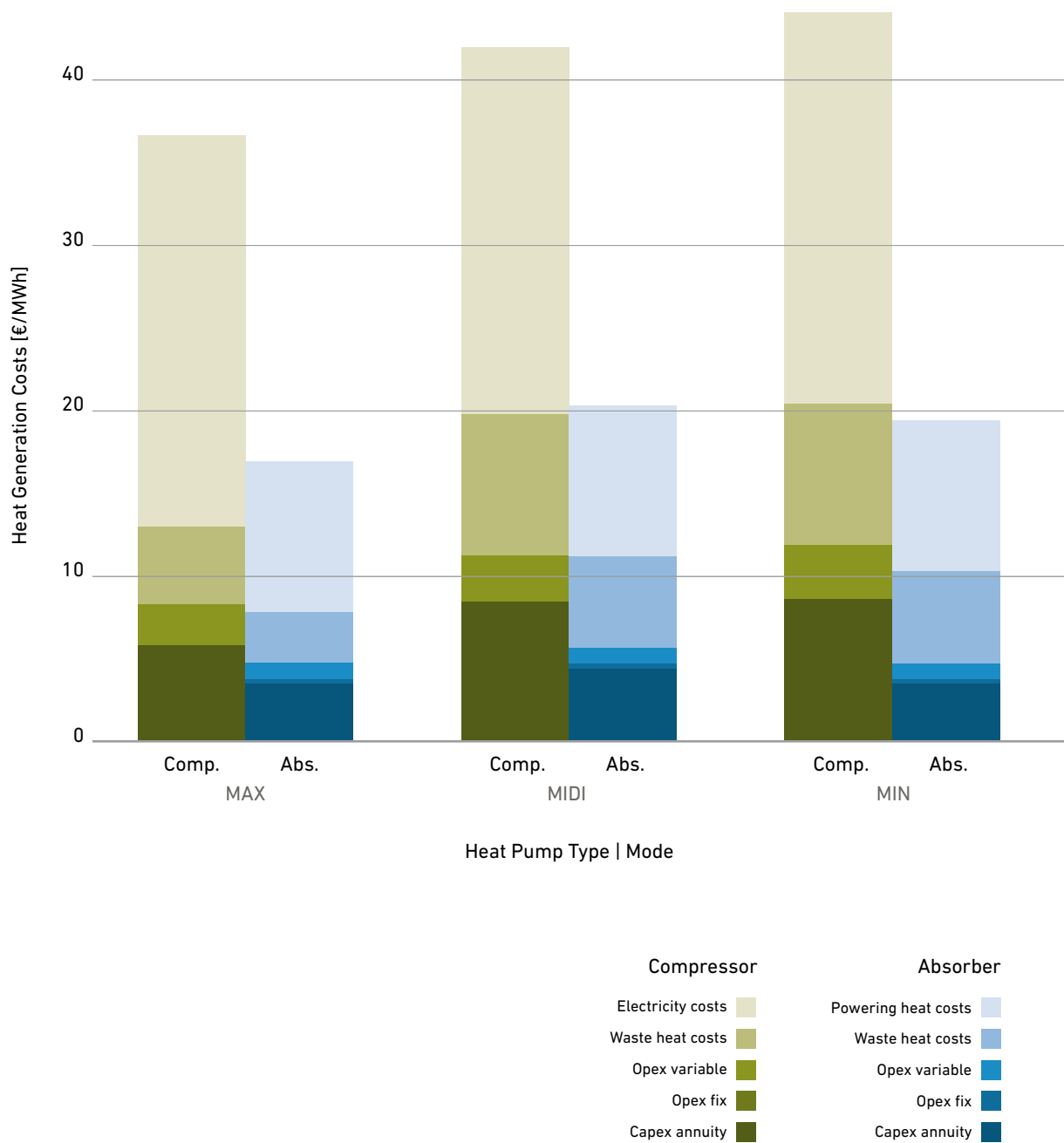


Abbildung 22
Wärmegestehungskosten im Fallbeispiel

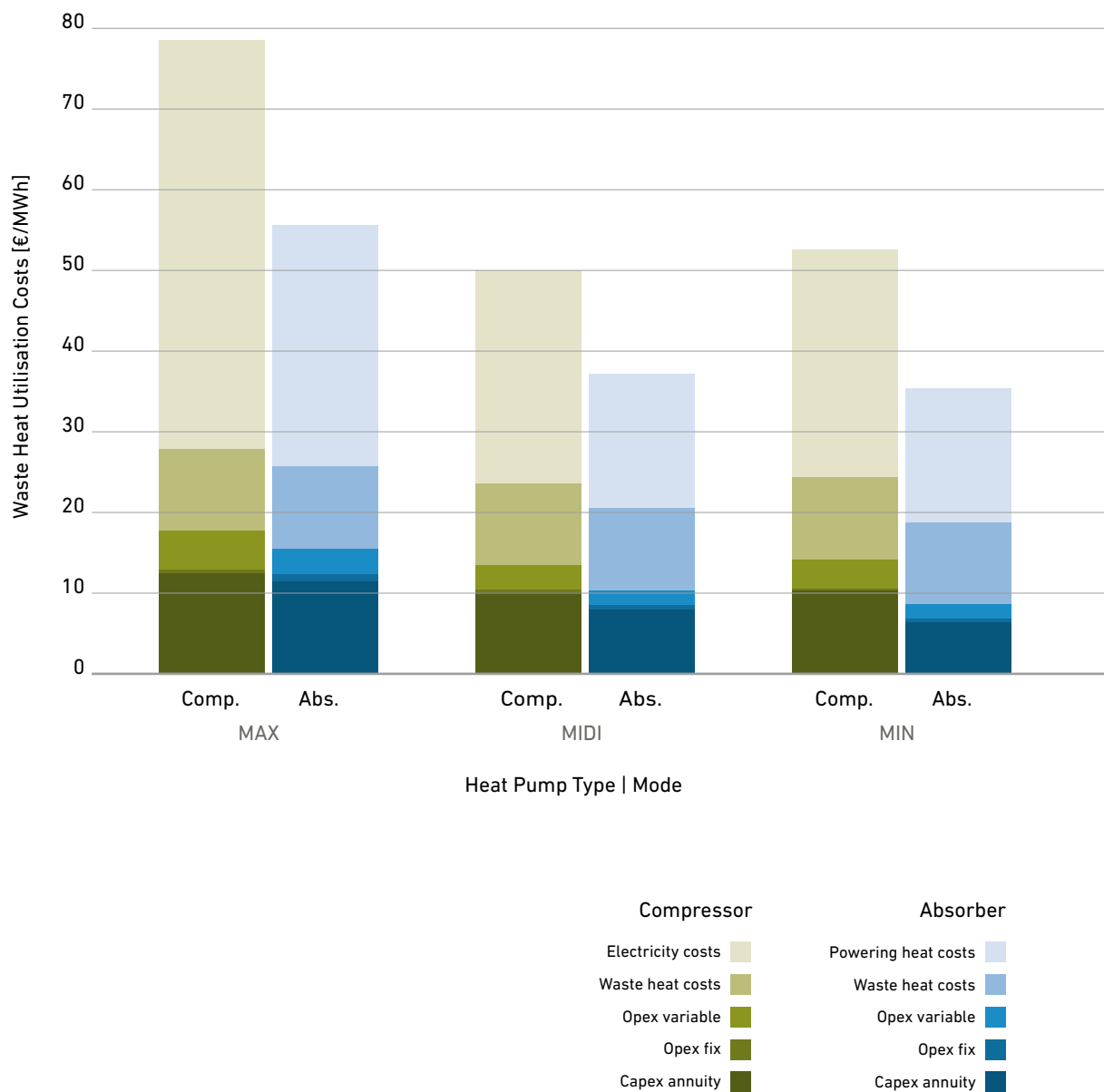


Abbildung 23
Abwärmenutzungskosten im Fallbeispiel

Da die Antriebswärme- sowie Strompreise regional als auch zeitlich sehr unterschiedlich ausfallen können, werden in Abbildung 24 und Abbildung 25 die Kosten

abhängig vom Strompreis beziehungsweise Antriebswärmepreis dargestellt. Sämtliche Variationsrechnungen wurden mit den maximalen Leistungsgrößen gerechnet.

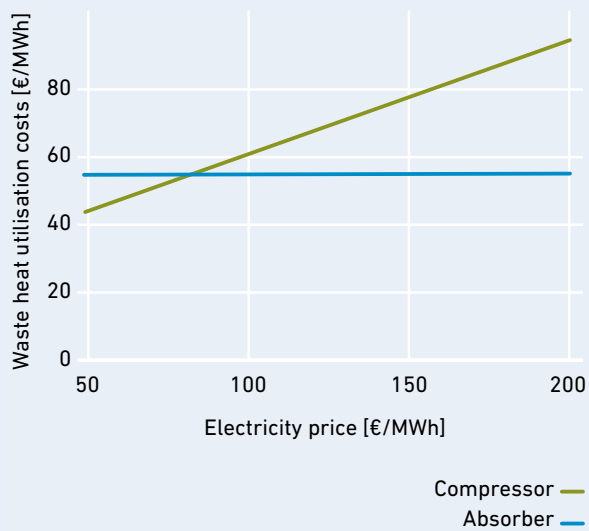


Abbildung 24
Abwärmenutzungskosten abhängig vom Strompreis bei fixiertem Antriebswärmepreis von durchschnittlich 20 Euro/MWh

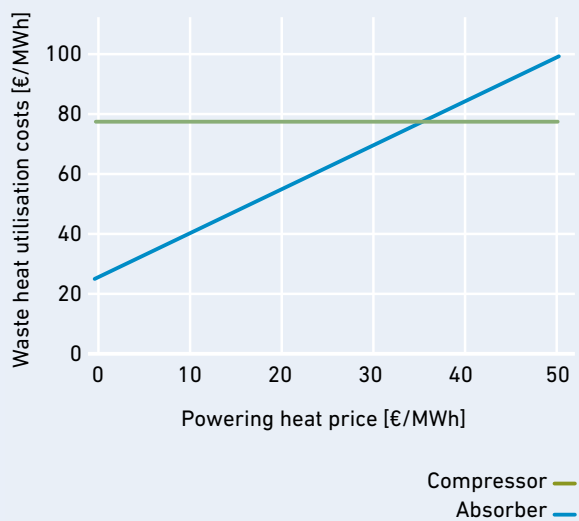


Abbildung 25
Abwärmenutzungskosten abhängig vom Antriebswärmepreis bei fixiertem Strompreis von durchschnittlich 150 Euro/MWh

Interessant ist hierbei, dass die Abwärmenutzungskosten des Kompressors geringer sind als jene des Absorbers, wenn der Strompreis unter 82 Euro/MWh fällt, obwohl die Antriebswärmekosten des Absorbers mit 20 Euro/MWh trotzdem deutlich niedriger sind als ebenjener Strompreis.

Die Variation der Antriebswärmekosten bestätigt eine starke Abhängigkeit der Kosten von den jeweiligen

Antriebspreisen. Hier liegt der Schnittpunkt der Abwärmenutzungskosten bei circa 35 Euro/MWh Antriebswärmekosten im Vergleich zu den fix gehaltenen (aber saisonal variierten) durchschnittlich 150 Euro/MWh Stromkosten.

Auch die Abwärmtemperatur stellt einen relevanten Faktor dar und wird daher in Abbildung 26 und Abbildung 27 variiert.

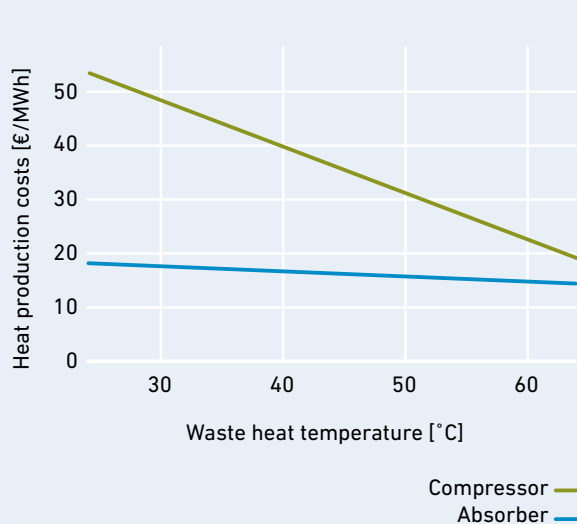


Abbildung 26
Wärmeerzeugungskosten abhängig
von der Abwärmtemperatur

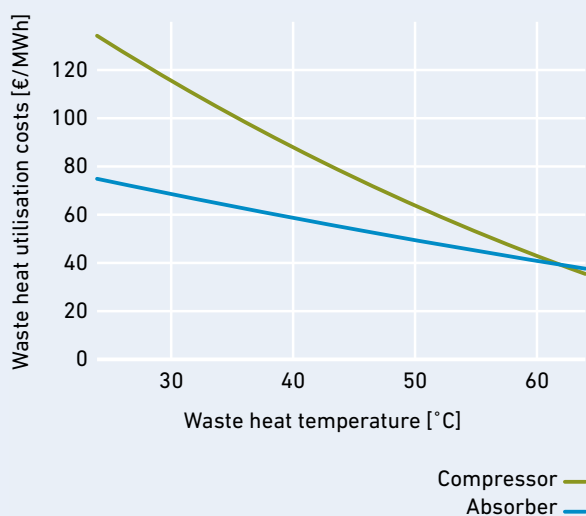


Abbildung 27
Abwärmenutzungskosten abhängig
von der Abwärmtemperatur

Hier ist ein Schnittpunkt bei den Abwärmenutzungskosten zu erkennen, sodass die Kosten des Kompressors geringer sind als jene des Absorbers, sobald die Abwärmtemperatur über 62 °C steigt. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die Vorlauftemperatur des Wärmeabnehmers mit 70 °C damit schon sehr nahe an der Abwärmtemperatur liegt. Die Effizienz des Kompressors wächst mit steigender Abwärmtemperatur deutlich stärker als die des Absorbers, wodurch die Energiekosten, die den größten Anteil an den Gesamtkosten beider Wärmepumpentypen ausmachen, stärker sinken.

Thermische Speicher

Thermische Energiespeicher (TES) sind in der Lage die Wärmeproduktion vom Wärmeverbrauch zu entkoppeln. Dies ist wichtig, um die Flexibilität zu erhöhen. Zu den

Gründen für die Nutzung von Speichersystemen in Fernwärmenetzen gehören unter anderem Spitzenlastreduktion, Einbindung erneuerbarer Energiequellen sowie die Aufweichung von Must-Run-Betriebsweisen von Kraftwerken bei niedrigen Strompreisen.³⁹

Arten von thermischen Speichern

Es gibt eine Vielzahl von thermischen Speichern, welche sich in sensible, latente und (thermo-) chemische Speicher unterteilen. Abbildung 28 zeigt die Gliederung bestehender thermischer Speichertechnologien. Je nach Anwendungszweck bieten die unterschiedlichen Arten spezifische Vor- und Nachteile. Für die Pufferung der Wärmeproduktion in Wärmenetzen werden hauptsächlich sensible Speicher genutzt.

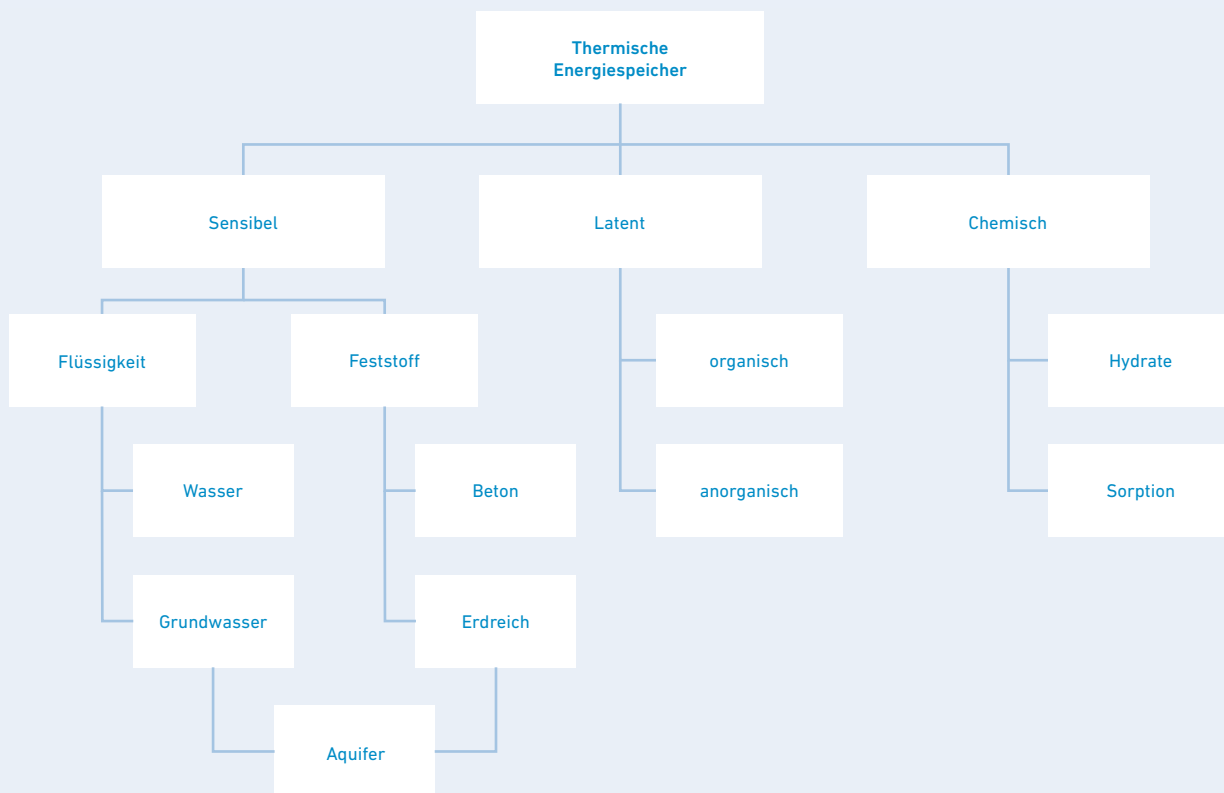


Abbildung 28
Gliederung der Speichertechnologien für thermische
Energiespeicher (Geyer et al., 2017)

Neben der Gliederung nach der Technologie können TES auch nach dem Verwendungszweck und damit zusammenhängender Speicherdauer unterschieden werden.

Kurzzeitspeicher

Kurzzeitspeicher stellen einen Standardfall von thermischen Speichern in Fernwärmenetzen dar und dienen zum Ausgleich von zeitlichen Differenzen zwischen

Wärmeerzeugung und -verbrauch. Durch die zeitliche Entkopplung können Lastspitzen reduziert werden (Peak-Shaving), wodurch Kosteneinsparungen erzielt werden können. Je nach hydraulischer Einbindung und Größe können Kurzzeitspeicher auch eine Druckhaltefunktion übernehmen. Als Kurzzeitspeicher fungieren vor allem wärmedämmte Wassertanks.⁴⁰

Langzeitspeicher

Der Einsatz von Langzeitwärmespeichern ermöglicht eine potenzielle Substitution fossiler Energieträger bei der Warmwasserbereitung und Heizung durch erneuerbare Energieträger, da so ein Lastausgleich zwischen Energieüberschuss im Sommer und höherem Wärmebedarf im Winter ausgeglichen werden kann. Weitere Einsatzbereiche sind:⁴¹

- Erhöhter Einsatz von Biomasse bei der Stromproduktion
- Erhöhter Einsatz von Geothermie
- Erhöhter Einsatz von Abwärme der Industrie
- Erhöhter Einsatz zur Speicherung von Wärme aus Müllverbrennungsanlagen
- Erhöhter Einsatz von Wärme durch KWK-Anlagen
- Spitzenlastreduzierung und schaffen eines Freiheitsgrades zwischen Strom- und Wärmeerzeugung

Für die Langezeitspeicherung von Wärme werden vorrangig vier Arten von sensiblen Speichern genutzt:

Aquifer-Speicher (ATES, aquifer thermal energy storage)

Aquifer-Speicher benötigen zwei Bohrungen über die be- und entladen wird. Voraussetzung für diese Art von Speicher ist eine wasserführende Gesteinsschicht (Sand, Kies, Sandstein, Kalkstein) mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit. Ebenso ist eine natürliche Aquifer-Schicht mit keinem oder geringen Grundwasserfluss und entsprechendem Speichervolumina (>20.000 m³) ausschlaggebend.

Erdsonden-Speicher (BTES, borehole thermal energy storage)

Bei Erdsonden-Speichern dient der Untergrund als Speichermedium. Dieser wird mithilfe von Erdsonden be- und entladen. Voraussetzung für diese Speicherart ist ein bohrbarer Untergrund mit hoher Wärmespeicherkapazität. Besonders gute Eigenschaften besitzen Gesteinsschichten und wasserhaltiger Boden ohne natürlichem Grundwasserfluss.

Erdbecken-Speicher (PTES, pit thermal energy storage)

Erdbecken-Speicher werden hauptsächlich durch Aushub von Erdreich errichtet. Das Erdbecken wird mit einer wärmedämmenden Hülle sowie einer wasserdichten Folie ausgestattet und anschließend mit dem Speichermedium befüllt. Dafür wird reines Wasser oder Wasser in Kombination mit Kies, Sand und Gestein verwendet. Voraussetzungen sind ein stabiler Untergrund und die Abwesenheit von Grundwasser.

Tank-Speicher (TTES, tank thermal energy storage)

Tank-Speicher sind, im Gegensatz zu ATES, BTES und PTES, unabhängig von der Geologie. Sie können freistehend oder als unterirdisch vergrabene Behälter gebaut werden. Bei unterirdischen Speichern sollte darauf geachtet werden, dass kein Kontakt zu Grundwasser besteht. Große Speicher werden in Stahlbetonweise erbaut.⁴²

41 Mangold & Deschaintre, 2015

42 Geyer et al., 2017

Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension

In diesem Task wird eine generische Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt. Sie berücksichtigt (i) Akteure oder Arten von Akteuren, (ii) Vorlaufkosten und staatliche Unterstützung, (iii) Einnahmequellen und Geschäftsbeziehungen bzgl. Abwärme(nutzung). Folgende Aufgaben sollen im Zuge des Tasks 5.2 durchgeführt werden:

- Aufzeigen und Bewerten potenzieller Geschäftsmodelle und Wertströme der Abwärmenutzung und -rückgewinnung
- Quantifizierung der makroökonomischen Auswirkungen (Fokus auf BIP, Beschäftigung, Leistungsbilanzeffekte, Investitionen und privater Konsum der Haushalte) des verstärkten Ausbaus von interner und externer Abwärmenutzung unter Anwendung des makroökonomischen Modells MOVE2
- Analyse der Geschäfts- und Finanzierungsmodelle bestehender überbetrieblicher Abwärmenutzungen, daraus hervorgehend eine Ableitung von geeigneten Modellen für die österreichische Industrie

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Tasks 5.2 und 5.3 wurden in einem gemeinsamen Bericht „Industrial Excess Heat – Geschäftsmodelle, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme“ zusammengefasst.

Vermeidung von Informationssymmetrien, Risikobewertung und -vermeidung

Die Ergebnisse aus Task 5.2: Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension fließen unmittelbar in Task 5.3 ein. Zur Abhandlung des Themas Risiken und Informationssymmetrien werden nachfolgende Punkte innerhalb des Tasks bearbeitet:

- Gegenüberstellung und Analyse der Vor- und Nachteile inner- sowie überbetrieblicher Abwärmenutzung
- Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Abwärmenutzung und anderer erneuerbarer Energieträger

- Aufarbeitung potentieller Barrieren der (überbetrieblichen) Abwärmenutzung und Erarbeitung passender Lösungsansätze, um bspw. Informationsasymmetrien zu vermindern
- Qualitative und quantitative Bewertung von potentiellen Risiken der Abwärmeverwertung

Die Ergebnisse des Tasks 5.3 fließen gemeinsam mit den Inhalten aus Task 5.2 in den Bericht „Industrial Excess Heat – Geschäftsmodelle, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme“ ein.

Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten

Um Handlungsempfehlungen für die österreichische Gesetzgebung hinsichtlich der Forcierung von Abwärmekonzepten abzuleiten, werden im Zuge des Tasks 5.4 folgende Aufgabenstellungen bearbeitet:

- Es erfolgt eine Analyse von bestehenden Lösungen bzw. Unterstützungsinstrumenten der öffentlichen Hand in Österreich und anderen Ländern zur Forcierung von Abwärmekonzepten, z. B. in den nationalen Energie- und Klimaplänen
- Einordnung der Abwärme in den politischen Diskurs zum Thema erneuerbare Energieträger
- Definition der Rolle von Abwärme bei der Stärkung der österreichischen Volkswirtschaft (Green Deal, post-COVID-19-Rezession,...)
- Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse (auch T5.2, T5.3) werden Handlungsempfehlungen für die österreichische Gesetzgebung abgeleitet. Diese umfassen im Speziellen Änderungen im rechtlichen Rahmen und Anpassungen des Fördersystems bzgl. inner- und überbetrieblicher Abwärmenutzung
- Fazit, wie die gewonnenen Erkenntnisse zum ö. Abwärmepotenzial durch öffentliche Beratungsstellen und zur gezielten Betriebsansiedlung durch Kommunen genutzt werden können.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Deliverable D5.3 „Handlungsempfehlungen an die Politik hinsichtlich der Forcierung der Abwärmenutzung in Österreich“ in der Form eines Policy Briefs zusammengetragen.

DELIVERABLES 5.1 und 5.2 – Bericht zu Geschäftsmodellen, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme

Nachfolgend sind die erarbeiteten Inhalte der Tasks 5.2 und 5.3 aus dem Deliverable „Bericht zu Geschäftsmodellen, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme“ angeführt.

Dieser Bericht deckt die Inhalte der Tasks 5.2 und 5.3 gemäß dem Antrag zur F&E-Dienstleistung INXS Industrial Excess Heat ab. Die Ergebnisse dieses Berichts wurden auch auf Englisch in Moser und Jauschnik (2023) publiziert, wofür Teile der Texte, Tabellen und Grafiken übernommen wurden.

Task 5.2: Geschäftsmodelle und volkswirtschaftliche Dimension

Eine generische Kosten-Nutzen-Analyse wurde durchgeführt. Sie berücksichtigt (i) Akteure oder Arten von Akteuren, (ii) Vorlaufkosten und staatliche Unterstützung, (iii) Einnahmequellen und Geschäftsbeziehungen bzgl. Abwärme(-nutzung). Entsprechend wurden folgende Analysen durchgeführt:

- Analyse der Geschäfts- und Finanzierungsmodelle bestehender überbetrieblicher Abwärmenutzungen
- Aufzeigen und Bewerten potenzieller Geschäftsmodelle und Wertströme der Abwärmenutzung
- Quantifizierung der makroökonomischen Auswirkungen unter Anwendung des makroökonomischen Modells MOVE2

Task 5.3: Vermeidung von Informationsasymmetrien, Risikobewertung und -vermeidung

- Gegenüberstellung und Analyse der Vor- und Nachteile inner- sowie überbetrieblicher Abwärmenutzung
- Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Abwärmenutzung und anderer erneuerbarer Energieträger
- Aufarbeitung potentieller Barrieren der (überbetrieblichen) Abwärmenutzung und Erarbeitung passender Lösungsansätze, um bspw. Informationsasymmetrien zu vermindern
- Qualitative und quantitative Bewertung von potentiellen Risiken der Abwärmeverwertung

Analyse bestehender überbetrieblicher Abwärmenutzungen

Wenngleich das Potenzial für die Nutzung industrieller Abwärme ein hohes ist, sind auch eine Vielzahl bestehender Umsetzungen zu erkennen. Diese Umsetzungen können genutzt werden, um konkrete Auswertungen zu machen und um herauszufiltern, welche Voraussetzungen und Schritte zur Umsetzung geführt haben. Im Folgenden werden zunächst aufbauend auf dem Papier von Moser und Lassacher (2020) die bestehenden Umsetzungen in Österreich und das zusammengefasste Wissen darüber wiedergegeben. Im Kapitel „Umfrage zu erfolgreichen Umsetzungen“ wird sodann auf die Methode des semistrukturierten Fragebogens eingegangen, mit dem die bestehenden Umsetzungen adressiert wurden, um neue Einsichten zu erlangen. Im Kapitel „Fragebogenauswertung“ folgt die Auswertung des Fragebogens.

Bestehende Umsetzungen in Österreich

Trotz zahlreicher Barrieren gibt es eine Vielzahl umgesetzter betriebsexterner Nutzungen industrieller Abwärme. Moser und Lassacher (2020) hatten zum Ziel, durch Recherche eine möglichst komplette Liste bestehender überbetrieblicher Abwärmennutzungen in Österreich zu erfassen. Ziel des Papiers war es, einen Überblick über die bisher (Stand 2018) durchgeführten Projekte zu geben, wobei Österreich als geografische Systemgrenze definiert wurde. Damit sollten auch noch unbekannte Kennzahlen für die Energiestatistik abgeleitet werden (Menge der extern genutzten Abwärme und deren Anteile in bestimmten Energiebilanz-Kategorien). Des Weiteren wurde über Hypothesen erörtert, ob/inwieweit Abwärme aus industrieller Verbrennung entstammt (und nicht einer Wärmerückgewinnung über Wärmetauscher), ob/inwieweit Fernwärmenetze die bevorzugte Senke darstellen und ob/inwieweit nur hochlukrative Projekte realisiert wurden.

Methode: Moser und Lassacher (2020) schreiben, dass zur Erfassung bestehender Systeme eine umfangreiche Literatur- und Internetrecherche auf Basis von Branchen, Regionen und Nutzungsarten durchgeführt wurde. Nach vorläufigem Abschluss der Suche wurden österreichische Expert*innen aus Forschung, Industrie und Fernwärme kontaktiert, um bekannte Beispiele zu ergänzen. Darüber hinaus wurde durch die KPC, die für die Förderung von umweltrelevanten Praxisprojekten zuständig ist, eine Liste mit den geförderten Umsetzungen zur Verfügung gestellt; der Abgleich der Liste mit den erfassten Umsetzungen ergab keine fehlenden Implementierungen.

Bei der Aufnahme in die Liste kamen folgende Systemgrenzen zur Anwendung:

- Nur existierende Umsetzungen sowie gerade in Errichtung/Bau befindliche Umsetzungen wurden aufgenommen (keine geplanten, keine terminierten).
- Heat-to-Power Anlagen wurden nicht aufgenommen.
- Es wurden ausschließlich Kooperationen zwischen (heute sowie bei Entstehung der Kooperation) nicht verbundenen Unternehmen aufgenommen. Dadurch kommt es zum Ausschluss z. B. von OMV AG – Borealis Polyolefine GmbH in Schwechat, Chemiepark in Linz, oder FRITZ EGGER GmbH & Co. OG und Privatbrauerei Fritz Egger GmbH & Co KG in St. Pölten.
- Die Einspeisung von Abwärme aus klassischen thermischen Kraftwerken der Energiewirtschaft sowie Abwärme aus quasi-öffentlichen Infrastrukturen (Müllverbrennung, Kläranlagen) wurde nicht aufgenommen.
- Ebenso nicht erfasst wird eine Lieferung von Wärme durch klassische Fernwärmebetreiber an die Industrie (z. B. Lieferung des Fernwärmenetzbetreibers an die Brauerei in Murau).

Ergebnisse: Es konnten 45 Umsetzungen erfasst werden. Weitere, welche den Vorgaben fast entsprachen aber nicht alle erfüllten, werden in dem Papier von Moser und Lassacher (2020) ebenso angeführt. Die folgende Tabelle 8 und Abbildung 29 zeigen die Zusammensetzung und geografische Verteilung der in Moser und Lassacher (2020) identifizierten Umsetzungen.

Wärmequelle	Wärmesenke		Teilsummen nach Quelle
	Fernwärme	industrielle Prozesswärme	
Überschusswärme aus einer Wärmerückgewinnung	23	0	23
Überschusswärme aus einer (erforderlichen) industriellen Verbrennung	19	3	22
Teilsummen nach Senke	42	3	Gesamt: 45

Tabelle 8

Umsetzungen der externen Nutzung industrieller Abwärme, kategorisiert hinsichtlich der Art der Nutzung (Fern vs. Prozesswärme) und (hinsichtlich der Art der Quelle (Verbrennung oder Wärmerückgewinnung)).

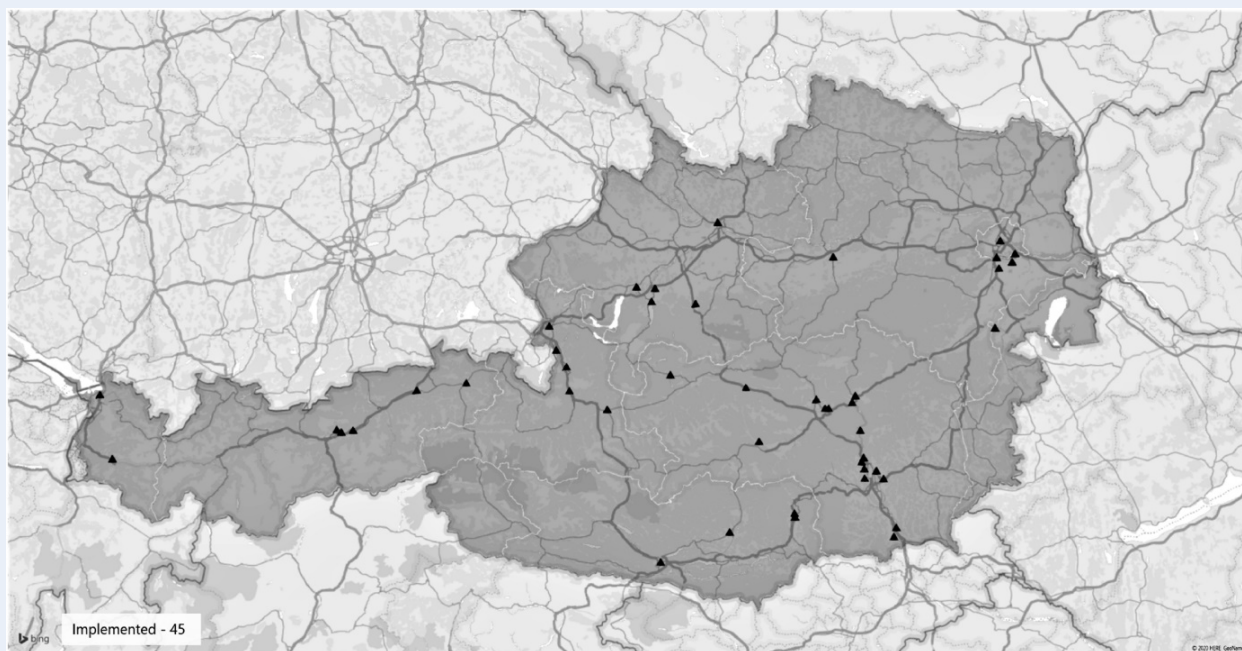


Abbildung 29

Bestehende Umsetzungen einer betriebsexternen Abwärmenutzung in Österreich, Stand 2018 und auf Basis der Methode gemäß Moser & Lassacher (2020). Da manche Betriebe mehrere Auskoppelungen aufweisen, summieren sich die Punkte nicht auf die 45 identifizierten Umsetzungen. Abbildung übernommen aus Moser & Lassacher (2020).

Schlussfolgerungen: Die Umsetzungen wurden in einer Excel-Liste (diese ist als PDF-Anhang zum Papier Moser und Lassacher (2020) zu finden) zusammengeführt und ausgewertet. Relevanteste bzw. exemplarische Ergebnisse der Auswertung dieser Liste sind:

- Die Gesamtleistung wird mit 580 MW abgeschätzt.⁴³
- Die wiedergenutzte Abwärmemenge wird mit 1,8 TWh/a abgeschätzt.⁴⁴ Referenziert auf Daten der Statistik Austria sind dies 2% des industriellen Endenergieverbrauchs, die extern wiederverwendet werden.
 - Drei der 45 Implementierungen stellen in Summe circa 0,05 TWh/a direkt als industrielle Prozesswärme extern bereit.
 - Die restlichen 42 Implementierungen übergeben circa 1,75 TWh/a an Fernwärmenetze. Referenziert auf Daten der Statistik Austria sind dies 2,5% des Endenergieverbrauchs von Gebäuden bzw. 7% der durch Wärmenetze in Österreich bereitgestellten Energiemenge.
- Nach Anzahl wurden circa 70% der Umsetzungen nach 2010 errichtet.
- Nach Anzahl liefert etwa die Hälfte der Umsetzungen Abwärme aus industriellen Verbrennungsprozessen.

Über die Wirtschaftlichkeit (inklusive Amortisation, Risiken, etc.) und Organisation (inklusive Initiation, Verträge, etc.) kann in Moser und Lassacher (2020) aufgrund der Erhebungsmethode bzw. in den dafür verwendeten Informationsquellen nicht angegebenen Daten keine allgemeine Aussage getroffen werden.

Umfrage zu erfolgreichen Umsetzungen

Um weite Teile der dargestellten Inhalte der Tasks 5.2 und 5.3 herleiten zu können, wurde ein Fragebogen erstellt, mit dem Informationen von den bestehenden Umsetzungen betriebsexterner Abwärmenutzungen eingeholt werden können. Die eingeholten Informationen stellen die Basis für die Analyse bestimmter Themenstellungen der Tasks 5.2 und 5.3 dar bzw. unterstützen die Bearbeitungen der anderen dort angeführten Themenstellungen. Aufgrund der thematischen Nähe wurden für die Ausarbeitung des Fragebogens auch Erkenntnisse aus den Projekten Industrial Microgrids (Programm Vorzeigeregion, FFG-Nr. 868708) und Heat Highway (Programm Vorzeigeregion, FFG-Nr. 880797) verwendet und es werden Erkenntnisse aus der INXS-Umfrage auch wieder an diese Projekte zurückgespielt.

Datenbasis: Die Liste der 45 Umsetzungen gemäß dem Papier Moser und Lassacher (2020) diente als Basis für die Kontaktaufnahme. Nach der Publikation des Papiers wurden noch zwei weitere bereits bestehende Umsetzungen bekannt: Essity Austria GmbH und Bioenergie Ortman GmbH in Pernitz⁴⁵ sowie die Sandoz GmbH in Kundl⁴⁶. Beide Unternehmen wurden der Liste hinzugefügt. Fälschlich in der Liste enthalten war die Kooperation von voestalpine Stahl Donawitz GmbH und der KELAG Energie & Wärme GmbH in Trofaiach; hierbei handelt es sich um eine Weitergabe der Wärme der Stadtwerke Leoben an die KELAG Energie & Wärme GmbH in Trofaiach, wobei die Übergabe räumlich

⁴³ Diese Summe basiert bei Einzelwerten auf Annahmen und Abschätzungen und ist daher nur als richtungweisend zu verstehen.

⁴⁴ Anm.: Diese Summe basiert bei Einzelwerten auf Annahmen und Abschätzungen und ist daher nur als richtungweisend zu verstehen.

⁴⁵ Bioenergie Bucklige Welt GmbH (k.D.) Bioenergie Ortman GmbH. Homepage-Beitrag. Web: bwwb.at/kraftwerke-anlagen/bioenergie-ortman (2022-04-01).

⁴⁶ Marktgemeinde Kundl (2018) Kundl ist „Abwärmepionier“. Homepage-Beitrag vom 15.1.2018. Web: www.kundl.tirol.gv.at/aktuelles/news/newsarchiv/kundl_ist_abwaermpionier (2022-04-01).

unmittelbar neben der Übergabe der Wärme der voestalpine Stahl Donawitz GmbH an die Stadtwerke Leoben erfolgt, aber eine technische und organisatorische Verbindung nur zwischen den Stadtwerken und der KELAG Energie & Wärme GmbH besteht; es handelt sich dabei also nicht um eine organisatorische Verbindung zwischen der Industrie und dem Fernwärmenetz der Kelag. Seit Erstellung der Liste im Jahr 2018 wurde inzwischen das Werk der RHI Magnesita GmbH in Trieben geschlossen, die Abwärmeauskoppelung damit wahrscheinlich beendet.⁴⁷ Zur Liste wurden auch jene Kooperationen aufgenommen, welche aufgrund Eigentümer-Gleichheit ausgeschlossen wurden: OMV AG – Borealis Polyolefine GmbH in Schwechat, Chemiepark Linz, Privatbrauerei Fritz Egger GmbH & Co KG

und S.Spitz GmbH in Attnang-Puchheim. Neu hinzu kommt auch die lediglich geplante, aber vertraglich bereits fixierte Umsetzung von Smurfit Kappa Nettingsdorf AG & Co KG in Nettingsdorf.⁴⁸ Auch die OMV AG koppelt weitere Abwärme aus.⁴⁹ Als Ergebnis liegt eine Liste mit 51 Umsetzungen vor. Von diesen 51 Umsetzungen sind 5 zwischenbetrieblich – zusätzlich zu den drei in Moser und Lassacher (2020) angeführten Umsetzungen wurden für den Zweck dieser Umfrage auch die Verbindungen zwischen der OMV AG und Borealis Polyolefine GmbH in Schwechat sowie die Verbindungen am Linzer Chemiepark – beide zurückzuführen auf bei der Implementierung gemeinsame Eigentümer der teilnehmenden Unternehmen – aufgenommen.

47 Kleine Zeitung (2021) Ende einer Ära – Die letzten 20 Mitarbeiter müssen das RHI-Werk in Trieben verlassen. Homepage-Artikel vom 27.9.2021.

Web: www.kleinezeitung.at/steiermark/cnnstal/6039657/Ende-einer-Aera_Die-letzten-20-Mitarbeiter-muessen-das-RHIWerk-in (2022-04-01).

48 Austropapier (2021) Nettingsdorf liefert umweltfreundliche Fernwärme. Homepage-Artikel vom 6.9.2021.

Web: austropapier.at/nettingsdorf-liefert-umweltfreundliche-fernwaerme (2022-04-01).

49 Salzburger Nachrichten (2021) OMV-Raffinerie Schwechat heizt Flughafen mit Abwärme. Artikel vom 1.12.2021.

Web: www.sn.at/wirtschaft/oesterreich/omv-raffinerie-schwechat-heizt-flughafen-mit-abwaerme-113354941 (2022-04-01).

Nr.	Industry	Nr.	Industry
1	Wibeba-holz GmbH – Brau Union Österreich AG (Wieselburg)	28	FunderMax GmbH (Neudörfel)
2	Mayr-Meinhof Holz Leoben GmbH – Brau Union Österreich AG (Göss)	29	FunderMax GmbH (St.Veit/Glan)
3	Mondi Frantschach GmbH – Johann Offner Holzindustrie GmbH	30	Mondi Frantschach GmbH – KELAG Energie & Wärme GmbH
4	Brau Union Österreich AG (Schwechat)	31	UPM-Kymmene Austria GmbH
5	OMYA GmbH	32	voestalpine Stahl GmbH (Linz)
6	Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH	33	Kirchner Säge- und Hobelwerk GmbH
7	Zementwerk Hatschek GmbH	34	Mayr-Melnhof pulp mill – Frohnleiten
8	TKV Oberösterreich GmbH & Co KG	35	Zellstoff Pöls AG
9	Zementwerk Leube GmbH (Kalkwerk Tagger)	36	Goodmills Österreich GmbH (Raaba)
10	M. KAINDL GmbH	37	voestalpine Stahl Donawitz GmbH – Stadtwerke Leoben
11	AustroCel Hallein GmbH		voestalpine Stahl Donawitz GmbH – Trofaiach – Correction: this is no industry-DHN case as it is a DHN-DHN connection
12	Eisenwerk Sulzau-Werfen, R. & E. Weinberger AG	38	Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG – Gratkorn
	RHS Magnesita GmbH (Trieben) – Plant closed	39	Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG – Graz
13	Norske Skog Bruck GmbH	40	Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG – Gratwein
14	voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG	41	Papierfabrik Wattens GmbH & Co KG
15	Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH	42	FRITZ EGGER GmbH & Co. OG
16	Brau Union Österreich AG (Puntigam)	43	D. Swarovski KG
17	Steirische Tierkörperverwertungs-GmbH & Co KG	44	Smurfit Kappa Nettingsdorf AG & Co KG
18	Lafarge Zementwerke GmbH (Retznei)	45	OMV AG – Wien Energie GmbH (Concordia Park)
19	Herbert KNEITZ GmbH	46	Essity Austria GmbH
20	Berglandmilch eGen	47	Sandoz GmbH
21	Tiroler Rohre GmbH	48	Chemiepark Linz
22	Flatz GmbH	49	S.Spitz GmbH
23	Getzner Textil AG	50	OMV AG – Borealis Polyolefine GmbH
24	Josef Manner & Comp. AG	51	Privatbrauerei Fritz Egger GmbH & Co KG
25	Henkel CEE GmbH	52	voestalpine Tubulars GmbH & Co KG
26	OMV AG (Raffinerie Schwechat) – Wien Energie GmbH	53	Stoelzle Oberglas GmbH
27	OMV AG (Raffinerie Schwechat) – Flughafen Wien		

Taken from Moser & Lassacher (2020)

New added or shifted

deleted – site closed & correction

Abbildung 30

Neuzusammenstellung, Korrektur und Update der bestehenden Umsetzungen einer betriebsexternen Abwärmenutzung in Österreich.

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz.

Ergänzung: Wiederum nach Fertigstellung der Liste in Abbildung 30 und Aussendung des Fragebogens wurde die Fernwärme-Einspeisung von Stoelzle Oberglas GmbH in das Fernwärmenetz der Energie Steiermark in Köflach bekannt. Die Auskoppelung/Wärme-Kooperation wurde bereits 2015 mit Abgaswärmetauschern, welche die Abwärme der Schmelzwannen der Glasproduktion rückgewinnen, umgesetzt. Auf der Homepage werden kompensierte 4300 tCO₂ angegeben, eine Umrechnung in gelieferte Energiemengen ist nicht zu finden.⁵⁰

Darüber hinaus ist die künftige Abwärme-Kooperation zwischen der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG und der Bioenergie Unternehmensgruppe ebenfalls nach Aussendung des Fragebogens bekannt geworden. Dabei handelt es sich um Abwärme aus der Produktion von Hightech-Rohren, welche bei 1.300 °C geformt werden. Es wird eine Abwärmemenge von rund 4 MW erzeugt. Über die 9 km lange Fernwärmeleitung gelangt die Wärme direkt in den Ort. Die Bauarbeiten starten noch im Jahr 2022, ab 2023 soll die Anlage in Betrieb gehen.⁵¹

Ansprechperson: Die Ansprechpersonen waren mehrheitlich nicht bekannt und mussten für jede Firma mitunter aufwändig im Internet, via E-Mail oder telefonisch recherchiert werden. Zum Teil konnte der Kontakt zu den Unternehmen bereits durch bestehende persönliche Kontakte und/oder frühere Projektzusammenarbeit hergestellt werden. Ansprechpersonen ergeben sich gleichermaßen auf Seite des Abwärme bereitstellenden Unternehmens sowie auf Seite des Abwärme beziehenden Unternehmens. In Summe ergaben sich knapp 100 Ansprechpartner, da die Recherche in beinahe jedem Fall erfolgreich verlief. Es wurde aufgrund zeitlicher und budgetärer Restriktionen entschieden, den Fragebogen nur an die Gruppe der Wärme bereitstellenden Unternehmen auszusenden. Mit der Fokussierung auf eine

Gruppe kann eine bessere Vergleichbarkeit der Perspektive und damit der Antworten gewährleistet werden. Hätte kein ausreichendes Feedback erzielt werden können, wären die Fälle über die abnehmenden Unternehmen kontaktiert worden. Im methodischen Idealfall wird das Feedback von beiden Seiten eingeholt, um die wiedergegebenen Ansichten zu einem Fall zu vergleichen; dies wurde aufgrund der genannten zeitlich-budgetären Restriktionen unterlassen. Die Brau Union AG hat bildet hier eine Ausnahme, denn sie ist in zwei Kooperationsfällen das beziehende Unternehmen, in zwei weiteren Fällen das bereitstellende Unternehmen; die Brau Union AG hat daher auch für beide Fälle der Abnahme geantwortet.

Fragebogeninhalt: Der Inhalt des Fragebogens sollte die Datenbasis für weitere Auswertungen liefern, unter anderem und vor allem für die generische Kosten-Nutzen-Analyse und die darauf aufbauende makroökonomische Simulation. Auch die Bearbeitung der Aspekte wie Geschäfts- und Finanzierungsmodelle, Wertströme und Barrieren/Risiken sollte damit unterstützt werden.

Der Fragebogen ist im Anhang dieses Berichts zu finden. Es handelt sich um einen semistrukturierten Fragebogen, was aufgrund der Anzahl an erwarteten Ergebnissen als optimales Design angesehen wurde: Es handelt sich einerseits nicht um einzelne Antworten, welche ohne Strukturierung leicht abgeglichen werden können und andererseits nicht um eine statistisch signifikante Anzahl, welche eine striktere Strukturierung der Antworten erfordern würde. Aufgrund dessen war der Fragebogen als bearbeitbares Textdokument (MS Word) konzipiert und die Antworten (Text, Kurztex, Zahl) zwar logisch erkennbar, aber für die antwortende Person auch um Kommentare/Erklärungen etc. adaptierbar.

⁵⁰ Stoelzle Oberglas (2019) Stoelzle Oberglas und seine Holding produzieren grüne Energie. Web-Artikel vom 19.3.2019: www.stoelzle.com/sto/stoelzle-oberglas-und-seine-holding-produzieren-gruene-energie/ (2022-04-28).

⁵¹ Philipp Stadler (2022) Genial: Steirische Gemeinde Kindberg recycelt Industrie-Abwärme zum Beheizen von Volksschule & Wohnungen. Web-Artikel vom 18.03.2022: neuezeit.at/fernwaerme-kindberg/ (2022-05-09).

Der Fragebogen ist im Original fünf Seiten lang und in folgende Bereiche gegliedert, wobei in den Abschnitten 1–4 die inhaltlichen Fragen enthalten sind:

- Informationen zum Ziel des Fragebogens, Anonymität, Ansprechpartner
- Allgemeine Angaben zur Kooperation
- Abschnitt 1: Wie ist die Kooperation entstanden?
- Abschnitt 2: Wie funktioniert die externe Wärmebereitstellung, aus technischer Sicht?
- Abschnitt 3: Wie funktioniert die externe Wärmebereitstellung, aus wirtschaftlicher Sicht?
- Abschnitt 4: Wie konnte man Risiken und Unsicherheiten überwinden?

Fragebogen-Aussendung und -Einholung: Einige der Ansprechpersonen der Unternehmen wurden bereits im Zuge der Suche nach ebendiesen Personen persönlich kontaktiert und die Durchführung der Umfrage mittels des Fragebogens angekündigt. Der Fragebogen wurde Mitte Dezember 2021 ausgesandt. Reminder wurden teils individualisiert nachgesandt. Das erste offizielle Nachfassen erfolgte in der zweiten Jännerwoche 2022. Ab der dritten Jännerwoche 2022 wurden auch Telefonate geführt.

Allen Personen wurde in der Mail und im Header des Fragebogens konkret angeboten, den Fragebogen auch im Rahmen einer Telefon- bzw. Webkonferenz durchzugehen und durch das Befragungsteam ausfüllen zu lassen, um somit Zeit zu sparen. Für das Befragungsteam ergibt sich dadurch natürlich die Möglichkeit, durch sofortige Rückfrage Angaben zu konkretisieren/detaillieren. Etwa die Hälfte der Antwortenden hat diese Möglichkeit genutzt.

Der Großteil der Fragebögen ging bis Ende Jänner 2022 telefonisch bzw. via Webkonferenz oder ausgefüllt als Antwort-Mail ein. Der letzte Fragebogen ging am 31. März 2022 ein und konnte noch in die Auswertung aufgenommen werden.

Anonymität: Den antwortenden Personen wurde zugesichert, dass, wenn sie den Fragebogen ausfüllen, in den Publikationen nur der Name des Unternehmens in einer Liste als „an der Umfrage teilnehmendes Unternehmen“ angegeben wird. Ansonsten wurde zugesichert, dass die Angaben anonym behandelt werden; die einzelnen Angaben werden also in Veröffentlichungen nicht den einzelnen Unternehmen zugeordnet.

Damit können zum Beispiel Angaben zu Verträgen oder zur Wirtschaftlichkeit gemacht werden, ohne dass dies der Firma zugeordnet wird. Es ist auf Basis der teils direkten Kontakte davon auszugehen, dass in zumindest 20% der Fälle dadurch umfangreichere Antworten eingeholt werden konnten. Daraus folgt jedoch auch, dass der Datensatz nicht extern bereitgestellt werden kann.

Fragebogenauswertung

Von 16 Firmen konnten Antworten auf den Fragebogen rückgeholt werden, wobei 4 Firmen für mehr als einen Fall antworteten. In Summe konnten **Fragebögen für 24 der 51 Umsetzungen** eingeholt werden. Die antwortenden Firmen sind Brau Union AG, Mondi Frantschach GmbH, OMYA GmbH, Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH, Zementwerk Hatschek GmbH, Zementwerk Leube GmbH, Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH, Lafarge Zementwerke GmbH, Josef Manner & Comp. AG, OMV AG, Zellstoff Pöls AG, voestalpine Stahl Donawitz GmbH, Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG, Papierfabrik Wattens GmbH & Co KG, Smurfit Kappa Nettingsdorf AG & Co KG, Essity Austria GmbH.

3 der 24 Antworten betreffen je eine der fünf zwischenbetrieblichen Implementierungen. Da diese einen Spezialfall darstellen, werden sie nicht in die hier durchgeführte Auswertung aufgenommen. Für die anderen 21 Antworten liegen die folgenden Ergebnisse vor.

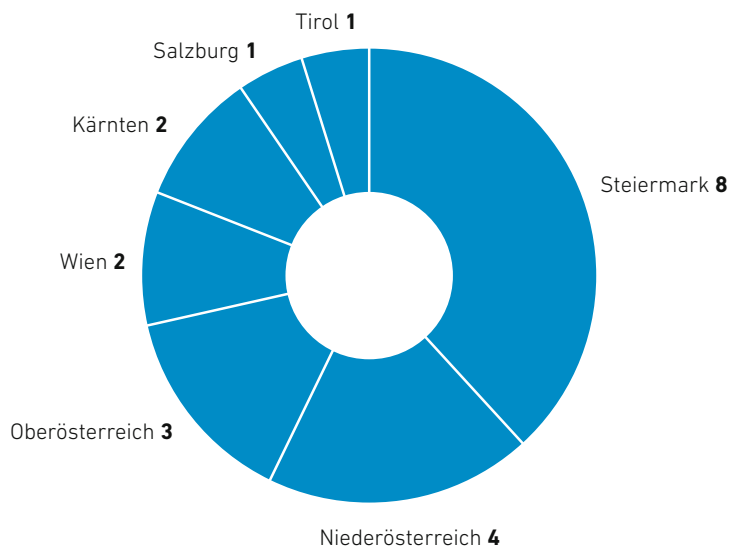


Abbildung 31
 Antwortende Implementierungen der Nutzung industrieller
 Abwärme/Überschusswärme in Fernwärmenetzen nach Bundesländern.
 Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

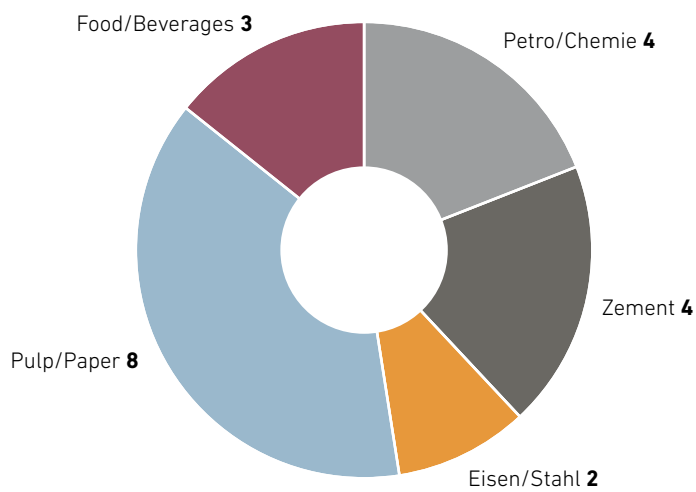


Abbildung 32
 Antwortende Implementierungen der Nutzung industrieller
 Abwärme/Überschusswärme in Fernwärmenetzen nach Branche.
 Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Wärmeleistungen und -mengen

Von den 21 Rückmeldungen haben 17 die Frage nach der maximalen Leistung und 20 die Frage nach der bereitgestellten Jahresmenge beantwortet. Die

Volllaststunden wurden nicht abgefragt, sondern berechnet, als Multiplikator der maximalen Leistung auf die bereitgestellte Jahresmenge.

Frage	n	Mittelwert	Median
Maximale Leistung [MW]	n=17	29 MW	10 MW
übliche übergebene Jahresmenge [MWh]	n=20	78 800 MWh	28 500 MWh
Volllaststunden (berechnet)	n=17	3160 h	3250 h

Tabelle 9

Deskriptive Beschreibung der Antworten im Bereich Wärmeleistungen und -mengen. Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Die maximale Leistung der Abwärme-/Überschusswärme-Bereitstellung liegt im Durchschnitt bei 29 MW, ohne die jeweiligen Ausreißer nach oben und unten bei 20 MW. 4 der 17 Fälle weisen eine maximale Leistung von 2 MW oder weniger auf.

Die Umsetzung der Nutzung betrieblicher Abwärme/Überschusswärme in Fernwärmenetzen weist keine Beschränkung nach unten auf – es gibt keine Mindestgrößen, ab wann eine (wirtschaftliche) Machbarkeit gegeben ist. Wenngleich statistisch nicht aussagekräftig, ist festzustellen, dass die 5 kleinsten (nach MW) Implementierungen im Durchschnitt etwa die gleichen Volllaststunden aufweisen wie der Durchschnitt; kleine Leistungen sind also offensichtlich fallspezifisch und es lässt sich nicht generalisieren, dass sie leichter zu integrieren wären.

Die Fälle stellen im Durchschnitt 78,8 GWh/a bereit, ohne die Ausreißer 51 GWh/a. Daraus leiten sich im Durchschnitt etwa 3160 Volllaststunden der Wärmebereitstellung aus Abwärme/Überschusswärme ab. 4 der 17 Implementierungen weisen mehr als 4500 Volllaststunden auf; 2 der 17 weisen weniger als 2000 Volllaststunden auf.

Erwartungsgemäß weist die Nutzung der Abwärme/Überschusswärme im Durchschnitt eine hohe Volllaststundenanzahl deutlich über den üblicherweise angenommenen Mittelwerten (Absatzmenge dividiert durch Maximalleistung) österreichischer Fernwärmenetze von etwa 2000 auf. Dies spiegelt erstens die geringen variablen Kosten wider, welche eine frühe Position in der Heat Merit Order sichern. Zweitens erfordern die hohen Investmentkosten, im Vergleich zu Anlagen mit (höheren) Brennstoffkosten und geringeren Anfangsinvestitionen, einen gesicherten Betrieb.

Charakterisierung der Quelle

Alle Rückmeldenden haben Angaben zur Charakterisierung der Quelle der Abwärme/Überschusswärme gemacht. Zur Auswahl standen „Überschusswärme aus industrieller Verbrennung“, „Abwärme aus Prozess, über Wärmetauscher direkt einspeisbar“ und „Abwärme aus Prozess, aufbereitet über Wärmepumpe“. 7 Implementierungen weisen mehr als eine innerbetriebliche Quellenkategorie auf und haben zwei Antworten angekreuzt. Auf Basis der Fragebogenantworten und begleitenden Interviews ist davon auszugehen, dass die anderen Implementierungen nicht mehrere Quellen der gleichen Kategorie aufweisen, sondern im Normalfall tatsächlich nur eine Quelle der Abwärme/Überschusswärme genutzt wird.

Frage	n	Anzahl
#1 Überschusswärme aus industrieller Verbrennung	n=21	2
#2 Abwärme aus Prozess, über Wärmetauscher direkt einspeisbar	n=21	10
#3 Abwärme aus Prozess, aufbereitet über Wärmepumpe	n=21	2
Mehrere Quellen (keine Gewichtung): #1 + #2	n=21	6
Mehrere Quellen (keine Gewichtung): #2 + #3	n=21	1
Mehrere Quellen (keine Gewichtung): #1 + #3	n=21	0
Mehrere Quellen (keine Gewichtung): #1 + #2 + #3	n=21	0

Tabelle 10

Charakterisierung der innerbetrieblichen Quelle der Abwärme/
Überschusswärme. Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Jene Implementierungen, die mehrere Quellen angeben, sind im Durchschnitt deutlich größer (60 MW und 185 GWh/a bzw. 32 MW und 92 GWh/a ohne Ausreißer) als der Durchschnitt der anderen antwortenden Implementierungen (13 MW und 33 GWh/a).

Charakterisierung der Nutzung

Alle Rückmeldenden haben Angaben zur Charakterisierung der Nutzung der eingespeisten Abwärme/Überschusswärme gemacht. Zur Auswahl standen „Grundlastabdeckung“, „Einspeisung nur in der Heizsaison“ und „Anderes:“, wobei letzteres eine Spezifikation ermöglichte. Die Antwortmöglichkeit „Grundlastabdeckung“

war so angedacht, dass die Abwärme/Überschusswärme die präferierte Wärmequelle zur Deckung des Kundenbedarfs (Warmwasser und des Heizwärme) ist; Antworten, die unter „anderes:“ vermerkt wurden, aber dem entsprechen, wurden verschoben. Dazu gehören auch jene Implementierungen, die eine (auch ganzjährige) Vollversorgung bereitstellen können, diese aber nur für Zeiten des industriellen Betriebs bereitsteht. Unter „Anderes:“ finden sich ansonsten nur mehr Implementierungen, die angeben, dass der Industriebetrieb mit seiner Abwärme/Überschusswärme zuzüglich der vorhandenen Backups/Alternativen die Verantwortung zur Vollversorgung des Fernwärmenetzes übernimmt.

Frage	n	Anzahl
#1 Grundlast – inklusive jener Implementierungen, die eine Vollversorgung bereitstellen können, diese aber nur für Zeiten des industriellen Betriebs bereitsteht.	n=21	15
#2 Einspeisung nur in der Heizsaison	n=21	0
#3 Anderes: Vollversorgung des Fernwärmenetzes mit Verantwortung zur Versorgung	n=21	5
#3 Anderes: nicht klar zuordenbar	n=21	1

Tabelle 11

Charakterisierung der Nutzungsart der Abwärme/
Überschusswärme durch den Fernwärmenetzbetreiber.
Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Initiierung und Anlass der Kooperation

18 der 21 Rückmeldungen haben Angaben zur Frage gemacht, wer die Entstehung der Kooperation initiierte. Die Frage war als Multiple Choice zu beantworten, es konnten also mehrere Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Dies war bewusst so gewählt, um gleichwertigen

Initiatoren Rechnung zu tragen. Insgesamt wurden 35 Kreuze gesetzt: drei Mal 3 Kreuze, zehn Mal 2 Kreuze, sechs Mal 1 Kreuz. Fünf Kreuze wurden verschoben oder interpretiert, weil die Erläuterungen in der nachfolgenden offenen Frage eine deutliche Erklärung lieferten.

Frage (Multiple Choice)	n	Anzahl
Nicht (mehr) bekannt	n=18	2
Idee unserer (damaligen) Geschäftsführung	n=18	5
Idee unserer Mitarbeiter*innen	n=18	9
Idee der Geschäftsführung des Kooperationspartners	n=18	7
Idee der Mitarbeiter*innen des Kooperationspartners	n=18	1
Dritte: Bürgermeister*in, Standortagentur, Interessenvertretung oder andere	n=18	5
Dritte: Audit, Berater*in, Forschung	n=18	3
Rechtliche Vorgaben, z. B. im Zuge der Anlagengenehmigung oder ähnlichem	n=18	0
Technisch-wirtschaftliche Notwendigkeit wegen vorhandener Abwärme/Überschusswärme	n=18	2
Sonstige	n=18	1

Tabelle 12

Verteilung der Antworten auf die Frage, wer die Entstehung der Kooperation initiierte. Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

In 1 Fall liegt die Entstehung so lange zurück, dass die antwortende Person keine Angaben mehr zur Entstehung machen konnte. Rechtliche Vorgaben, z. B. im Zuge der Anlagengenehmigung oder ähnlichem, haben in keinem Fall zur Implementierung geführt. Die technisch-wirtschaftliche Notwendigkeit wegen vorhandener Abwärme/Überschusswärme hat 2 Mal zur Initiierung beigetragen, wobei in beiden Fällen auch die Geschäftsführung bzw. Mitarbeitenden des Unternehmens als Initiatoren/Initiatorinnen angekreuzt wurden.

Die Geschäftsführung bzw. Mitarbeitende der Industriebetriebe erhielten 14 der 31 Kreuze als Initiator*in, die Geschäftsführung bzw. Mitarbeitende ihrer Kooperationspartner*innen nur 8. Es bleibt offen, ob sich die Antworten anders/umgekehrt darstellen würden, hätten nicht die Industriebetriebe, sondern die Fernwärmeunternehmen diese Frage beantwortet.

Erwähnenswert ist die Rolle von Dritten in 5 Fällen (mit 6 Kreuzen). In den schriftlichen Ausführungen wird von Bürgermeistern/Bürgermeister*innen, der Amtsleitung oder dem Gemeinderat gesprochen. Die Rolle der lokalen Politik wird damit sehr deutlich, die überregionale Politik wird in der Rolle der Initiative nicht angesprochen. (Die Rolle der überregionalen Politik wird in einer anderen Frage, bei der Gewährung von Förderungen, erwähnt.)

Eine offene Frage erkundigte sich nach der „Initialzündung: Wie entstand die Idee, zu kooperieren? Wer redete mit wem? War es Zufall, gab es einen Anlass?“ Die Antworten auf die offene Frage wurden kategorisiert, wobei sich die Möglichkeiten „Personen bekannt/guter Kontakt“, „aktuelles Interesse“, „lange angedacht,

endlich ergeben“ ergaben. „Personen bekannt/guter Kontakt“ umfasst alle Implementierungen, bei denen die Beschreibung der Initiation auf ein gutes Einvernehmen, einen regelmäßigen Austausch, ein gewisses Vertrauen (auch durch Dritte wie Bürgermeister*in) hindeutet. „Aktuelles Interesse“ umfasst alle Implementierungen, bei denen aus einem gewissen Anlass wie Neubauten, Umbauten oder ähnlichem ein Bedarf bestand und daraus ein Kontakt entstand. „Lange angedacht, endlich ergeben“ umfasst alle Implementierungen, bei denen die Beschreibung der Initiation auf ein langes Bewusstsein für die Potenziale, aber fehlende Wirtschaftlichkeit oder Bedarfe, hindeutet; die Realisierung kam durch neue Akteur*innen oder Situationsänderungen bei einem/einer der Kooperationspartner*innen zustande.

Kategorien	n	Anzahl
Personen bekannt/guter Kontakt	n=18	7
Aktuelles Interesse	n=18	5
Lange angedacht, endlich ergeben	n=18	4

Tabelle 13

Zuordnung zu den aus den Rückmeldungen zur offenen Frage abgeleiteten Kategorien, wie die Idee zur Kooperation entstanden ist. Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Zwei der 18 Fälle waren nicht eindeutig zuordenbar: einer orientierte sich zwar aus aktuellem Interesse an Vorbildern, der andere entstand eher aus Zufall im Gespräch über andere Themen (das Gespräch kann wiederum nicht sicher in die Kategorie „Personen bekannt/guter Kontakt“ eingeordnet werden). Dass eine der drei Kategorien in der Antwort hervorgehoben wird, schließt nicht aus, dass auch andere Kategorien zutrafen – nur aus Sicht des Antwortenden waren die genannten Gründe also im Vordergrund. Etwa ein Drittel der Umsetzungen – es liegt natürlich keine statistische Signifikanz vor – leitet sich ihrer Wahrnehmung nach aus dem Austausch in einem guten

Gesprächsklima ab, den Beschreibungen nach gefolgt von Grundsatzentscheidungen, offenem Umgang mit Daten und harten, aber fairen, offenen und verständnisvollen Verhandlungen. Zwei Drittel ergeben sich eher technisch-ökonomisch, wenn neue Investitionen im Industriebetrieb, im Fernwärmenetz oder im Umfeld getätigt werden und sich neue Potenziale ableiten. Dies kann also sowohl spontan sein, dass Potenziale bei anderen Betrieben durchaus mitgedacht oder diskutiert werden, oder der langfristigen Aufmerksamkeit für eine passende Situation entspringen. Es ist anzunehmen, dass aber auch dieser Prozess sodann offen und fair erfolgt.

In einer weiteren Frage wurde der Zeitpunkt der Entstehung der Kooperation erfragt. Damit sollte die Hypothese geprüft werden, dass markante Änderungen bei einem/einer der Partner*innen (z. B. umfassende Modifikation der Anlage oder Neuerrichtung) als Commitment gewertet werden und damit zu einem höheren Vertrauen beitragen können. Die Multiple Choice Frage erlaubte das Ankreuzen der Aussagen „Kooperation startete mit Veränderung beim abnehmenden Partnerunternehmen“ und „Kooperation startete mit Veränderung beim

bereitstellenden Partnerunternehmen“. Es konnte auch beides angekreuzt werden. Als Restriktion der Aussagekraft wäre anzusehen, dass ein Nicht-Ankreuzen der beiden Möglichkeiten sowohl „keine Angabe“ als auch „beides nichtzutreffend“ bedeuten kann. Durch die begleitenden Interviews konnte in sechs von neun Fällen das Nicht-Ankreuzen klar als „beides nichtzutreffend“ interpretiert werden; die drei anderen Fälle wurden ausgeschieden (verbleibend n=18).

Kategorien	n	Anzahl
„Die Kooperation startete zum Zeitpunkt des Betriebsbeginns/einer starken Veränderung beim <u>abnehmenden</u> Partnerunternehmen (z. B. mit Inbetriebnahme Fernwärmenetz)“	n=18	4
„Die Kooperation startete zum Zeitpunkt des Betriebsbeginns/einer starken Veränderung beim <u>bereitstellenden</u> Partnerunternehmen (z. B. mit Neuerrichtung von Anlagen)“	n=18	4
Beides angekreuzt	n=18	4
Bewusst keines angekreuzt = als „beides nichtzutreffend“ interpretierbar	n=18	6

Tabelle 14

Antworten auf die Multiple Choice Frage, ob der Zeitpunkt der Entstehung der Kooperation in Zusammenhang mit Veränderungen beim abnehmenden und/oder bereitstellenden Partnerunternehmen steht. Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Es leitet sich die augenscheinliche Frage ab, in welchem Zusammenhang diese starken Veränderungen mit der Art der Initiation stehen; und ob diese die vorgenommene Kategorisierung auch untermauern bzw. zu deren Interpretation beitragen können. Dazu wurden nur jene

16 Antworten herangezogen, welche sich einer der Hauptkategorien der Initiation zuordnen ließen, sowie jene Antworten, bei denen eine Nicht-Antwort gesichert als „beides nichtzutreffend“ interpretiert werden konnte. Es verbleiben n=15 Antworten.

Antwortende Implementierungen*, sortiert nach „Initialzündung – Interpretation“	Veränderung Abnehmer*in	Veränderung Bereitsteller*in
Aktuelles Interesse	zutreffend	–
Aktuelles Interesse	zutreffend	–
Aktuelles Interesse	zutreffend	–
Aktuelles Interesse	–	zutreffend
Aktuelles Interesse	–	zutreffend
Lange angedacht, endlich ergeben	zutreffend	zutreffend
Lange angedacht, endlich ergeben	zutreffend	zutreffend
Lange angedacht, endlich ergeben	zutreffend	zutreffend
Lange angedacht, endlich ergeben	zutreffend	–
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	zutreffend	zutreffend
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	–	zutreffend
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	–	zutreffend
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	–	–
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	–	–
Personen bekannt / guter Kontakt vorhanden	–	–

* ausgenommen jene Fälle, die nicht interpretiert oder als „Zufall“ bzw. „Vorbild“ interpretiert wurden, sowie ausgenommen jene, die bei der Frage „Veränderung“ „keine Angabe“ machten.

Tabelle 15

Verschneidung der Initiationskategorie einerseits mit Veränderungen zum Zeitpunkt der Entstehung der Kooperation andererseits.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Es ist klar ersichtlich, dass sich das „aktuelle Interesse“ aus einem Umbruch bei genau einem Partnerunternehmen ableitet, es sich also um eine hochaktuelle Situation/Entwicklung zu handeln scheint. Es handelt sich dabei um die Neuzustellung von industriellen Anlagen, um die Wärmeversorgung neuer Wohngebiete oder ähnliches. „Lange angedachte“ Projekte scheinen doch eher massive Veränderungen zu benötigen, um endlich realisiert werden zu können. Bestehen dagegen gute Kontakte und kennen sich die Personen (in den Interviews ist von Studienkolleg*innen, ehemaligen Mitarbeitenden, oftmaligen Treffen bei regionalen

Veranstaltungen oder ähnlichem die Rede) so können Projekte auch ohne nennenswerte Veränderungen bei den Partnerunternehmen realisiert werden.

Implementierung der Kooperation

Vorweg, die Implementierung der Kooperationen selbst (n=8) dauerte zwischen 0,5–0,75 Jahre als kürzeste angegebene Dauer und 12 Jahre als längste angegebene Dauer. Länger dauerte es nur dort, wo mit der Kooperation auch das Fernwärmenetz erst entstand und Kund*innen eingebunden werden mussten.

Die Frage nach den „erforderlichen Schritten“ wurde für 16 der 21 Industrie-Fernwärme-Kooperationsfälle beantwortet. Die Antworten sind in ihrem Detailgrad und ihrem Fokus heterogen. Sie bieten sich nicht zur Auswertung in Kategorien an. Eher kann die Summe aller Antworten Hinweise für ein gutes Funktionieren der Umsetzung geben:

- Einverständnis der Geschäftsführungen
- Vorvertrag oder Letter-of-Intent: Grundsätze der Kooperation bei Machbarkeit
- Daten und technische Machbarkeit:
 - Eigene Berechnungen und Erfahrungen und Annahmen als Basis
 - Technische Inputs
 - Vergleichsprojekte
 - Messungen, Messserien
- Technische Machbarkeitsstudie
 - Erstellung eines Konzeptes
 - Verfügbares Abwärmepotenzial und Abwärmepotenziale
 - Wärmebedarfsmengen
 - Leitungsnetz
 - Mögliche Abnehmer*innen
 - Gegenüberstellung des Bedarfs und der Abwärme, zeitlich aufgelöst
- Wirtschaftliche Machbarkeitsstudie
 - Allgemeiner Kosten-Nutzen
 - Grobe wirtschaftlich-finanzielle Struktur (Eigentum, Investitionen, Betrieb)
- Partner*innen/Unterstützung
 - Weitere erforderliche Partner*innen
 - Überzeugung von Partnerunternehmen mit anderen Interessen
 - Förderung durch öffentliche Stellen
- Vertragsentwurf
 - Verteilung der Investitionssumme, Zahlungsparameter und -flüsse, Laufzeit Wärmeliefervertrag
 - Verteilung der Errichtungsaufgaben: Technische Umsetzung, Planung und Auslegung Leitung, Vergabe von Tätigkeiten
 - Bereitstellung von Raum/Platz für Speicher, Backups, Leitungen; Zugangsmodalitäten
 - Schnittstellendefinition: Systemgrenzen, Betrieb, Eingriffsgrenzen, Messpunkte
 - Ausstiegsgründe, gegenseitige Sicherheiten
 - Vertragsunterzeichnung
 - Beauftragung von Firmen zur Umsetzung der industriebetriebsinternen Adaptionen sowie Beauftragung von Firmen zum Leitungsbau, etc.

Organisation der Kooperation, Vertragswerk

19 der 21 antwortenden Industriebetriebe haben Angaben gemacht, wie die Kooperation mit dem Fernwärmenetz organisiert ist.

Kategorien	n	Anzahl
Vertraglich mit zwei klar getrennten Unternehmen und klaren Schnittstellen	n=19	18
Gemeinsame Tochterunternehmen	n=19	1

Tabelle 16

Antworten auf die offene Frage, wie die Kooperation organisiert ist.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

18 der 19 Implementierungen sind über **Verträge zwischen zwei klar getrennten Unternehmen** und mit klaren Schnittstellen organisiert. Nur eine Implementierung ist über ein gemeinsames Tochterunternehmen organisiert: natürlich ist anzunehmen, dass auch hier ein Vertragswerk zwischen dem Industriebetrieb und dem Tochterunternehmen, an dem nur Anteile gehalten werden, benötigt wird; gleichzeitig ist anzunehmen, dass sich aus der Beteiligung eine höhere Transparenz und Mitspracherechte ergeben.

Methodisch ist anzumerken, dass die Fälle aus Moser und Lassacher (2020) übernommen wurden. Dort sind in der Hauptliste ausschließlich jene Fälle angeführt, bei denen getrennte Unternehmen miteinander kooperieren. Daraus ließe sich die Restriktion ableiten, dass per se nur getrennte Kooperationen angefragt wurden. Wie in der Methode erläutert, werden in Moser und Lassacher (2020) in einer ergänzenden Liste aber auch andere Kooperationen mit gemeinsamen Tochterunternehmen oder zwischen Unternehmen mit gemeinsamen Eigentümern angeführt, welche im Rahmen von INXS ebenso angeschrieben wurden.

6 der 21 Implementierungen haben angegeben, inwiefern es eine **Lieferverpflichtung** des Industriebetriebs an das Fernwärmenetz gibt. 4 der 6 geben an, dass keine Lieferverpflichtung besteht, führen das aber nicht im Detail aus, ob es weiterführende Regeln gibt. So ist es in einem weiteren antwortenden Fall so, dass die Abwärme geliefert werden muss, wenn sie zur Verfügung steht; anderweitige Nutzungen werden ausgeschlossen. In einem anderen Fall scheint eine Mindestleistung garantiert zu sein, die nur dann nicht erforderlich ist, wenn das Fernwärmenetz diese nicht abrufen kann.

Die konkrete **Frage zum Vertragswerk** zielt darauf ab, Barrieren bei dessen Errichtung zu identifizieren. Die Frage lautet „Gab es einen Mustervertrag als Vorlage? Welche Kategorien/Überschriften enthält der Vertrag?“

Würden Sie die Vertragsentwicklung als höchst komplex/aufwändig bezeichnen? Optional: können Sie Ihren Vertrag zur Verfügung stellen (interessant sind für uns nur die genannten Kategorien/Überschriften und Regelungen, nicht die Preise)?“

12 der 21 Umsetzungen gaben Feedback zum Entstehen des Vertragswerks, eine Antwort war in das Muster der anderen Antworten nicht einzuordnen, daher n=11.

- In 4 Fällen lag ein Entwurf von Seiten des Fernwärmenetzbetreibers vor. Einmal gab es ein Vertragsmuster (einmal konkret für den Bezug von industrieller Abwärme), einmal ein „Vertragsgerüst“, einmal einen „offensichtlichen Standardvertrag“ und einmal einen Erstentwurf auf Basis des initialen Letters-of-Intent.
- In den anderen 7 Fällen wurde der Vertrag gemeinsam erstellt. Dabei waren teils die Konzern-Rechtsabteilungen, teils externe Anwäl*innen eingebunden. Einmal diente der technische Entwurf der Kooperation als Ausgangspunkt.

Besonders wenn keine Musterverträge benutzt wurden, scheinen sich die Vereinbarungen als komplex zu erweisen. Als „Muster“ der Vertragsgestaltung wurden auch die Erfahrungen von anderen Unternehmen der Branche eingeholt. Als kompliziert werden angeführt:

- mehrfach die lange Vertragslaufzeit (diskutiert wurden zwischen den Partnerunternehmen mehrfach eine Vertragsdauer bis zu 20 Jahren, berichtet wird über mehrere Abschlüsse bis 15 Jahre und einen Abschluss auf 20 Jahre),
- mehrfach die Preisgestaltung (zwar wird die Bindung an Preisindizes als vereinfachend angeführt, aber trotzdem gelte, dass „keiner draufzahlen“ oder sich gar „über den Tisch gezogen“ fühlen will/darf),
- die Zuständigkeit für die Schnittstellen selbst, und
- die Eigentumsrechte in Extremfällen (z. B. Konkurse, Schließung).

— Neben den Kerninhalten des Wärmeliefervertrags gilt es auch Dienstbarkeitsverträge mit abzuschließen.

Die Vertragserstellung scheint mitunter langwierig zu sein (sinngemäß „Aufbereitung für interne Rechtsabteilung, weitere Aufbereitung durch diese, längerfristige Arbeit von externen Anwalt*innen“), es wird aber auch über sehr kurze Prozesse berichtet („drei bis vier effiziente Verhandlungsrunden, in Summe nicht mehr als ein Tag“, „offen gestaltet mit wenigen Verpflichtungen“). Es ist natürlich zu erwarten, dass die unterschiedlichen Ansichten auch die unterschiedlichen technischen Komplexitäten der Fälle widerspiegeln. Familiengeführte Industriebetriebe scheinen (auch hier) einfacher/schneller zu einem positiven Abschluss zu kommen als internationale Konzerne. Die Vertragserstellung ist aber generell,

nach dem Verständnis aus den Interviews zum Fragebogen, vom Ausgangsvertrauen geprägt, das die Partnerunternehmen schon bei der Initiative zusammengebracht hat.

Wirtschaftlichkeit: Finanzierung, Verrechnung

Geldflüsse finden im Grunde in zwei Situationen statt: Zuerst bei den Investitionen im Zuge der Implementierung des Projekts, meistens durch Ausgaben auf beiden Seiten der Kooperation an Technologieanbieter/Anlagenbauer; sowie später im Zuge des Betriebs, primär durch Zahlungen des die Abwärme nutzenden Fernwärmenetzbetreibers an die bereitstellende Industrie.

Fragestellungen zum Thema Finanzierung und zum Thema Verrechnung	n
Finanzierung/Investition: Wie wurde die Finanzierung verteilt? Wer hat welche Kostenbestandteile übernommen (Wärmerückgewinnung, Auskoppelung, Übergabe, Zubringer-Leitung, Speicher, Backup, Wärmepumpe)? Wer ist für was verantwortlich (Betrieb, Wartung)? Optional: Wie hoch war die Gesamtinvestition der beteiligten Partner*innen?	n=19
Verrechnung der Wärme: Wird nach kWh abgerechnet oder gibt es andere Preis-Bestandteile (einmalige Zahlungen, jahresweise z. B. für Verfügbarkeit, Sprünge bei höheren Einspeise-Leistungen)? Ist der Wärmepreis fix oder orientiert er sich an anderen Energiepreisen (Gas, Biomasse)? Sind Strafen bei Nichtverfügbarkeit/Nichteinspeisbarkeit vorgesehen? Gab es unterschiedliche Phasen der Verrechnung (z. B. am Anfang der Kooperation zugunsten der Investor*innen)? Optional: wie hoch ist der Preis aktuell?	n=18

Tabelle 17

Fragestellungen zum Thema Finanzierung und zum Thema Verrechnung der Wärme im Fragebogen.

Bei der Finanzierung bzw. dem Investment hat entweder der Fernwärmenetzbetreiber die gesamten Kosten zu übernehmen, oder es erfolgt eine Orientierung an einer vordefinierten Schnittstelle (Übergabestation/Wärmezähler), die in Folge auch für die Verrechnung relevant ist. Die n=18 Antworten wurden kategorisiert, wobei

nicht klare Ausführungen sowie Wiederholungen bei Unternehmen, die mehrere Implementierungen gleich beantworteten, ausgeschlossen wurden (n= 14). In einem Fall erfolgt auch ein Wärmebezug, wenn die Industrieanlage stillsteht und Büroräume zu heizen sind.

Kategorisierung, wie die Finanzierung verteilt wurde	n=14
Von Auskoppelung bis Schnittstelle: Investition des Industriebetriebs Von Schnittstelle (Übergabestation/Wärmezähler): Investition des Fernwärmenetzbetreibers Inklusive einer ähnlichen Konfiguration	7
Alle Kosten bis zur Fernwärmezentrale werden vom Industriebetrieb getragen	1
Gesamte Anlage von Fernwärmenetzbetreiber finanziert	5
Gesamte Anlage inklusive Leitungen vom vollversorgenden Industriebetrieb finanziert	1

Tabelle 18

Kategorisierung der Antworten auf die offene Frage, wie die Finanzierung verteilt wurde.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Als Investitionsobjekte werden genannt:

- Wärmerückgewinnungsanlage, Wärmetauscher
- betriebsinterne Leitungen bzw. Einbindung in das bestehende Dampf- und Heißwassersystem
- Wärmepumpe
- Speicher
- Backup-Kessel
- Einbindung in die Fernwärmeversorgungsanlage
- Wärmeverteilung, Fernwärmenetz

Die Antworten bezüglich der Verrechnung ergeben sehr eindeutig, dass im laufenden Betrieb quasi ausschließlich eine **Verrechnung nach kWh** erfolgt.

- Die Preise in Euro/kWh sind in den meisten Fällen vertraglich indexiert, wobei die Wahl des Index oder der Indices von der Gestaltung des Systems oder den verfügbaren Backups bzw. Alternativen abhängt. Genannt werden der Verbraucherpreisindex, energieträgerspezifische die Strom-, Gas-, Heizöl-, Energieholzindices. Genannt wird auch eine Orientierung am regulierten Endkundenpreis. Die Preise in Euro/kWh müssen theoretisch zumindest so hoch sein, dass sie auf Seiten des bereitstellenden Partners die CAPEX innerhalb der geforderten Amortisationszeit abdecken. Die Wahl dieser Variante wird maximal in einer der Implementierungen realisiert (in der Antwort nur angedeutet).

- In zwei Fällen gilt bis zur Amortisation des Projekts ein verminderter Wärmepreis, danach erfolgt einmal eine Orientierung an vorbestimmten Indices und einmal eine Teilung des Gewinns. Der Preis der Wärme ist auch an die Verteilung der Investitionen gekoppelt – liegen diese verstärkt bei einem Partnerunternehmen, erhöht/verringert sich der Wärmepreis. Ein vollversorgendes Unternehmen, bei dem die Investitionen und die Verantwortung für die Versorgung mit passend hohen Temperaturen liegen, erzielt einen wesentlich höheren Betrag pro abgegebener kWh als ein Industriebetrieb, der nichts investiert, keine Verantwortung hat und Niedertemperaturwärme bereitstellt. Quantifizieren lässt sich dies auf Basis der Fragebögen nicht, auf Basis der Interviews kann aber mit einem Faktor 10 zwischen den beiden Extremen gerechnet werden.
- In einigen Fällen, wo Abwärme auf unterschiedlichen Niveaus zur Verfügung steht, ist der Preis an die Wärmetemperatur gekoppelt.
- In vielen Fällen gibt es keine gegenseitigen Verpflichtungen – keine Mindestmenge, keine Abnahmeverpflichtung, keine Lieferverpflichtung. In manchen anderen Verträgen sind „Zielmengen“ definiert – zumindest einmal eher unverbindlich, zumindest einmal als Take-or-Pay.
- In einem Fall ist die Grundlastlieferung günstiger als die Lieferung auch höherer Leistungen. In einem anderen Fall ist der Verrechnungspreis je kWh bis zu einem Schwellwert konstant, darüberhinausgehende Mengen werden zu einem günstigeren Preis geliefert.

Andere theoretisch mögliche Preisbestandteile wie ein Fixkostenersatz, Bereitschaftsschädigung oder ähnliches werden nicht genannt oder in Interviews auch auf Rückfrage verneint. Teilweise fallen Mietbeträge für die Nutzung von Platz und/oder Räumlichkeiten am Werksgelände an, in denen Übergabestationen, Backup-Kessel oder Speicher untergebracht sind. Teilweise fallen auch Sonderbeträge für erforderliche Reparaturen/Wartungen an.

Insgesamt werden drei Preisangaben gemacht, natürlich immer spezifisch für bestimmte Situationen bzw. Systemkonfigurationen und (teils mehrere Jahre vergangene) Zeitpunkte. Dies sind zwei Mal 10 Euro/MWh und einmal 20 Euro/MWh. Diese sollen als erhobene Werte hier angeführt werden, auch wenn klar anzumerken ist, dass ihnen jede Generalisierbarkeit und jeder erforderliche Zusammenhang fehlt.

Wirtschaftlichkeit: Amortisation

Für die Amortisationszeit des Projekts, aus Sicht des Betriebs des Antwortenden, hat ein Betrieb für mehrere Projekte die gleiche Antwort gegeben – diese Antworten wurden als eine einzelne Antwort gewertet. Folglich liegen auf diese Frage n=8 bereinigte Antworten vor.

Amortisationszeit									Mittelwert	Median
Antworten, sortiert: [Jahre]	3	6	7–8	7–10	8–9	> 10	12–13	15	–	–
Interpretiert: [Jahre]	3	6	7,5	8,5	8,5	11	12,5	15	9	8,5

Tabelle 19

Antworten auf die offene Frage, welche Amortisationszeit des Projekts für das antwortende Unternehmen gegeben ist (n=10).

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Die Amortisationszeiten lassen nicht die Aussage zu, dass es sich bei der Einspeisung von Abwärme in Fernwärmenetze stets um hochlukrative Projekte handelt. Nur ein Projekt sticht mit einer geringen Amortisationszeit – im Rahmen der oftmals für industrielle Energieprojekte genannten drei Jahre – heraus. Der Mittelwert von 9 Jahren (bzw. der fast deckungsgleiche Median von 8,5 Jahren) spiegeln die gegebenen Antworten gut wider.

Aufschlussreich waren in diesem Zusammenhang eher die ergänzenden Hinweise aus den begleitenden Interviews. In einem Interview war davon die Rede, dass erfahrene Umsetzer*innen eine Amortisationszeit von 6–7 Jahren als üblich für umgesetzte/umsetzbare Projekte halten. Gleichzeitig spielen das Image, die Positionierung als nachhaltig oder das Commitment zur Region eine wesentliche Rolle, sodass auch höhere Amortisationszeiten akzeptiert werden – begleitet von im Verhältnis zum Gesamtumsatz bzw. im Verhältnis zu den gesamten Standortkosten kleinen Investitionen; auch Totalausfälle der Kooperation wären dadurch verkraftbar.

Umgang mit Risiken

Der gesamte vierte Block des Fragebogens beschäftigte sich mit Risiken und Unsicherheiten – ein zentrales Element der in der Literatur identifizierten Barrieren

für eine Abwärme-Kooperation zwischen einem Industriebetrieb und einem Fernwärmenetz. Die vier Fragen eruierten die beim wärmebereitstellenden Partnerunternehmen liegenden, die beim Wärme abnehmenden Partnerunternehmen liegenden und die allgemeinen (also extern gelagerten) Unsicherheiten und Risiken. Es wurde jeweils gefragt, welche Maßnahmen gegebenenfalls getroffen wurden bzw. wie die monetäre Bewertung (Einpreisung) dieser Risiken und Unsicherheiten vorgenommen wurde.

Die **allgemeinen, externen Risiken** und Unsicherheiten werden in 8 von n=12 Fällen (dabei wurde eine der 13 Antworten mangels Aussagekraft entfernt) als über den vertraglichen Preisindex abgesichert angegeben. 2 der 12 Fälle verweisen auf in Summe vernachlässigbare Risiken aufgrund geringer Wärmeliefmengen. Weitere 2 der 12 Fälle verweisen auf das bestehende bzw. das sehr langfristige Vertragswerk als Absicherung.

Auf die Frage nach den Risiken und Unsicherheiten auf Seiten des **Wärme bereitstellenden** Partnerunternehmens ergaben sich die nachfolgenden Antworten (n=14, mit mehreren Teilantworten). Alle Antworten beziehen sich auf die Fälle eines Ausfalls, Stillstands oder Produktionsstopps.

Risiken und Unsicherheiten auf Seiten des Wärme bereitstellenden Partnerunternehmens	n=14, mit Subantworten
Bewusste oder grundsätzlich mögliche Verlagerung der Produktion in die Wintermonate.	2
Backup-Anlagen (nur für die Fernwärme) sichern gegen ungeplante Ausfälle, geplante Stillstände und auch im Fall eines Produktionsstopps ab.	3
Alternativ sichern Möglichkeiten zum Erwerb oder zur Nutzung von Anlagen den Fall eines längerfristigen Produktionsstopps ab.	2
Andere Abwärme- oder Wärmequellen oder alte, im Standby befindliche Anlagen des Industriebetriebs stehen beim Ausfall der einen Abwärmequelle zur Verfügung (zeitlich von spontan bis zu nach Umrüstung).	4
Andere Abwärme- oder Wärmequellen anderer Betriebe stehen zur Verfügung.	1
Größere Investitionen und gegebene Rohstoffverfügbarkeit im Industriebetrieb bestätigen, dass dieser am Standort bleiben wird – dies kann als Risikominderung gesehen werden.	3
Übertragung der Pflichten auf den Rechtsnachfolger.	1
Keine Lieferverpflichtung bei höherer Gewalt.	1
Wenn Vereinbarungen nicht eingehalten werden können, sind Nachverhandlungen ein Ausweg.	1

Tabelle 20

Risiken und Unsicherheiten auf Seite des Wärme bereitstellenden Partnerunternehmens.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Auf die Frage nach den Risiken und Unsicherheiten auf Seiten des **Wärme abnehmenden** Partnerunternehmens ergaben sich die nachfolgenden Antworten (n=9).

Risiken und Unsicherheiten auf Seiten des Wärme abnehmenden Partnerunternehmens	n=9, mit Subantworten
Technisch kein Problem – Verwertung oder Wegkühlen möglich	3
Ausfall von Großabnehmern des Fernwärmenetzbetreibers – Maßnahme: Diversifizierung durch den Fernwärmenetzbetreiber	2
Fernwärmenetzbetreiber nimmt zu wenig Wärme ab oder Ausstieg aus Vertrag – Maßnahmen: aliquote Abgeltung der Investition, Take-or-Pay-Verpflichtung	2
Fernwärmenetzbetreiber nimmt zu wenig Wärme ab für Amortisation der Investition – Maßnahme: langfristige Verträge des Fernwärmenetzbetreibers mit seinen Kund*innen als Absicherung gegen deren Heizsystem-Alternativen	1
Übertragung der Pflichten auf den Rechtsnachfolger.	1
Keine Abnahmeverpflichtung bei höherer Gewalt	1
(Drastische) Veränderungen bei der Heizenergiemenge sind kein Risiko-Thema	1
„Keine“	1

Tabelle 21

Risiken und Unsicherheiten auf Seiten des Wärme abnehmenden Partnerunternehmens.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Auf die Frage, wie die **monetäre Bewertung (Einpreisung)** dieser Risiken und Unsicherheiten vorgenommen wurde ergaben sich die nachfolgenden Antworten (n=9).

Es zeigt sich, dass sich Antworten auf die zuvor gestellten Fragen hier wiederholen.

Monetäre Bewertung (Einpreisung) der Risiken und Unsicherheiten	n=9, mit Subantworten
Gleichverteilung der Amortisation auf Partner*innen	1
Neuerrichtung (Industriebetrieb- oder Fernwärmenetzseitig) als Commitment	2
Technisch sichere Ausführung, Redundanzen	1
Restwertklausel zu getätigten (Re-)Investitionen bei vorzeitiger Vertragsauflösung	2
Allgemein: erkannte Risiken führen zu Vertragsinhalten	2
Teilweise Abdeckung durch Versicherung	1
Keine Einpreisung wegen ausreichend kurzer Amortisationszeit	1
Keine	1

Tabelle 22

Monetäre Bewertung (Einpreisung) der Risiken und Unsicherheiten.

Quelle: Auswertung der Fragebogen-Rückmeldungen.

Die Absicherung geschieht primär mittels Backup-Systemen oder über Redundanzen beim Industriebetrieb. Andere Risiken und Unsicherheiten führen direkt zu Vertragsbestimmungen. Dies umfasst Preisbestimmungen, Vorkaufsrechte, Entschädigungen, etc. Versicherungen werden zur Absicherung nur am Rande erwähnt (in allen Fragebögen nur ein Mal).

Geschäfts- und Finanzierungsmodelle

Akteure und Interessen

Im Folgenden werden auf Basis der klassischen Rolle von Akteur*innen ökonomisch-theoretisch fundierte Annahmen getroffen, welche Interessen bzw. Nicht-Interessen bei den Unternehmen gegeben sind. Diese wurden in Kooperation mit dem Projekt Heat Highway (FFG-Nummer 880797) und den dortigen Praxisbeispielen ausgearbeitet.

Allen Partner*innen wird das Interesse unterstellt, durch Umsetzung des Projekts eine wirtschaftliche Besserstellung erreichen zu müssen. Es wird unterstellt, dass eine reine Nicht-Schlechterstellung aufgrund verbundener Geschäftsrisiken und administrativer Aufwände nicht zur Indifferenz führt.

Produzierende Unternehmen mit Abwärmepotenzialen:

- Kein Interesse am Betrieb der Leitung
- Kein Interesse an der Bereitstellung des Backups
- Interesse an geringen Amortisationszeiten
- Interesse an indirekten Nutzen (Abwärme-Entsorgung)

Fernwärme-Unternehmen:

- Interesse an maximal gleichen Kosten der Energiebereitstellung
- Interesse an indirekten Nutzen (Beitrag zur Verminderung der Emissionen)
- Interesse an unternehmerischen Gewinn durch Betrieb der Leitung, unter Beachtung/Vergütung der unternehmerischen Risiken

Wert- und Geldströme

Ein Projekt muss zunächst aus beiderseitiger Sicht rentabel sein und die Gewinne dann so umverteilt werden müssen, dass jede*r Partner*in bessergestellt ist. Folglich kann dies als ein fiktives gemeinsames Projekt-konto dargestellt werden, auf das alle Einnahmen (und vermiedenen Ausgaben) eingezahlt und alle Ausgaben abgezogen werden. Die Einnahmen stammen fast ausschließlich aus dem Fernwärme-Unternehmen, das vor allem Brennstoffkosten einspart. Darüber hinaus

können staatliche Investitionszuschüsse gewährt werden. Zu den Aufwendungen gehören (i) Anfangsinvestition, (ii) Betriebs- und Wartungskosten und (iii) Vergütung für die alternative Nutzung der Wärme (nur wenn zutreffend, z. B. entgangene Einnahmen aus der Stromerzeugung). Nach Berücksichtigung aller Einnahmen und Ausgaben muss ein Gewinn im Sinne einer wirtschaftlichen Umsetzung vorliegen, der zwischen den Partner*innen aufgeteilt wird.

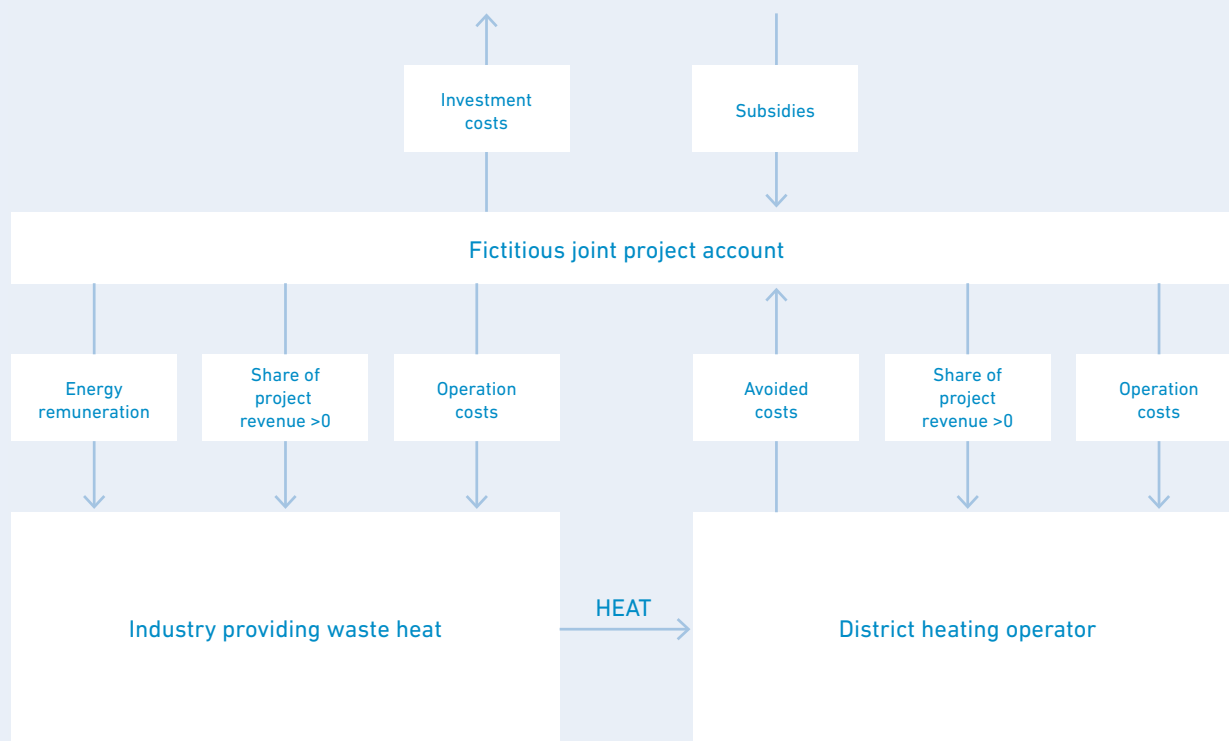


Abbildung 33

Wert- und Geldströme einer Kooperation zwischen Industrie und Fernwärmenetzbetreiber, basierend auf den Umfrageergebnissen.

Generische Kosten-Nutzen-Analyse

Die generische Kosten-Nutzen-Analyse ist im Wesentlichen eine betriebswirtschaftliche Analyse für einen Standardfall mit einer normierten Einspeisemenge. Die generische Kosten-Nutzen-Analyse soll die Basis für die nachfolgende makroökonomische Simulation darstellen.

Annahmen und Inputdaten

Die generische Kosten-Nutzen-Analyse betrachtet den Fall der Einspeisung industrieller Abwärme in ein Fernwärmenetz. Dazu werden folgende Annahmen getroffen:

- **Die Bezugsgröße ist eine Einspeisung von 1 GWh Wärme pro Jahr.**
 - Die Abwärme wird über einen Wärmetauscher zurückgewonnen und ist auf diesem Temperaturniveau nutzbar.
 - Es erfolgt kein zusätzlicher Energieeinsatz, d. h. keine Aufbereitung mittels Wärmepumpe oder „Nachheizen“. Pumpkosten etc. werden vernachlässigt.
 - Auch weitere laufende Industriebetriebsinterne Kosten werden vernachlässigt.
 - Das Fernwärmenetz und dessen Kund*innen werden als bereits gegeben angenommen.
 - Damit umfasst die Investition die Komponenten von der Auskoppelung bis zur Integration in das bestehende Fernwärmenetz.
 - Damit besteht eine bisherige Hauptquelle der Wärmeenergie (Heizwerk). Diese Hauptquelle besteht weiterhin und kann als Backup genutzt werden.
 - Komponenten der Investition umfassen
 - Wärmerückgewinnungsanlage/Wärmetauscher
 - Betriebsinterne Leitungen
 - Leitungen zum Fernwärmenetz und Übergabestation
 - Eine öffentliche Förderung der Investitionskosten in Höhe von 30% wird angenommen.
 - Wärmelieferungs-Risiken und Unsicherheiten werden monetär nicht beachtet bzw. in Übereinstimmung mit den Fragebogenergebnissen als durch den Liefervertrag und das bestehende Backup abgesichert angenommen.
- Vorlaufkosten der Analyse der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit, der Vertragserrichtung und -verhandlungen werden nicht beachtet. Diese Kosten würden auch anfallen, wenn die finale Investitionsentscheidung eine negative ist.
 - Der gemeinsame Vorteil der Partnerschaft liegt in der Vermeidung der variablen Kosten des Energie- bzw. Brennstoffeinsatzes im bisherigen Heizwerk (vgl. Moser et al. 2020). Es werden Kosten des Energie- bzw. Brennstoffeinsatzes im bisherigen Heizwerk in drei Szenarien angenommen. Diese Kosten umfassen alle Komponenten (Energie, Netz/Transport, Steuern/Abgaben).
 - Erdgas, Preisszenario „2019“: 30 Euro/MWh – dieser Preis war bei vielen der Implementierungen zum Zeitpunkt der Entscheidung gegeben (damit Hauptszenario).
 - Erdgas, Preisszenario „hoch“: 100 Euro/MWh
 - Biomasse: 50 Euro/MWh
 - Nicht in den Szenarien enthalten ist der Ersatz von Wärme aus Heizkraftwerken (KWK) durch Abwärme: der Einfluss der Strompreise auf die Nettowärmepreise (vgl. Moser et al. 2020) stellt eine hohe Komplexität für eine nur generische Berechnung dar. Es müsste auf Basis der viertelstündlichen Strommarktpreise beachtet werden, ob es sich um einen wärme- oder einen stromgeführten Betrieb handelt und welche Residualkosten verbleiben. Außerdem müssten für die nachfolgende makroökonomische Analyse des Weiteren eine Vielzahl komplexer Annahmen zu Stromimporten und exporten getroffen werden.
 - Energiepreise unterliegen generell Schwankungen und werden daher als im gesamten Betrachtungszeitraum konstant angenommen.

- Die thermischen Wirkungsgrade werden mit 90% (Erdgas-Boiler, basierend unterer Heizwert)⁵² und 69.9% (KWK mit Holzpellets, basierend unterer Heizwert)⁵³ angenommen.
- Der geforderte Zinssatz beträgt 6% (Praxisaussage aus einem Vorprojekt übernommen).
- Die geforderte Amortisationszeit wird in Übereinstimmung mit den Fragebogenergebnissen abgeleitet, wobei aufgrund der Heterogenität drei Zeiten festgelegt werden. Ebenfalls in Übereinstimmung mit den Fragebogenergebnissen wird angenommen, dass die Amortisationszeit der Investitionen des Industriebetriebs gleich jener des Gesamtprojekts ist.
 - Amortisationszeit: 6 Jahre – aus den Interviews zum Fragebogen abgeleitet als ein kürzerer Zeitraum als der Durchschnitt, in dem jene Projekte durchgeführt werden, bei denen die Wirtschaftlichkeit treibender Faktor ist.
 - Amortisationszeit: 9 Jahre – Mittelwert laut Fragebogen, damit Hauptszenario.
 - Amortisationszeit: 12 Jahre – aus den Interviews zum Fragebogen abgeleitet als ein durchschnittlicher längerer Zeitraum, in dem auch Projekte durchgeführt werden, die stark unter den Zielen Nachhaltigkeit und Image/Marketing realisiert werden.

Maximale Investitionskosten

Die aus den Annahmen abgeleiteten Szenarien werden in der nachstehenden Tabelle 23 nochmals zusammengefasst.

	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „2019“	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „hoch“	Preisannahme Abwärme ersetzt „Biomasse“
Amortisationszeitannahme 6 Jahre Payback	#1 Gas19-6J	#2 Gas22-6J	#3 Bio-6J
Amortisationszeitannahme 9 Jahre Payback	#4 Hauptszenario Gas19-9J	#5 Gas22-9J	#6 Bio-9J
Amortisationszeitannahme 12 Jahre Payback	#7 Gas19-12J	#8 Gas22-12J	#9 Bio-12J

Tabelle 23

Nummerierung/Akronyme der Szenarien, abgeleitet aus den Ergebnissen des Fragebogens, inklusive dem Hauptszenario mit Erdgaspreisen aus dem Jahr 2019 und 9 Jahren Amortisationszeit.

⁵² Siehe Kap. 3.1 NG boiler (S.25) in Giuntoli, J.; Agostini, A.; Edwards, R.; Marelli, L. (2017) Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767. Version 2. JRC Science for Policy Report. doi:10.2790/27486

⁵³ Siehe Kap. 3.4 Wood pellet CHP based on ORC technology (S.33) in Giuntoli, J.; Agostini, A.; Edwards, R.; Marelli, L. (2017) Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767. Version 2. JRC Science for Policy Report. doi:10.2790/27486

Die Investitionskosten sind nur bei wenigen der bisherigen Implementierungen bekannt; in den bekannten Fällen kann oftmals nicht abgeleitet werden, wie die Kosten zuordenbar sind (zum Beispiel weitere Kosten im Netz,

weitere Kosten im Industriebetrieb, etc.) (Moser und Lassacher 2020). Daher werden die Kosten über die eingesparten Energiemengen und Amortisationszeiten rückgerechnet (siehe zur Methode Moser et al. 2020).

$$NPV = \sum_{t=1 \dots A} \left(\frac{\text{Energiemenge [MWh]} * \text{Bezugspreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right]}{\text{Wirkungsgrad}} * \frac{1}{(1 + \text{Zinssatz})^t} \right) | A \dots \text{Amortisationszeit}$$

Ziel dieser Rückrechnung ist die Bestimmung der maximalen Investitionskosten angesichts bestimmter geforderter Amortisationszeiten. Ziel ist nicht die

Bestimmung des wirtschaftlichen Gewinns, der per se nach der Amortisation vorliegt und sich mit jedem Jahr der Nutzung erhöht.

	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „2019“	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „hoch“	Preisannahme Abwärme ersetzt „Biomasse“
Bezugspreis gesamt	30 Euro/MWh	100 Euro/MWh	50 Euro/MWh
Wirkungsgrad thermisch	0,9	0,9	0,699
Variable Wärmekosten	33 Euro/MWh	111 Euro/MWh	72 Euro/MWh
Eingesparte Kosten pro Jahr	33.333 Euro/a	111.111 Euro/a	71.531 Euro/a
Amortisationszeitannahme 6 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	163.911 Euro	546.369 Euro	351.740 Euro
Amortisationszeitannahme 9 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	226.723 Euro	755.744 Euro	486.530 Euro
Amortisationszeitannahme 12 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	279.461 Euro	931.538 Euro	599.703 Euro

Tabelle 24

Für eine angenommene eingespeiste Abwärme-Jahresmenge von 1 GWh finden sich in dieser Tabelle die Ergebnisse für die Investitionskosten des Unternehmens nach Szenarien ohne Förderung, abgeleitet aus den Ergebnissen des Fragebogens.

Des Weiteren sind (unter vereinfachter Annahme) 30% Förderung auf die Gesamtinvestition anzusetzen. Aus deren Anwendung leitet sich ab, dass die Investitionskosten des Unternehmens 70% der gesamten

Investitionssumme sind. Die Ergebnisse der Hochrechnung auf die gesamten Investitionskosten sind in der nachfolgenden Tabelle 25 aufgeführt.

	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „2019“	Preisannahme Abwärme ersetzt Erdgas „hoch“	Preisannahme Abwärme ersetzt „Biomasse“
Amortisationszeitannahme 6 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	234.159 Euro	780.527 Euro	502.486 Euro
Amortisationszeitannahme 9 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	323.890 Euro	1.079.634 Euro	695.043 Euro
Amortisationszeitannahme 12 Jahre – Abgezinst Investitionssumme	399.230 Euro	1.330.769 Euro	856.719 Euro

Tabelle 25

Für eine angenommene eingespeiste Abwärme-Jahresmenge von 1 GWh finden sich in dieser Tabelle die Ergebnisse für die **Investitionskosten des Unternehmens nach Szenarien ohne Förderung**, abgeleitet aus den Ergebnissen des Fragebogens.

Volkswirtschaftlicher Mehrwert

Zur Bestimmung der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der Nutzung von industrieller Abwärme wurde das Simulationsmodell MOVE2⁵⁴ angewandt. Dabei handelt es sich um ein makroökonomisches Instrument zum Impact Assessment von Maßnahmen der Energie- und Klimapolitik für die österreichische Ebene. Ein wesentlicher Vorteil stellt die Darstellung der Verbindungen zwischen Wirtschaft und Energie (Produktion und Verbrauch) dar. Konkret wird der makroökonomische Beitrag anhand von zusätzlichem Bruttoinlandsprodukt, Konsum (der privaten Haushalte), Investitionen (der Unternehmen), Nettoexporten (Exporte – Importe) und zusätzlichen Beschäftigten durch die Nutzung industrieller Abwärme quantifiziert. Im Gegensatz zur Analyse der Geschäfts- und Finanzierungsmodelle steht im Folgenden nicht die Mikroebene (Endverbraucher, Unternehmen) im Mittelpunkt, sondern die gesamte Volkswirtschaft Österreichs.

Das Simulationsmodell wird im nachfolgenden Unterkapitel näher beschrieben. Darauf folgend wird das Design der vorgenommenen Simulationen erläutert und die Simulationsergebnisse anschließend dargestellt und zusammengefasst.

Makroökonomisches Simulationsmodell MOVE2

Das Simulationstool ist als makroökonomisches Modell konzipiert, welches zusätzlich zur Modellierung ökonomischer Aktivitäten verschiedener Sektoren (z. B. Investitionen, Wertschöpfung, Beschäftigung) die Energieflüsse von unterschiedlichen Energieträgern genauestens beleuchtet. Das Modell MOVE2⁵⁵ sowie das Vorgängermodell MOVE⁵⁶ wurden bereits in zahlreichen Untersuchungen zur Beantwortung energie- und umweltökonomischer Fragestellungen auf regionaler und nationaler Ebene genutzt. Im Jahr 2013 erfolgten ein Update der Datenbasis des Modells sowie eine dadurch notwendige

⁵⁴ Baresch et al., 2014a

⁵⁵ Baresch et al., 2014a

⁵⁶ Tichler, 2009

Anpassung der Gleichungsstrukturen. In Folge der Entwicklung des Zusatzmoduls MOVE2social wurden sozioökonomische Parameter integriert.⁵⁷ Für eine detaillierte Übersicht hinsichtlich Modelleckdaten, Module und Einsatz der Modelle sei auf Tichler (2009) und Baresch et al. (2014a, 2014b) verwiesen.

Grundsätzlich werden in diesen makroökonomischen Modellen beobachtbare ökonomische Zusammenhänge mithilfe ökonometrischer Verfahren in spezifischen strukturellen Gleichungssystemen abgebildet. Sämtliche endogene Variablen werden durch stochastische Gleichungen erklärt, sodass durch dieses Gleichungssystem die makroökonomischen Interdependenzen modelliert werden können. Die ökonomischen Zusammenhänge werden mithilfe von Zeitreihen erfasst, sodass das Modell die ökonomischen Strukturen der Vergangenheit zur Simulation bestimmter Veränderungen heranzieht. Die spezifizierten Theorie-basierten Gleichungen werden mithilfe ökonometrischer Verfahren geschätzt und in die Modellstruktur implementiert. Neben den stochastischen Gleichungen besteht die Modellstruktur auch aus Identitätsgleichungen, die das Modell zusätzlich spezifizieren.

Die Simulation mit dem Modell MOVE2 umfasst die Berechnung von zwei verschiedenen Pfaden, auf denen sich die Volkswirtschaft befindet. Der erste Entwicklungspfad errechnet die zukünftige Entwicklung der im Modell endogenen Variablen (unter einer bestimmten Definition der zukünftigen Entwicklung der exogenen Variablen), ohne Eingriff in bestimmte Parameter des Modells. Dieser Entwicklungspfad kann als business-as-usual-Szenario bezeichnet werden. Der zweite Entwicklungspfad, das Simulationsszenario, errechnet die zukünftige Entwick-

lung aller endogenen Variablen bei Veränderung eines bestimmten Parameters (endogen oder exogen) durch den Anwender des Simulationsmodells. Demnach sind die Ergebnisse als zusätzliche Effekte, welche ohne die Nutzung industrieller Abwärme nicht stattgefunden hätten, zu interpretieren.

Das Modell orientiert sich am Endverwendungsprinzip der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, sodass gesamtwirtschaftliche Entwicklungen zum Zeitpunkt t durch Änderungen des Bruttoinlandsprodukts (ΔGDP) bzw. der Summe von Investitionen (ΔI), Konsum (ΔC), Staatsausgaben (ΔG) und Nettoexporte (=Exporte minus Importe) (ΔNX) gebildet werden:

$$\Delta GDP_t = \Delta I_t + \Delta C_t + \Delta G_t + \Delta NX_t$$

Durch die Verwendungsrechnung wird in erster Linie deutlich, wie eine Volkswirtschaft das von ihr generierte Kapital einsetzt. Unter privatem Konsum sind alle Ausgaben für kurz- und langfristige Anschaffungen erfasst, die private Haushalte in einer Periode tätigen. Eine Investition erfasst, wenn ein bestimmtes Gut über einen langfristigen Zeitraum und zum Zwecke der Produktion bzw. Leistungserstellung verwendet wird. Nettoexporte ergeben sich durch Exporte und Importe, wobei der Wert der eingeführten Güter von denen der exportierten Güter abgezogen wird. Staatsausgaben umfassen Konsum und Investitionen der öffentlichen Hand.

Diese Parameter werden durch sektorale ökonomische Aktivitäten bestimmt. Dabei erfasst das Simulationsmodell die Sektoren Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Sachgütererzeugung, Energie- und Wasserversorgung, Bauwesen, Handel und Reparatur von Kraftfahrzeugen und Gebrauchsgütern, Beherbergungs- und Gaststättenwesen, Verkehr und Nachrichtenübermittlung, Kredit-

und Versicherungswesen, Realitätenwesen und Unternehmensdienstleistungen, Öffentliche Verwaltung und sonstige Dienstleistungen der österreichischen Wirtschaft. Für jeden dieser Sektoren wurden Gleichungssysteme zu Investitionen, Wertschöpfung, Beschäftigung und Löhnen auf Basis statistischer Jahresdaten geschätzt und miteinander verbunden. Private Haushalte bzw. deren Konsum werden ebenfalls als Sektor im Modell betrachtet. Zusätzlich zu den wirtschaftlichen Aktivitäten werden auf sektoraler Ebene Verbräuche für verschiedene Energieträger betrachtet, sodass die Interaktion von Wirtschaft und Energie erfasst wird. Durch die Verknüpfung von Energieverbrauch mit spezifischen Emissionsfaktoren können zudem Treibhausgasemissionen quantifiziert werden. Die nachfolgende Abbildung 34 gibt einen Überblick über die verschiedenen Module von MOVE2 bzw. MOVE2social.

Anhand der Simulationsanalysen werden die Effekte (Aggregation von direkten, indirekten und induzierten Effekten) auf das Bruttoinlandsprodukt und die Beschäftigung dargestellt. „Direkte Wertschöpfungs- bzw. Beschäftigungseffekte“ umfassen jenen Wert an Bruttowertschöpfung bzw. Beschäftigung, der direkt durch die Produktion, Errichtung und Planung beim Ausbau industrieller Abwärmenutzung erwirtschaftet bzw. an Beschäftigung generiert wird. Aus den Zulieferbeziehungen bzw. Vorleistungsverflechtungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette leiten sich „indirekte Wertschöpfungs- bzw. Beschäftigungseffekte“ ab. Die im direkten und indirekten Effekt generierten Arbeitsplätze produzieren zusätzliches Einkommen, welches einen höheren Konsum von Gütern und Dienstleistungen (in Abhängigkeit von der Sparquote) stimuliert. Diese zusätzlichen Konsum- und Investitionsausgaben und daraus resultierende Beschäftigungseffekte werden unter „induzierten Effekten“ erfasst.

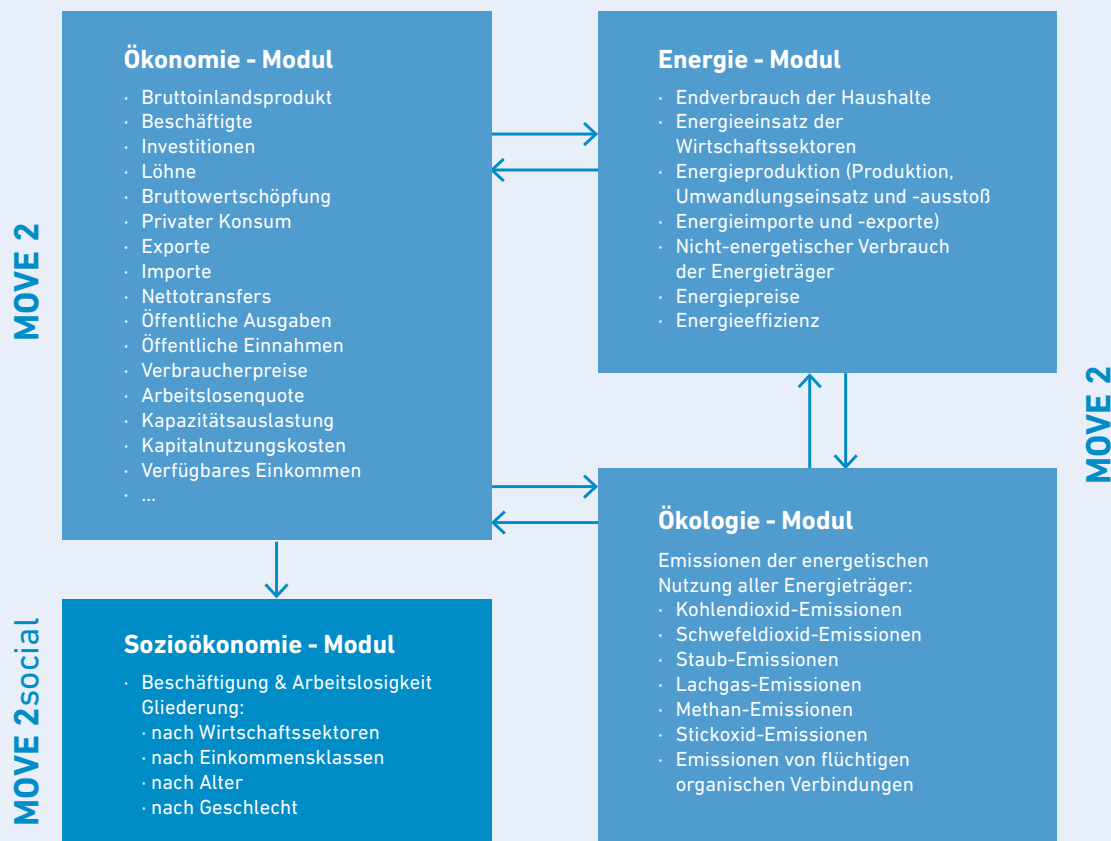


Abbildung 34

Modularer Aufbau der Simulationsmodelle MOVE2/MOVE2social.⁵⁸

Simulationsdesign: Szenariendefinition, Inputdaten und Annahmen

Das Ziel der Simulationsanalysen ist es, den gesamtwirtschaftlichen Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme pro GWh darzustellen. Dies impliziert, dass die als Input verwendeten Investitionsmengen je nach Szenario auf 1 GWh skaliert wurden. Ausgehend von der generischen Kosten-Nutzen-Analyse ergeben sich verschiedene Szenarien mit spezifischen Investitionsvolumina und Energiepreisen. Diese Investitionskosten der 9 Szenarien

(siehe Tabelle 25 wurden dafür basierend auf Kostendaten (Februar 2020) für eine großtechnische Abwärmeauskopplung (siehe Vorprojekt Gmunden High Temperature Link⁵⁹) sowie der Methode nach Chilton und Lang (siehe Peters et al., 2002) auf die verschiedenen Kostenfaktoren (Abwärmeauskopplung, Leitungen, technische Planung, Bauarbeiten und dergleichen) aufgeteilt.

⁵⁸ Quellen: Baresch et al. (2014a, 2014b)

⁵⁹ energieinstitut-linz.at/portfolio-item/gmunden-high-temperature-link

Den Simulationen liegt folgender Ablauf zugrunde (siehe Abbildung 35): Die notwendigen Investitionen (Installation der Technologien sowie Konstruktion der Infrastruktur) werden im ersten Jahr ($t=0$ bzw. 2024)

wirksam. Der Betrieb bzw. die Nutzung der industriellen Abwärme erfolgt ab dem zweiten Jahr ($t=1, \dots, 9$ bzw. 2025–2033).

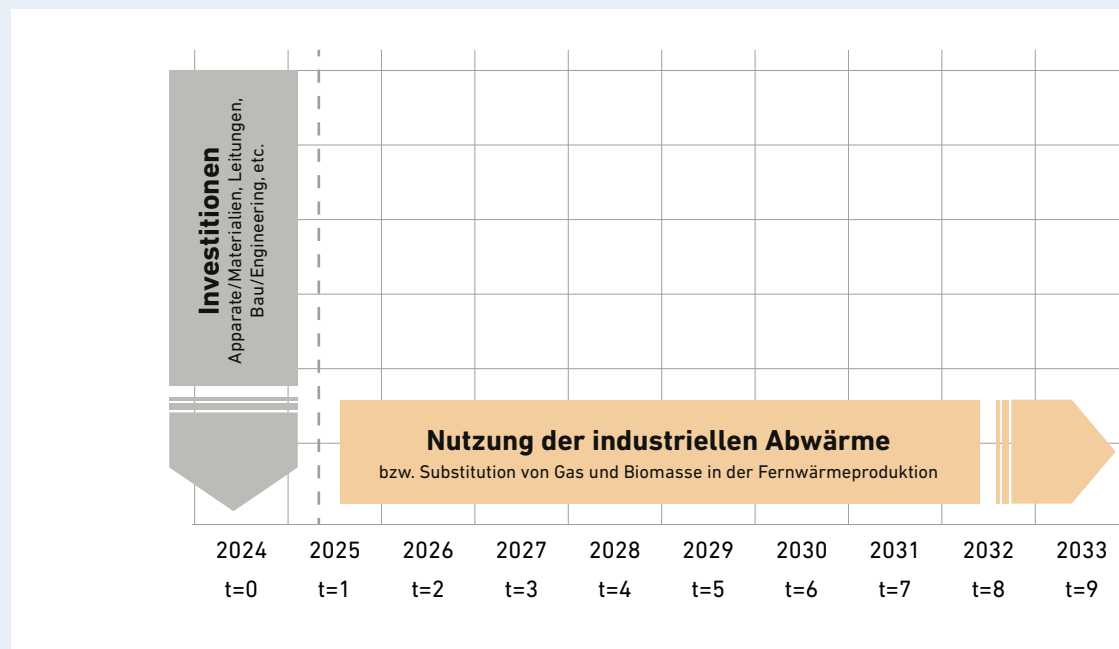


Abbildung 35
Ablauf innerhalb der Simulationsanalysen

Zudem wurden für die ex-ante-Simulationsanalysen der gesamtwirtschaftlichen Effekte in Österreich durch die Nutzung von industrieller Abwärme folgende Annahmen getroffen:

1. Business-as-usual-Szenario:

Im Business-as-usual-Szenario, welches der Simulation der zusätzlichen gesamtwirtschaftlichen Effekte infolge der industriellen Abwärmenutzung zugrunde liegt, wird vom Einsatz von Gas bzw. Biomasse zur Fernwärmeproduktion ausgegangen.

2. Simulationshorizont:

Die Zeitpunkte der Investitionen und der Inbetriebnahme der betrachteten Technologien sind ausschlaggebend für die Simulationsergebnisse bzw. den Verlauf (siehe Abbildung 35). Basierend auf den vorhandenen Inputdaten für die dynamische Analyse wird die volkswirtschaftliche Bedeutung innerhalb des Zeitraums 2024 bis 2033 dargestellt.

3. Geografischer Bezug:

In den Simulationen wird die volkswirtschaftliche Relevanz der Nutzung von industrieller Abwärme verschiedener Szenarien für Österreich analysiert. Eine Disaggregation auf Bundesländer-Ebene wird nicht vorgenommen.

4. Investitionswirksamkeit:

Die notwendigen Investitionen in Anlage- und Technologiekomponenten zur Nutzung der Abwärme seitens der Industrie werden in den Sektoren Sachgütererzeugung, Bau und Realitäten- und Unternehmensdienstleistungen wirksam.

5. Wertschöpfungsanteile:

Bzgl. der Investitionen in Anlage- und Technologiekomponenten wird eine Importquote von 30% angenommen.⁶⁰ Das heißt, es entstehen keine nachgelagerten positiven volkswirtschaftlichen Effekte für Österreich durch 30% der Investitionen. Für die notwendigen Investitionen durch Baumaßnahmen und Dienstleistungen wird ein heimischer Wertschöpfungsanteil von 100% angenommen. Bzgl. der durch Abwärme substituierten Energieträger Gas und Biomasse, wird angenommen, dass Gas zu 100% aus dem Ausland bezogen wird bzw. Biomasse zu 100% heimisch zur Verfügung gestellt wird. Somit erhöhen sich im Falle der Substitution von Gasimporten durch Abwärme die energetischen Nettoexporte (= Exporte – Importe).

6. Energiepreise:

Im Hinblick auf Gas, welches per Annahme zu 100% aus dem Ausland importiert wird (siehe Annahme 5.), und Biomasse wurde von den im Unterkapitel „Generische Kosten-Nutzen-Analyse“ analysierten Großhandelspreisen ausgegangen.

7. CO₂-Bepreisung:

Es wurde davon ausgegangen, dass die betrachteten Fernwärmeerzeugungsanlagen nicht dem EU-Emissionshandelssystem unterliegen, sondern der ab Herbst 2022 eintretenden heimischen CO₂-Bepreisung. Diese sieht für 2024 einen CO₂-Preis von 45 €/tCO₂ und für 2025 einen CO₂-Preis von 55 €/tCO₂ vor. Aufgrund nicht vorliegender Daten für mögliche Preisniveaus ab 2026 wird mit einem konstanten CO₂-Preis von 55 €/tCO₂ ab 2025 im Simulationszeitraum ausgegangen.

8. Skalierung auf 1 GWh und Szenarienüberblick:

Die Analysen beziehen sich auf die Investitionen zur Auskopplung industrieller Abwärme von 1 GWh/a. Es werden dabei drei Szenarien mit unterschiedlicher Bandbreite der Investitionskosten (siehe Abbildung 36) betrachtet, die Bandbreite der Investitionskosten ist durch die auf der Fragebogenauswertung im Unterkapitel „Wirtschaftlichkeit: Amortisation“ aufbauende Klassifizierung *Minimum* (geringe Amortisationszeit von 6 Jahren), *Medium* (durchschnittliche Amortisationszeit von 9 Jahren) und *Maximum* (lange Amortisationszeit von 12 Jahren) gekennzeichnet:

- Szenario 1: „Abwärme ersetzt Erdgas 2019“ – Gaspreis von 30 €/MWh
- Szenario 2: „Abwärme ersetzt Erdgas Hoch“ – Gaspreis von 100 €/MWh
- Szenario 3: „Abwärme ersetzt Biomasse“ – Biomassepreis von 50 €/MWh

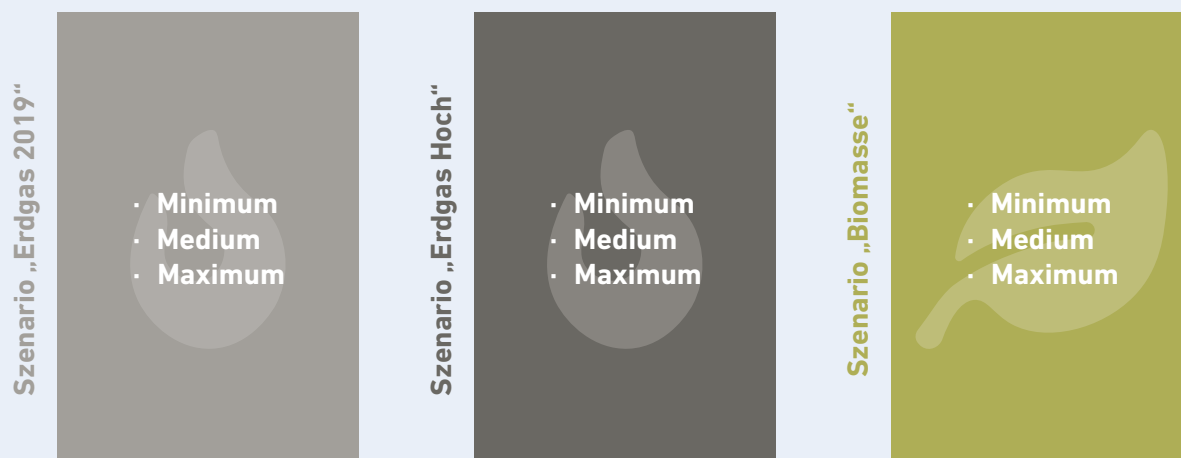


Abbildung 36

Szenarien der makroökonomischen Simulationsanalysen

Ergebnisse der ex-ante Simulationsanalysen

Die nachfolgend dargestellten Simulationsergebnisse für Österreich zeigen, dass durch die Nutzung industrieller Abwärme ein positiver volkswirtschaftlicher Mehrwert in Form eines Wachstums des BIP sowie einer zusätzlichen Beschäftigung geschaffen werden kann.

Grundlage dieser Entwicklungen sind anfangs (hier: 2024) Investitionen zur Installation bzw. Errichtung der Abwärmenutzungsanlagen und -leitungen, welche zu Impulsen in weiteren Sektoren führen. Von diesen getätigten Investitionen werden Folgerunden- bzw. Multiplikatoreffekte induziert, da jedes Unternehmen für die Herstellung seiner Produkte bzw. Dienstleistungen Inputs bzw. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe aus anderen

Wirtschaftssektoren benötigt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die verwendeten Materialien bzw. ebenfalls die Vorleistungen auch teilweise aus dem Ausland bezogen werden, sodass Wertschöpfungsabflüsse entstehen. Innerhalb der Betriebsphase (hier: 2025–2033) ergeben sich in den Szenarien 1 und 2 („Erdgas 2019“/„Erdgas Hoch“) zudem positive Effekte auf die (energetische) Leistungsbilanz durch die Substitution von Gasimporten aus dem Ausland. Durch das ausgelöste Wirtschaftswachstum und daraus resultierende Beschäftigungseffekte ergibt sich ein höheres Einkommen, welche wiederum zu Konsum- und Investitionsausgaben führt. Abbildung 37 beschreibt diese direkten Effekte und Folgewirkungen schematisch in einem Diagramm.

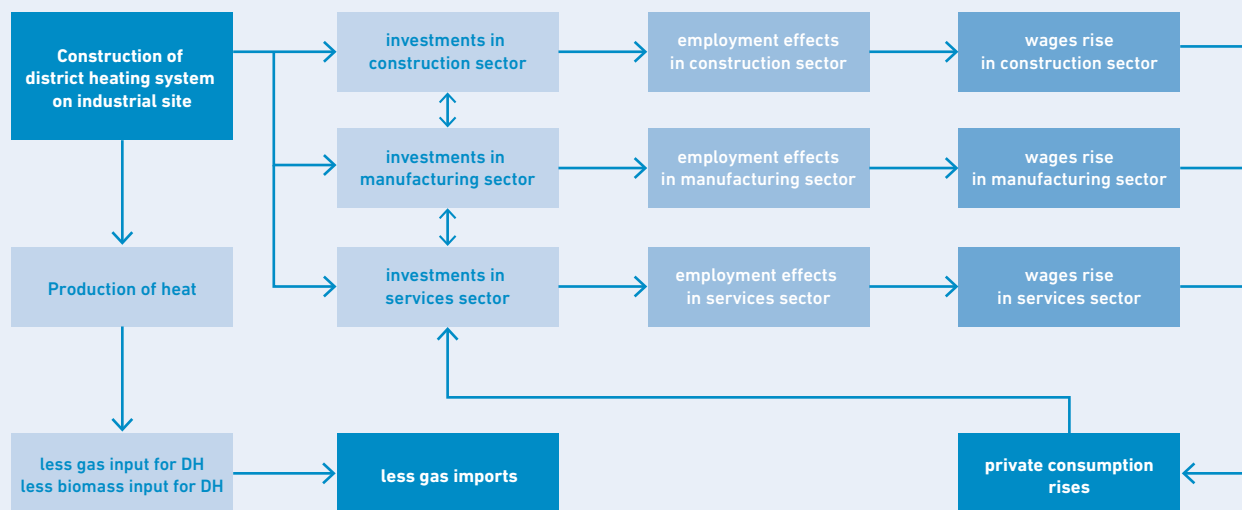


Abbildung 37
Entstehung des volkswirtschaftlichen
Mehrwertes – schematische Darstellung

Die Ergebnisse der makroökonomischen Simulationen sind detailliert in Tabelle 26 dargestellt.

Abbildung 38 und Abbildung 39 verdeutlichen den zeitlichen Verlauf der volkswirtschaftlichen Entwicklungen je nach Szenario, wobei in Abbildung 40 und Abbildung 41 die durchschnittlichen Effekte unter Berücksichtigung verschiedener Investitionsmengen zur Implementierung der Abwärmenutzungsanlagen und -leitungen je nach Szenario grafisch aufbereitet und dargestellt werden.

Durch die Betrachtung der verschiedenen Sensitivitäten bei den notwendigen Investitionen (Minimum, Medium, Maximum) zur Implementierung der notwendigen Anlagen und Leitungen wird deutlich, dass die Investitionshöhe ausschlaggebender Treiber für positive Impulse im ersten Jahr ist: Je höher die Investitionen, desto höher sind die zusätzlich positiven BIP- und Beschäftigungseffekte im ersten Jahr (hier: 2024). Im darauffolgenden Zeitraum (Nutzung der industriellen Abwärme; hier: 2025–2033) ist in den Szenarien 1 und 2 der Rückgang des Gasimporte der entscheidende Faktor für positive

Entwicklungen. Dabei gilt, dass je höher der Gaspreis ist, desto höher sind das zusätzliche Wirtschaftswachstum bzw. die Beschäftigungseffekte. Diese Entwicklungen werden unterstützt durch die Tatsache, dass Endverbraucher*innen (Haushalte, Unternehmen) zudem geringere Kosten durch den Wegfall der CO₂-Besteuerung zu tragen haben. Die dadurch eingesparten finanziellen Mittel können für Konsum bzw. Investitionen genutzt werden, sodass wiederum positive Effekte auf das BIP freigesetzt werden. Im Falle der Substitution von heimisch bereitgestellter Biomasse (Szenario 3) findet keine Reduktion von energetischen Importen statt, sodass die zusätzlichen positiven BIP-Effekte im Zeitraum der Abwärmennutzung (2025–2033) gemindert werden.

Im Szenario mit Erdgaspreisen zu 2019 (30 €/MWh) beträgt der BIP-Zuwachs im ersten Jahr zwischen 0,3 und 0,6 Mio. € pro installierte Kapazität von 1 GWh Abwärme mit mittleren Effekten von 0,5 Mio. € (Minimum, Medium, Maximum). Der durchschnittliche BIP-Zuwachs für die restlichen Jahre liegt bei ca. 0,2 Mio. € pro Jahr. Somit beträgt der Gesamtdurchschnitt des BIP-Zuwachses im Betrachtungszeitraum zwischen 0,2 und 0,3 Mio. € pro Jahr. In der Bauphase im ersten Jahr werden pro GWh installierter Wärmeauskopplung zwischen 3 und 5 zusätzliche Beschäftigte hinzukommen, im gesamten Betrachtungszeitraum sind es 2–3 Beschäftigte pro GWh Wärmeauskopplung.

Im Szenario von hohen Gaspreisen (100 €/MWh) kann von 1,1 bis 1,9 Mio. € an zusätzlichen BIP pro GWh Wärmeauskopplung im ersten Jahr gerechnet werden je nach Höhe der Investitionsvolumina. Im Durchschnitt beträgt das zusätzliche Bruttoinlandsprodukt zwischen 0,8 und 1,0 Mio. € für den gesamten Betrachtungszeitraum. In der Bauphase werden zwischen 11 und 18 zusätzliche Beschäftigte generiert, über den gesamten Betrachtungszeitraum wird von durchschnittlich 6 bis 9 zusätzlichen Beschäftigten ausgegangen.

Das Szenario der Substitution von Biomasse als Wärmelieferant bringt ein zusätzliches BIP Wachstum von 0,7 bis 1,2 Mio. € in der Bauphase bzw. 0,2 bis 0,3 Mio. € jährlich über den gesamten Betrachtungszeitraum. Im ersten Jahr wird mit zusätzlichen Beschäftigten von 7 bis 12 Personen gerechnet, über den gesamten Betrachtungszeitraum zwischen 3 und 5 zusätzlichen Beschäftigten.

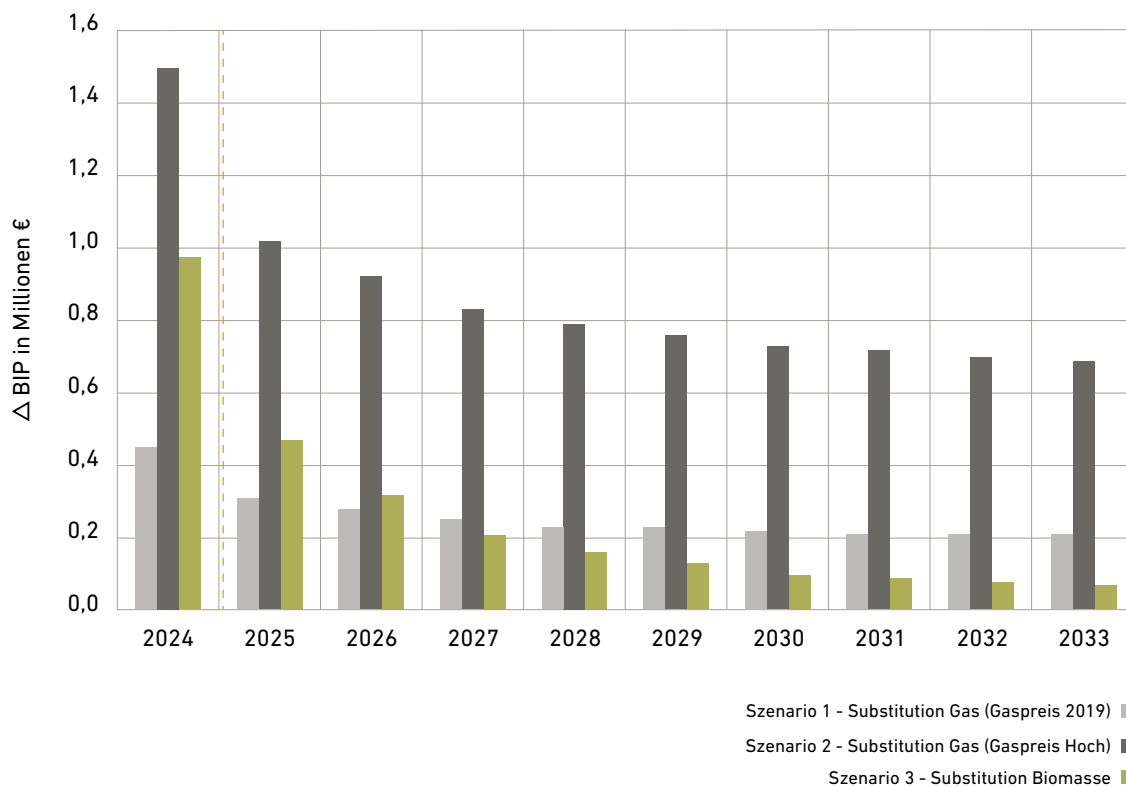


Abbildung 38

BIP-Zuwachs in Österreich nach Szenario pro genutzter GWh industrieller Abwärme, Investitionshöhe: MEDIUM, 2024–2033.

Quellen: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Energieinstitut an der JKU Linz, Mai – August 2022.

Anmerkungen: Gerundete und nominelle Werte.

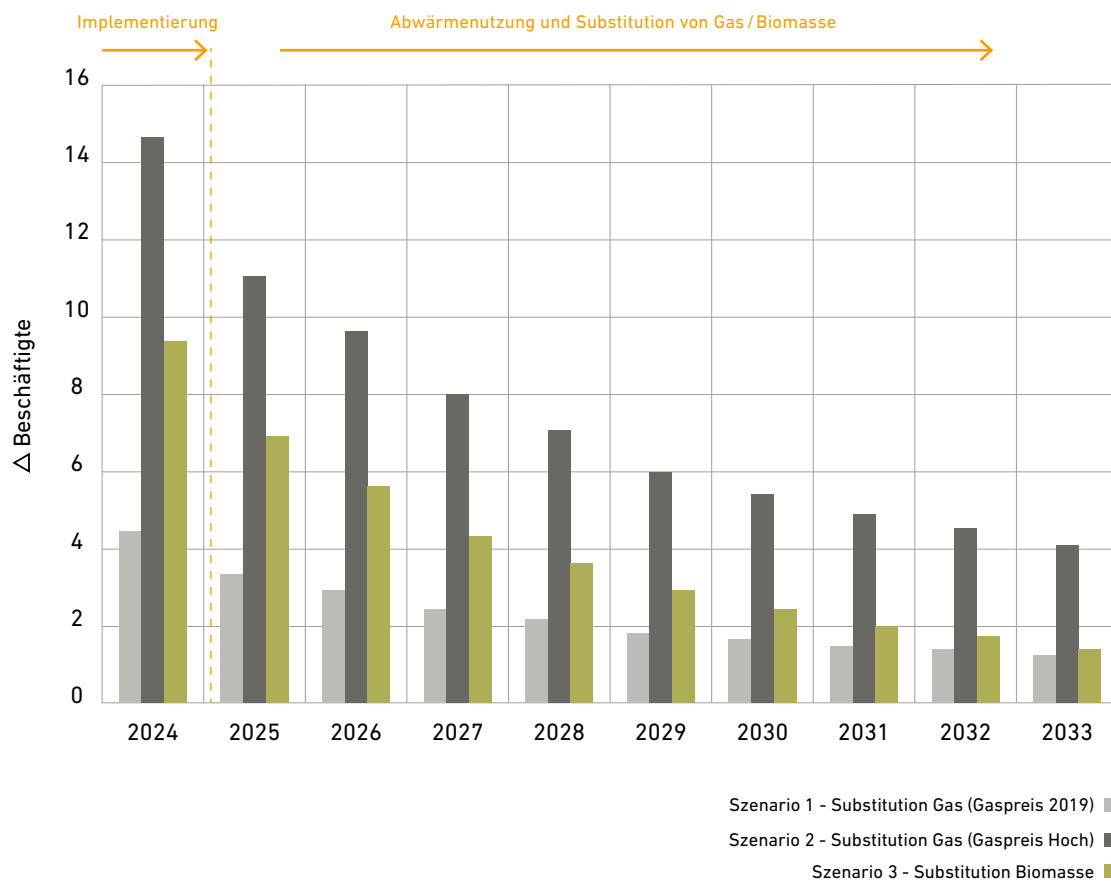


Abbildung 39

Beschäftigungszuwachs in Österreich nach Szenario pro genutzter GWh industrieller Abwärme, Investitionshöhe: MEDIUM, 2024–2033.

Quellen: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Energieinstitut an der JKU Linz, Mai – August 2022. Anmerkungen: Gerundete und nominelle Werte.

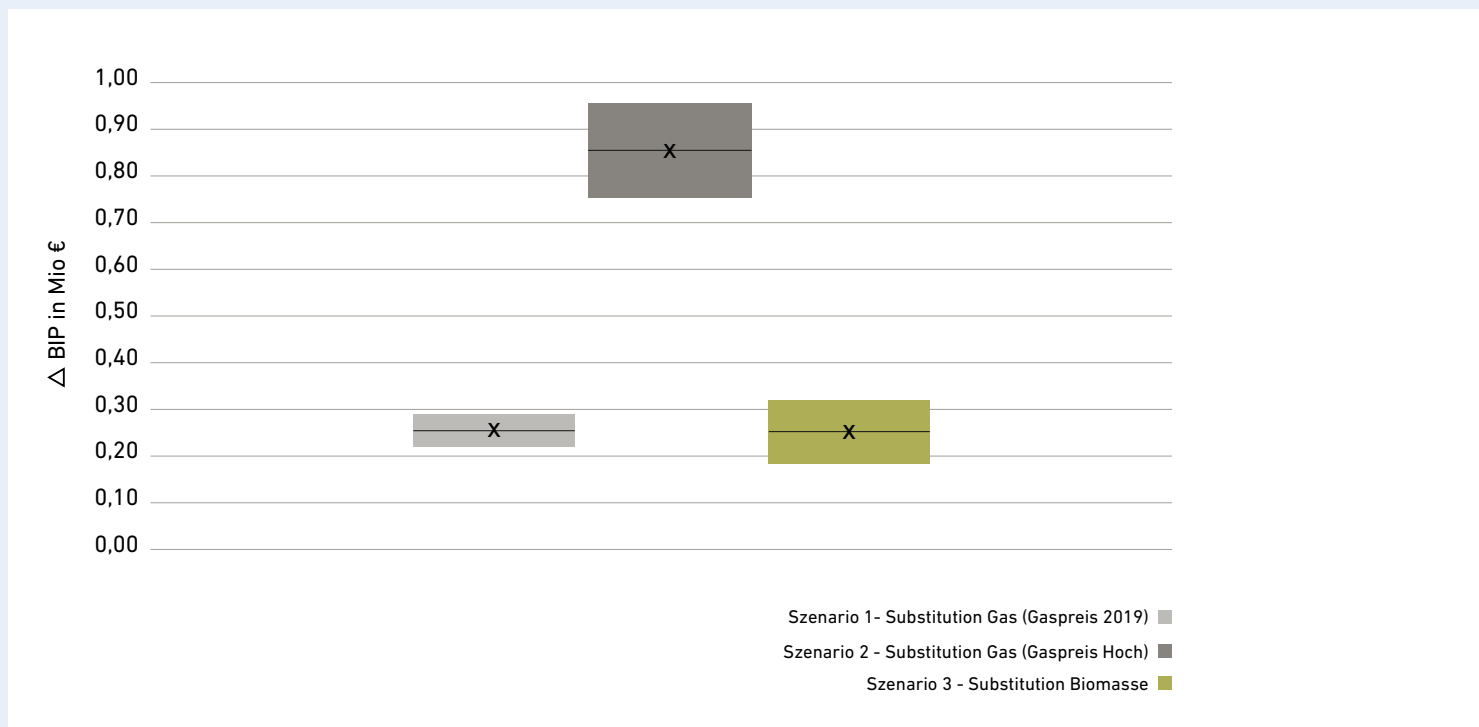


Abbildung 40

Durchschnittlicher BIP-Zuwachs in Österreich nach Szenario pro genutzter GWh industrieller Abwärme. Quellen: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Energieinstitut an der JKU Linz, Mai – August 2022. Anmerkungen: Gerundete und nominelle Werte. Zusätzliche Effekte im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in den jeweiligen Jahren. Erfassung von direkten, indirekten und induzierten Effekten. Zugrundeliegende Annahmen sind im Unterkapitel „Simulationsdesign: Szenariendefinition, Inputdaten und Annahmen“ dargestellt.

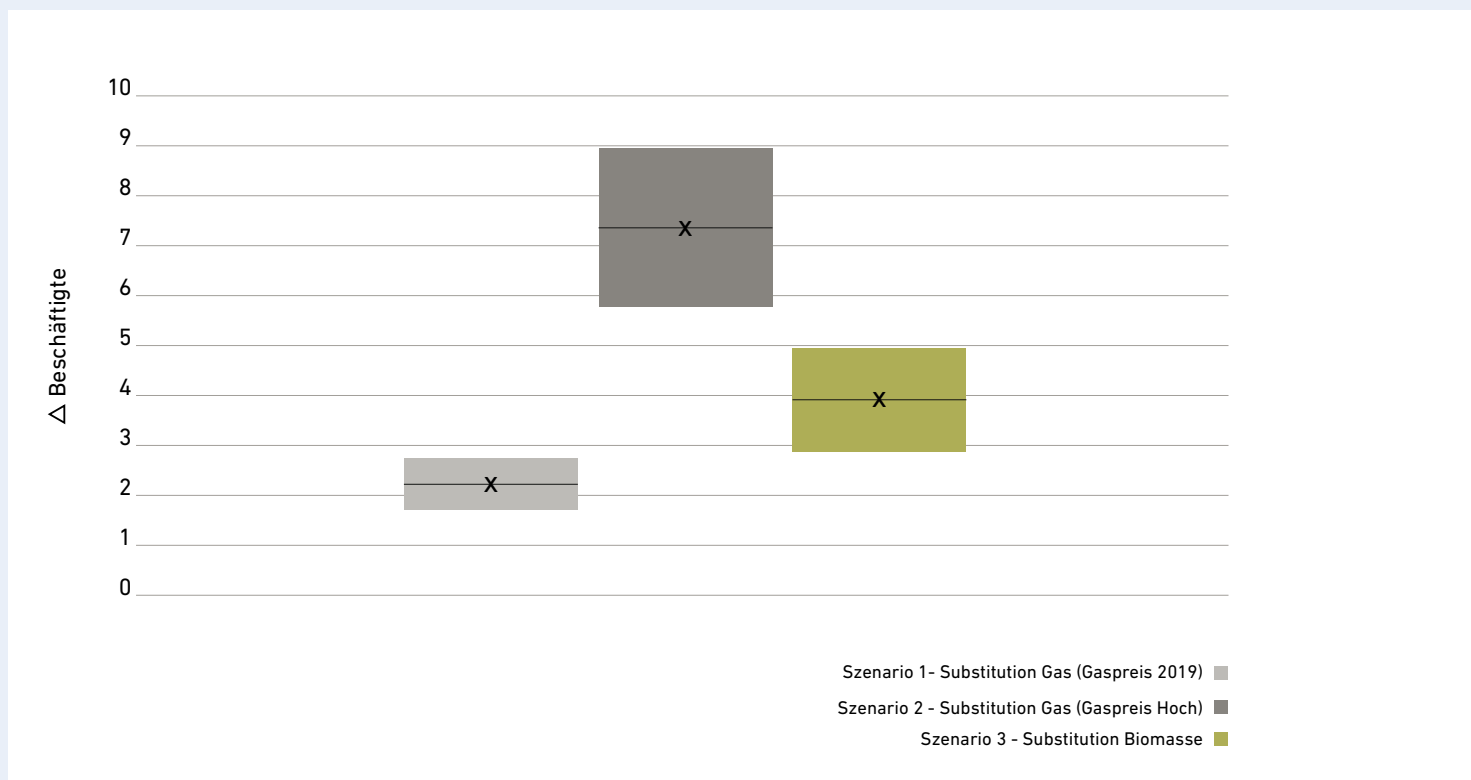


Abbildung 41

Durchschnittlicher Beschäftigungszuwachs in Österreich nach Szenario pro genutzter GWh industrieller Abwärme. Quellen: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Energieinstitut an der JKU Linz, Mai – August 2022. Anmerkungen: Gerundete und nominelle Werte. Zusätzliche Effekte im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in den jeweiligen Jahren. Erfassung von direkten, indirekten und induzierten Effekten. Zugrundeliegende Annahmen sind im Unterkapitel „Simulationsdesign: Szenariendefinition, Inputdaten und Annahmen“ dargestellt.

		Szenario 1 „ERDGAS 2019“ Abwärme Substituiert Erdgas bei einem Gaspreis von 30 €/MWh			Szenario 2 „ERDGAS HOCH“ Abwärme Substituiert Erdgas bei einem Gaspreis von 100 €/MWh			Szenario 3 „BIOMASSE“ Abwärme Substituiert Biomasse bei einem Biomassepreis von 50 €/MWh		
		Implementierung 2024	Betriebsphase 2025–2033	Ø 2024–2033	Implementierung 2024	Betriebsphase 2025–2033	Ø 2024–2033	Implementierung 2024	Betriebsphase 2025–2033	Ø 2024–2033
Minimum	Δ BIP [in Mio. €]	+0,33	+0,22	+0,23	+1,09	+0,72	+0,76	+0,70	+0,13	+0,19
	Δ Beschäftigte	+3	+2	+2	+11	+5	+6	+7	+2	+3
Medium	Δ BIP [in Mio. €]	+0,45	+0,24	+0,26	+1,50	+0,80	+0,87	+0,97	+0,18	+0,25
	Δ Beschäftigte	+4	+2	+2	+15	+7	+8	+9	+3	+4
Maximum	Δ BIP [in Mio. €]	+0,56	+0,26	+0,29	+1,85	+0,86	+0,96	+1,19	+0,22	+0,32
	Δ Beschäftigte	+5	+2	+3	+18	+8	+9	+12	+4	+5

Tabelle 26

Volkswirtschaftlicher Mehrwert in Österreich pro genutzter GWh industrieller Abwärme. Quellen: Eigene Berechnungen anhand des Simulationsmodells MOVE2, Energieinstitut an der JKU Linz, Mai – August 2022. Anmerkungen: Gerundete und nominelle Werte. Zusätzliche Effekte im Vergleich zum business-as-usual-Szenario in den jeweiligen Jahren. Erfassung von direkten, indirekten und induzierten Effekten. Zugrundeliegende Annahmen sind im Unterkapitel „Simulationsdesign: Szenariendefinition, Inputdaten und Annahmen“ dargestellt.

Vor-/Nachteile sowie Risiken der Abwärmenutzung

Die interne Nutzung von Abwärme in Form von Energieeffizienzmaßnahmen hat bereits in vielen produzierenden Unternehmen Einzug gehalten. Dennoch gibt es aus unterschiedlichsten Gründen ungenutzte Abwärmepotenziale: technisch schwer abgreifbar (Temperaturniveau, Wärmequelle etc.), Unternehmens-intern besteht kein weiterer (passender) Wärmebedarf, andere Wärmequellen sind aus unterschiedlichen Gründen attraktiver, externe Verwertungsmöglichkeiten sind nicht bekannt oder bestehen nicht oder werden aus unterschiedlichen Gründen nicht umgesetzt.

Um das Thema der Barrieren von Abwärmenutzung näher zu beleuchten, wurde zum einen eine Literaturrecherche durchgeführt, zum anderen zwei Fragestellungen in Zusammenarbeit mit den INXS-Projektpartner*innen ausgearbeitet: Vor- und Nachteile der inner- und überbetrieblichen Abwärmenutzung aus Sicht eines produzierenden Unternehmens sowie die Vor- und Nachteile von Abwärme als Energiequelle im Vergleich zu anderen Energieträgern aus Sicht eines Fernwärmeunternehmens.

Für beide Erhebungen wurden Excel-Tabellen aufgesetzt (zum Aufbau siehe die befüllten Tabellen im Anhang). Diese Tabellen wurden sodann an die Projektpartner*innen mit Bitte um Befüllung und Retournierung gebeten. Die erhaltenen Antworten wurden sortiert, zusammengefasst und anonymisiert.

Vor- und Nachteile inner- sowie überbetrieblicher Abwärmenutzung

Die tabellarischen Ergebnisse sind im Anhang ersichtlich. Insgesamt haben sich vier Organisationen an der Erhebung beteiligt, es wurden Antworten von 16 Personen berücksichtigt – diese wurden zum Teil bereits zusammengefasst von den Organisationen übermittelt.

Folgende Aufgabenstellung wurde zusammen mit einem Excel-Formular an die Teilnehmenden übermittelt: „Versetzen Sie sich in die Perspektive eines Produktionsunternehmens, welches ein technisches Abwärmepotenzial aufweist. Es ist eine interne, externe oder natürlich einfach keine Nutzung der Abwärme möglich. Bitte nennen Sie die Vor- und Nachteile jeder Option.“

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die interne sowie externe Abwärmenutzung in jedem Fall der Nicht-Nutzung vorgezogen werden sollte, aus wirtschaftlichen wie auch umwelttechnischen Gründen. Die interne wie externe Abwärmeverwertung bieten in mehrerlei Hinsicht Vorteile, insbesondere da der Endenergiebedarf und somit wirtschaftliche sowie Umweltkosten gesenkt werden. Jedoch ist bei der externen Verwertung hervorzuheben, dass zumindest der organisatorische Aufwand (möglicherweise auch technische Aufwand) höher ist, zudem schlagen potentielle Benefits nicht unbedingt beim Abwärme bereitstellenden Unternehmen (zu 100%) zu Buche. Auch die Relevanz von möglichen Lock-In-Effekten sowie Vertrauen in den Kooperationspartner sind von Bedeutung.

Vor- und Nachteile von Abwärmenutzung im Vergleich zu ausgewählten Energieträgern

Die tabellarischen Ergebnisse sind im Anhang ersichtlich. Insgesamt haben sich vier Organisationen an der Erhebung beteiligt, es wurden Antworten von 10 Personen berücksichtigt – diese wurden zum Teil bereits zusammengefasst von den Organisationen übermittelt.

Folgende Aufgabenstellung wurde zusammen mit einem Excel-Formular an die Teilnehmenden übermittelt:
 „Wenn ich die verantwortliche Person bei einem typischen österreichischen Fernwärmenetzbetreiber bin, dann würde ich folgende Abwägung anderer Wärmequellen mit industrieller Abwärme treffen.“

Externe Abwärmenutzung benötigt im Vergleich zu fossilen wie nicht-volatilen erneuerbaren Energieträgern tendenziell ein Backup. Bei stofflichen Energieträgern wurde zudem die effiziente Lagerung und Transportfähigkeit sowie schnelle Verfügbarkeit von Wärme auf hohem Temperaturniveau hervorgehoben. Gegenüber fossilen Energieträgern ist Abwärme aus Umwelt- und Primärenergieeffizienzsicht jedoch vorzuziehen, während die Abwägung der Abwärme gegenüber erneuerbaren Energieträgern noch mehr Aspekte inkludieren muss: dazu zählen neben der Leistung und zeitlichen Verfügbarkeit auch die Wirtschaftlichkeit und organisatorischer sowie technischer Aufwand zur Einbindung. Hinsichtlich Stroms als Energieform zur Wärmeerzeugung (insbesondere bei direkter Nutzung) wurde die schlechte Exergieeffizienz hervorgehoben. Bei biogenen Energieträgern könnte zukünftig verstärkt die Diskussion um Konkurrenznutzungen (z. B. Lebensmittelproduktion) zu Hindernissen führen.

Fazit: Alle verglichenen Optionen bringen Vor- und Nachteile mit sich, die in ihrer Ausprägung stark auf die individuelle Situation ankommen. Ein Backup wird in vielen Szenarien benötigt, unabhängig von Abwärme. Eine effektive und nachhaltige Lösung wird ein Technologie- und Energiemix sein, bei dem Abwärme jedoch eine tragende Rolle spielen sollte, sofern verfügbar.

Potenzielle Barrieren der (überbetrieblichen) Abwärmenutzung und Lösungsansätze

Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf der qualitativen Identifizierung und Analyse von Barrieren und Risiken, die mit der internen, aber insbesondere mit der externen Abwärmenutzung verbunden sind. Die Arbeit gliedert sich in zwei Hauptteile (Abbildung 42): Zunächst (A) wurden die Barrieren und Risiken die in Verbindung mit industrieller Abwärme entstehen umfassend zusammengetragen. Dies basiert auf einer Literaturrecherche und der Einbeziehung von Expert*innen im Rahmen von Workshops und Interviews. Auch gesammelte Erfahrungen aus zahlreichen Abwärme Projekten dienen als Informationsquelle. Zweitens (B) wird auf Basis der gewonnenen Auflistung eine Kategorisierung der Barrieren und Risiken diskutiert und auf der Grundlage vergleichbarer Arbeiten vorgenommen.

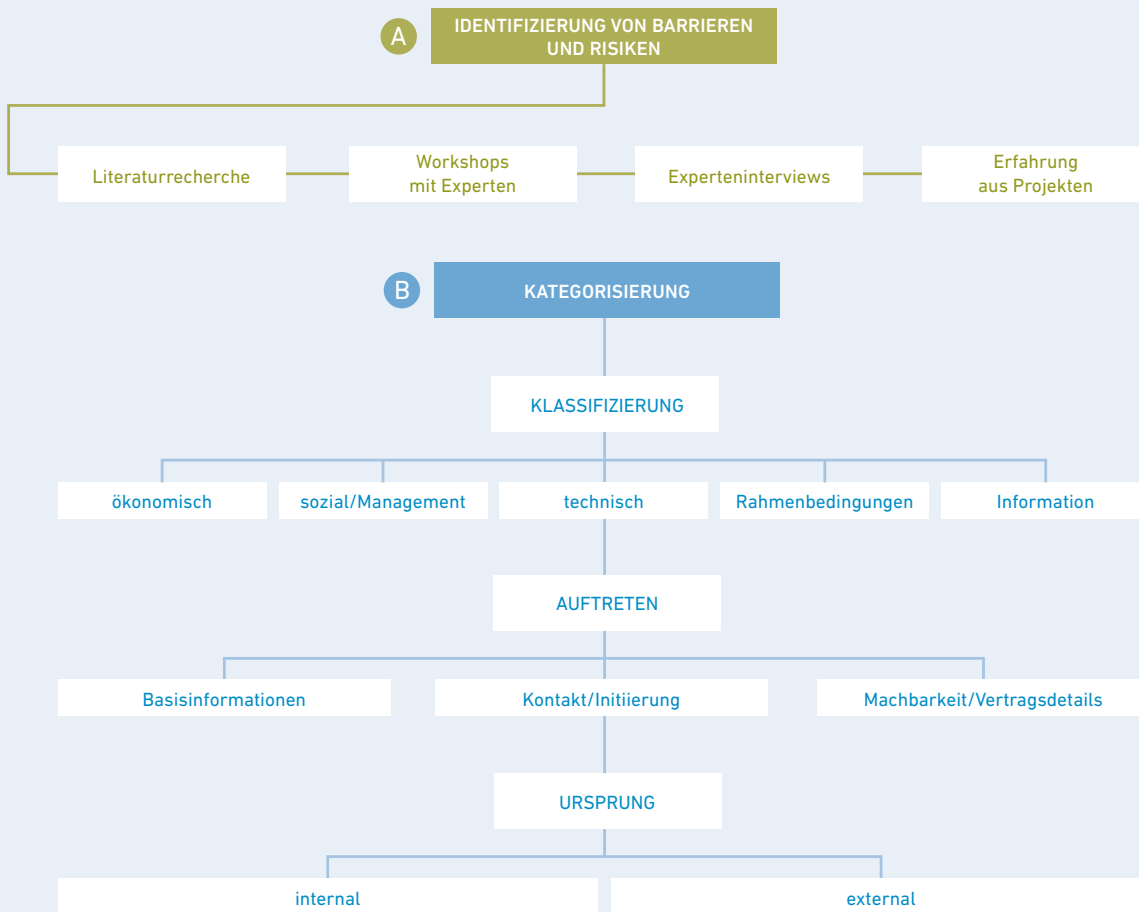


Abbildung 42
Struktur der Analyse und Ergebnisse

In einem ersten Schritt werden die Barrieren und Risiken nach fünf Forschungsbereichen geclustert, die im Zuge des Projektes SPARCS erarbeitet wurden. Eine genauere Erklärung, wie und warum die folgenden Kategorien gebildet wurden, können dem Projektbericht von de Bruyn, 2018⁶¹ sowie Rodin & Moser, 2021⁶² entnommen werden. Die Forschungsfelder sind die ökonomische Perspektive, die Rahmenbedingungen Perspektive, die technische Perspektive, die soziale/Management Perspektive und die Informationsperspektive.

In einem zweiten Schritt wird jede der geclusterten Barrieren dahingehend analysiert, wann sie bei einer Projektrealisierung und Energiekooperation auftreten. Stufe 1 befasst sich mit der allgemeinen Generierung des Interesses (Kooperation als Möglichkeit erkennen, Erstinformationen zu Partnern, Technologiekenntnis, etc.). In Stufe 2 sind Barrieren auf der Kontakt-/Initiierung-Ebene repräsentativ, wo detailliertere Informationen zwischen zukünftigen Partnern für die Energiekooperation erforderlich sind, inkl. eigener Strukturen und Ineffizienzen. In Stufe 3 bestehen Barrieren in Form von technisch-wirtschaftlicher Realisierbarkeit und vertraglichen Regelungen, die für beide Partner zufriedenstellend überwunden werden müssen.

In der letzten Kategorisierungsstufe wird der Ursprung der einzelnen geclusterten Barrieren bewertet. Es wird zwischen internen und externen Barrieren unterschieden.

Die Zusammenstellung und Kategorisierung der Barrieren ist eine komplexe Aufgabe. Sie ist das Ergebnis von Literaturrecherchen, Workshops und Befragungen zu industriellen Energieprojekten, d. h. industriellen Energiekooperationsprojekten.

Die Barrieren sind nach fünf Forschungsbereichen geclustert, nämlich nach der wirtschaftlichen Perspektive, der Rahmenbedingungen Perspektive, der technisch/technischen Perspektive, der sozialen/Management Perspektive und der Informationsperspektive. Die beiden letztgenannten werden als die wichtigsten für industrielle Abwärme Kooperationsprojekte angesehen.

Tabelle 27 zeigt die ermittelten Barrieren und Risiken für die Einspeisung industrieller Abwärme zwischen Industrieunternehmen, aber auch zwischen Industrieunternehmen und lokalen Gemeinschaften. Die Indizes „I“ und „E“ stehen für „Intern“ und „Extern“ und beziehen sich auf die Quelle der Barriere aus Sicht eines Unternehmens oder eines Industrieparks. Die Entscheidungsschritte 1 bis 3 (siehe Rodin & Moser, 2021⁶³) werden auf die Barrieren in Tabelle 27 angewandt: 1 steht für Information, 2 für Kontakt/Initiierung und 3 für technisch-wirtschaftliche Machbarkeit und vertragliche Vereinbarungen.

61 K. de Bruyn, M. Holzleitner, S. Lassacher, S. Moser, S. Puschnigg and V. Rodin, "Barriers towards Energy Cooperation", Project S-PARCS Deliverable D1.2., Working Paper, 2018.

62 V. Rodin, S. Moser, "The perfect match? 100 reasons why energy cooperation is not realized in industrial parks", ERSS Vol 74, 2021, 101964, ISSN 2214-6296. doi.org/10.1016/j.erss.2021.101964

63 V. Rodin, S. Moser, "The perfect match? 100 reasons why energy cooperation is not realized in industrial parks", ERSS Vol 74, 2021, 101964, ISSN 2214-6296. doi.org/10.1016/j.erss.2021.101964

Barrieren und Risiken		Intern (I), Extern (E)	Auftreten
Ökonomisch	Finanzielle		
	Unternehmen/Industrieparks stehen vor hohen Investitionskosten	E	3
	Unternehmen/Industrieparks haben keinen Zugang zu (langfristiger) Finanzierung oder wissen nichts darüber	I,E	1,3
	Bestehende Strukturen sind kostspielig zu ändern	I	1,3
	Begrenzte Kundenakzeptanz (Angst vor verzerrten, unzuverlässigen Geschäftsbeziehungen)	I,E	2,3
	Lange Amortisationszeiten stehen nicht im Einklang mit den Unternehmensrichtlinien	I	1,3
	Wirtschaftliche, organisatorische und technische Risiken, einschließlich Risikounsicherheiten	I,E	3
	Markt bezogen		
	Keine zusätzlichen Eigenmittel verfügbar	I	1,3
	Akteure befürchten versteckte Kosten bei Erstinvestitionsprojekten	I,E	3
Sozial/ Management	Individuell		
	Befürchtung von Verzerrungen im Kerngeschäft	I	2,3
	Mangel an Fähigkeiten und Kompetenzen, um sich mit anderen Themen als dem Kerngeschäft zu befassen	I	1,2
	Mangel an Zeit und Ressourcen für die Arbeit an anderen Themen als dem Kerngeschäft	I	1
	Gemeinsam		
	Angst vor der Versorgungssicherheit bei einem Wechsel des Anbieters	I	3
	Keine vorherige Beziehung zwischen Unternehmen in einem Industriepark	I,E	1,2
	Schwache sektorübergreifende Zusammenarbeit	I,E	1,2
	Organisatorisch		
	Mangelndes Vertrauen zwischen Unternehmen und Parkbetreibern bzw. Dienstleistungsunternehmen	I,E	2,3
Fehlen von Energiemanagementsystemen (ISO 50001, auch z. B. ISO 9001 und ISO 14001)	I,E	1,2	



Barrieren und Risiken		Intern (I), Extern (E)	Auftreten
Rahmen- bedingungen	Rechtliches/Regulierung/Politik		
	Industrielle Standards und Normen sind nicht auf die vorgeschlagenen Lösungen abgestimmt	E	2,3
	Mangel an geeigneten Anreizen	E	3
	Rechtliche Komplexität in den einzelnen Mitgliedstaaten	E	2,3
	Kein Rechtsanspruch auf Bau von Wärmeleitungen über privaten Grund	E	2
	Steuerliche Strukturen (z. B. Abschreibungszeiträume)	E	3
	Unsicherheiten in der nationalen Gesetzgebung	I,E	2,3
	Der Fernwärmebetreiber ist rechtlich nicht verpflichtet, eine Einspeisung in sein Netz zuzulassen und zu vergüten	E	3
	Die Beantragung von Subventionen ist zu kompliziert	I,E	3
	Standardisierung		
	Fehlende Standardisierung des Abwärmeaustauschs (z. B. Messung und Zählung)	E	2,3
	Die Registrierung als Energielieferant ist erforderlich, wenn Energie (insbesondere Strom) extern genutzt wird	E	1,3
	Derzeit ist es schwierig, mehr als einen Energielieferanten zu haben, was den Verkauf von seltenen Rest- und Überschussmengen für Unternehmen erschwert.	E	1,3
Technisch	Durchqueren von Privatgrundstücken der Nachbarn, z. B. mit Heizungsrohren	I,E	2,3
	Mangelndes Wissen über technische Möglichkeiten, ihre Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit	I	1,2
	Große räumliche Entfernungen zwischen Unternehmen (Energieverluste)	E	1,3
	Veraltete Infrastruktur ermöglicht keine effizienten Lösungen	I	1,3
	Ungewissheit über die Qualität der ausgetauschten Energie (Temperaturniveau, Kontinuitätsprofil, Volumen usw.)	I,E	2,3
	Fehlende Kenntnisse für den Entwurf, die Entwicklung, die Konstruktion, die Herstellung, den Betrieb und die Wartung neuer Technologien oder Kooperationen, z. B. der ersten ihrer Art	I,E	1,2
	Ungeeignete Technologien (witterungsbedingt, intermittierende Quelle, unwirtschaftliche Auslastung, inkompatibel)	I,E	2
	Fehlende Überwachung und Messung des Energieverbrauchs in Unternehmen	I	1,2,3
	Hohe Anforderungen an Computerleistung und IoT-Sensoren/Aktoren für Datenanalyse und Optimierungsalgorithmen	I	2,3
	Fehlende Infrastruktur (physischer Raum für neue Technologien, Verteilungsinfrastruktur für den Transport von Abfallströmen oder Nebenerzeugnissen)	I,E	1,3



Barrieren und Risiken		Intern (I), Extern (E)	Auftreten
Information	Mangelnder Zugang zu externen Kompetenzen	I,E	1,2
	Versäumnis, die nicht-energetischen Vorteile der Effizienz zu erkennen	I,E	2,3
	Mangelndes Wissen über Finanzierungs- und Subventionsmöglichkeiten	I	2,3
	Fehlende Kenntnisse über mögliche Nebenströme, Kooperationspartner usw.	I	1,2
	Mangel an Wissen über erfolgreiche Demonstrationsprojekte und/oder andere Referenzen	I,E	1,2
	Fehlender informativer Leiter des Industrieparks	E	1,2
	Unkenntnis des Energiebedarfs/der Energiereserven des Nachbarunternehmens	I	2
	Ungewissheit über die Quantifizierung der Auswirkungen	I	3

Tabelle 27

Identifizierte Barrieren und Risiken
(adaptiert von de Bruyn, 2018⁶⁴)

DELIVERABLE 5.3 – Handlungsempfehlungen an die Politik hinsichtlich Forcierung der Abwärmenutzung in Österreich

In den vorangegangenen Abschnitten wurde das Abwärmepotenzial quantifiziert und entsprechend der Quellen in Kategorien eingeteilt. Für außerbetriebliche Nutzung der Abwärme sollen Geschäftsmodelle und Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten abgeleitet und für zeitlich schwankende Abwärmepotenziale, Technologie- und Systemoptionen erforscht werden, welche weitere Flexibilitäten bieten.

Dieser Bericht deckt den Inhalt des Tasks 5.4 gemäß dem Antrag zur F&E-Dienstleistung INXS Industrial Excess Heat ab und soll zur Lösung regulatorischer Barrieren und wirtschaftlicher Risiken hinsichtlich externer Abwärmenutzung beitragen:

Task 5.4: Empfehlungen zu politischen Unterstützungsinstrumenten

- Es erfolgt eine Analyse von bestehenden Lösungen bzw. Unterstützungsinstrumenten der öffentlichen Hand in Österreich und anderen Ländern zur Forcierung von Abwärmekonzepten, z. B. in den nationalen Energie- und Klimaplänen
- Einordnung der Abwärme in den politischen Diskurs zum Thema erneuerbare Energieträger
- Definition der Rolle von Abwärme bei der Stärkung der österreichischen Volkswirtschaft (Green Deal, post-COVID-19, ...)

⁶⁴ K. de Bruyn, M. Holzleitner, S. Lassacher, S. Moser, S. Puschnigg and V. Rodin, "Barriers towards Energy Cooperation", Project S-PARCS Deliverable D1.2., Working Paper, 2018.

- Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden Handlungsempfehlungen für die österreichische Gesetzgebung abgeleitet. Diese umfassen im Speziellen Änderungen im rechtlichen Rahmen und Anpassungen des Fördersystems bzw. inner- und überbetrieblicher Abwärmenutzung
- Fazit, wie die gewonnenen Erkenntnisse zum österreichischen Abwärmepotenzial durch öffentliche Beratungsstellen und zur gezielten Betriebsansiedlung durch Kommunen genutzt werden können.

Einordnung der Abwärme in den Kontext erneuerbarer Energieträger

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II) listet „erneuerbare Wärme“ und „Abwärme“ gemeinsam für die Wärmebereitstellung in Artikel 24 (4) und teilweise auch in Artikel 23 auf. Insbesondere im

parallellaufenden Projekt Heat Highway (FFG-Nr. 880797) wurde analysiert, (i) warum zwischen „erneuerbarer Wärme“ und „Abwärme“ unterschieden wird, (ii) warum sie parallel erwähnt werden und (iii) welche kurz- und langfristigen Auswirkungen diese Unterscheidung für die Nutzung von Abwärme in der Energiekooperation impliziert.

Die erste Schlussfolgerung der Arbeit ist, dass die Unterscheidung angemessen ist. Abwärme ist etwas anders als Erneuerbare Energie; sie ist – laut Definition – ein unvermeidbares Nebenprodukt, unter anderem eines industriellen Prozesses. Sie kann folglich aus Prozessen stammen, welche fossil oder erneuerbar betrieben werden. Diese beiden Wärme-Kategorien stehen also nicht nebeneinander, sondern überschneiden sich.

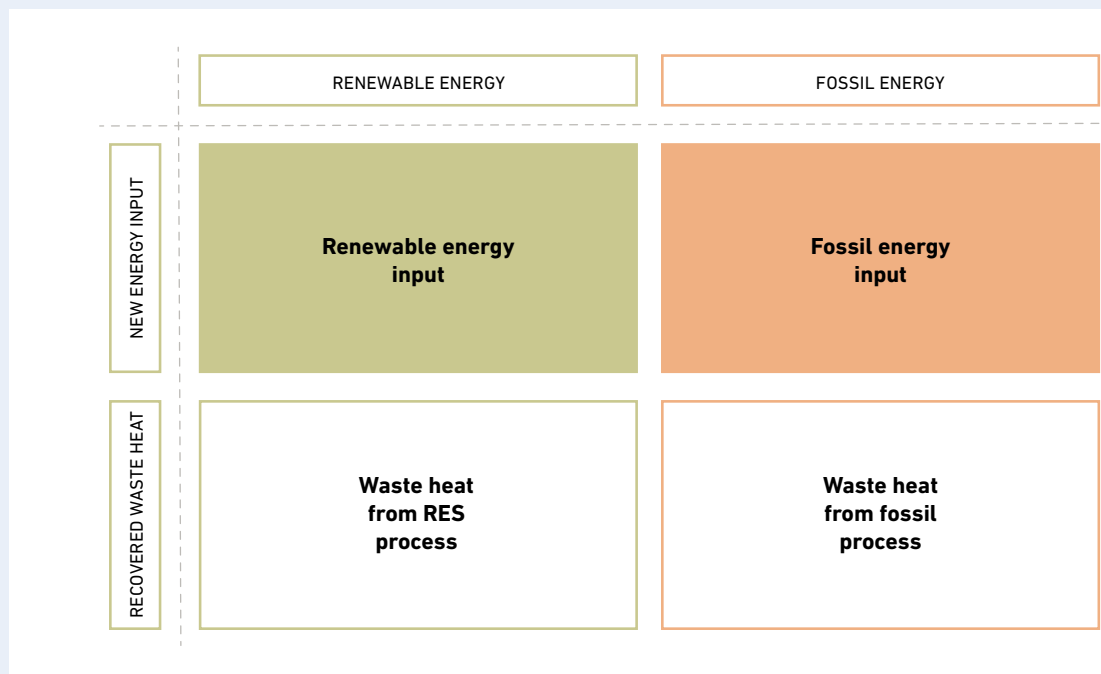


Abbildung 43

Wärmebereitstellung durch die direkte Nutzung von Energieträgern oder die Nutzung von Abwärme – Überschneidung der Kategorien Erneuerbarer Energie und Abwärme. Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz.

Als negativ wird angesehen, dass für Abwärme eine nicht-ausgesprochene, aber implizite Schlechterstellung gegenüber erneuerbaren Energieträgern gegeben ist. Dies leitet sich aus den Mindestanteilen an erneuerbarer Energie an den Maßnahmen ab. Damit birgt die Nutzung von Abwärme aus fossilen Prozessen nicht nur das Risiko einer Prozessmodifikation (Umstellung des industriellen Prozesses auf erneuerbare Energien im Zuge der Klimaneutralität), sondern auch das politische Risiko der Nichterreichung der Ziele der RED II oder nachfolgender Richtlinien.

Um die Investitionsunsicherheit für Energiekooperationen, insbesondere zwischen Industrie und Fernwärmebetreibern, zu minimieren, ergibt sich der Schluss, dass alle Arten von Abwärme als CO₂-neutral anerkannt werden sollten und CO₂-Emissionen ausschließlich der „Erstnutzung“ zuzuordnen sind. Folglich sollten die industriellen Prozesse und deren Umsetzung das Ziel politischer Maßnahmen sein.

Die Rolle der Abwärme in der Stärkung der österreichischen Volkswirtschaft

Im⁶⁵ Jahr 2018 wurden von Moser und Lassacher (2020)⁶⁶ 45 Beispiele in Österreich identifiziert, welche industrielle Abwärme betriebsextern verwenden. Nach einem Update im Zuge des Projekts INXS erhöhten sich die erfassten Umsetzungen, auch durch eine Ausweitung der Systemgrenzen, auf 51. Ein Fragebogen wurde an alle diese Industriebetriebe mit bestehender betriebsexterner Abwärmennutzung ausgesandt. Die Frageblöcke adressierten dabei neben den technischen Parametern und einem Schwerpunkt auf die Initiation und Umsetzung dieser Projekte die Wirtschaftlichkeit. 24 Antworten von 16 Unternehmen konnten eingeholt werden.

Die dort erhaltenen und aufbereiteten Daten bildeten die Inputparameter für das am Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz entwickelte, volkswirtschaftliche Simulationsmodell MOVE. Mit diesem Modell lassen sich sowohl ökonomische Veränderungen als auch Entwicklungen am Energiemarkt detailliert analysieren. Das Simulationsmodell ist als makroökonomisches Zeitreihenmodell konzipiert, welches zusätzlich zur Modellierung verschiedener Wirtschaftssektoren besonders die Energieflüsse einzelner Energieträger auf regionaler und nationaler Ebene abbildet. Anhand der Simulationen werden die zusätzlichen Effekte durch Investitionen zur Anlagenerrichtung sowie die Substitution von heimisch produzierter Biomasse und importiertem Gas, welche durch die Nutzung industrieller Abwärme geschaffen werden können, erfasst.

Die durchgeführte Umfrage zeigt, dass die durchschnittliche – bei der Investitionsentscheidung erwartete – Amortisationszeit der bestehenden Projekte aus Sicht der Industriebetriebe bei 9 Jahren lag. Dies ist bereits insofern ein auffälliges Ergebnis, weil sonst der Industrie üblicherweise Amortisationszeiten von 3 Jahren unterstellt werden. Die Spreizung der Amortisationszeiten ist beträchtlich, so dass auch Szenarien für kürzere (6 Jahre) und längere (12 Jahre) Amortisationszeiten analysiert wurden. Die Projekte verdrängen primär den direkten Einsatz von Gas, aber auch von Biomasse. Aus den Amortisationszeiten und den Preisen der Energieträger wurde hochgerechnet, welche Investitionskosten im Gesamtprojekt getätigt wurden.

⁶⁵ Teile dieses Texts wurden aus der Kurzfassung des Beitrags von Reisinger, Goers, Moser, Jauschnik für die IEWT 2023 übernommen, dessen Inhalte im Projekt INXS generiert wurden.

⁶⁶ Moser, Lassacher (2020) External use of industrial waste heat – An analysis of existing implementations in Austria. Journal of Cleaner Production Volume 264, 10 August 2020, 121531, doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121531.

Um generisch einen volkswirtschaftlichen Effekt zu bestimmen, wurden die Angaben auf 1 GWh rückgewonnene/ingespeiste Wärme standardisiert. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass durch die Nutzung industrieller Abwärme ein positiver volkswirtschaftlicher Mehrwert in Form eines Wachstums des BIP sowie einer zusätzlichen Beschäftigung in Österreich geschaffen werden kann. **Bei einem Erdgaspreis von 100 Euro/MWh ergibt sich für einen Zeitraum von zehn Jahren eine zusätzliche jährliche Wertschöpfung von ca. 0,9 Mio. € und 8 Beschäftigte pro GWh/a Auskoppelung.** Da die Substitution heimischer Biomasse im Vergleich zu importiertem Gas kaum vermiedene Kaufkraftabflüsse mit sich bringt, ergeben sich ähnliche Effekte für die Errichtung der Abwärmenutzung, jedoch sind BIP- und Beschäftigungseffekte im laufenden Betrieb geringer.

Handlungsempfehlungen

Grundsätzlich kann zwischen technischen, organisatorischen, rechtlichen und finanziellen Rahmenbedingungen unterschieden werden.

Organisatorische Rahmenbedingungen

Zu den Organisatorischen Rahmenbedingungen zählt vor allem das Wissen um vorhandene Abwärmepotenziale und der dazu passenden Nachfrage. Dies betrifft neben den Akteuren Industrie – Netzbetreiber, Industrie – Kommunen und Industriebetriebe untereinander auch verschiedene Abteilungen in einem Industriebetrieb. D. h. auch das Wissen um betriebsinterne Abwärmequellen und der technischen Möglichkeiten der Nutzung im Betrieb (Stichwort kaskadische Nutzung von Wärme) ist oft nicht vorhanden.

In vielen Fällen entstand die Idee einer Zusammenarbeit aus guten Kontakten auf beiden Seiten der Kooperationspartner, d. h. die Idee einer Abwärmekooperation wurde vor allem durch ein gutes Verständnis, einen regelmäßigen Austausch und ein gewisses Vertrauen gefördert; dann konnte das Projekt ohne wesentliche Veränderungen bei den Partnerunternehmen realisiert werden. Dies ist ein klarer Hinweis darauf, dass durch den guten Kontakt eine direkte, unkomplizierte Gesprächsbasis gewährleistet ist und auch Vertrauen in die Aussagen des zukünftigen Kooperationspartners besteht. Leider sind einige der genannten Formen guter Kontakte (z. B. Studienkolleg*innen) natürlich keine grundlegende Eigenschaft der Mitarbeitenden oder des Managements. Die Frage ist jedoch nicht, wie und ob diese Voraussetzungen gegeben sind, sondern wie sie durch externe Vermittlung geschaffen werden können. Einer der Interviewpartner erwähnte, dass sich die Partner häufig auf regionalen Veranstaltungen treffen; diese Form des guten Kontakts gibt einen Hinweis auf die Möglichkeit einer Anbahnung. Auch hier könnte die Institutionalisierung der Kooperationsunterstützung eine Option sein. Der erste Kontakt ist der entscheidende Schritt zur Umsetzung.

Dazu kommen beispielsweise Fragen, wer soll die dazu notwendige Infrastruktur betreiben, wie kann die Versorgungssicherheit gewährleistet werden oder wie kann der Wärmetransfer preislich gestaltet werden?

Technische Rahmenbedingungen und Verortung

Zu den Technischen Rahmenbedingungen zählen vor allem der aktuelle Stand der Technik, das Fortschreiten von Technologischen Entwicklungen (als Beispiel sei hier die Weiterentwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen genannt), aber auch die Zuordnung der Abwärmepotenziale zu Sektoren, da damit positive Eigenschaften für eine Nutzung wie Abwärmemenge, Temperaturbereich oder zeitliche Verfügbarkeit verbunden sein können. Bezüglich der Herausforderungen um das Wissen von Potenzialen wurde in diesem Projekt folgendermaßen darauf eingegangen:

- Die vorliegenden Ergebnisse der Abwärmepotenzialerhebung werden als technische Abwärmepotenziale in die Austrian Heat Map integriert. Es wurden auf 3 Kartenlayern die jeweils Bottom-Up und Top-Down erhobenen Abwärmepotenziale von Industriebetrieben, sowie die Abwärmepotenziale von Kläranlagen verortet. Dabei sind die Bottom-Up erhobenen Industripotenziale und die Potenziale der Kläranlagen Standortgenau verortet, jene der der Top-Down erhobenen Abwärmepotenziale sind pro Postleitzahl zusammengefasst und verortet.
- Neben der Klassifizierung in Temperaturbereiche erfolgte bei den meisten Bottom-Up erhobenen Potenzialen auch eine Zuordnung in mehrere Abwärmequellen.
- Mit dieser räumlichen Darstellung von Abwärmepotenzialen wurden die Daten aus dem Projekt verfügbar gemacht und zielgruppengerecht aufbereitet. Durch die Anzeige bzw. Verknüpfung mit bereits vorhandenen Wärmenetzgebieten aus der Austrian Heat Map können detaillierte räumliche Analysen durchgeführt werden.

Durch diese organisatorische Maßnahme ist es möglich, die barrierefrei zugängliche Austrian Heat Map als Abwärme-Plattform zu nutzen. Dadurch können Akteure – das können Planer, Betreiber von Nah- und Fernwärmenetzen, Gemeinden, Industrie- und Gewerbebetriebe, öffentliche Stellen etc. sein – erste Abschätzungen und Vorplanungen für mögliche Umsetzungsprojekte für die Nutzung von Abwärme vornehmen.

Rechtliche Handlungsempfehlungen

Als primäres Handlungsfeld wird die Anerkennung von Abwärme im Sinne des Abschnitts „Einordnung der Abwärme in den Kontext erneuerbarer Energieträger“ angesehen.

Im Bereich der Abwärmenutzung betrifft dies vor allem das Energieeffizienzgesetz (EEffG), dessen Ziel es ist die Energieeffizienz und gleichzeitig die Versorgungssicherheit zu verbessern, den Anteil erneuerbarer Energien im Energiemix zu erhöhen und eine Reduktion von Treibhausgasemissionen zu erreichen. Außerdem sollen dadurch positive Impulse für die Wirtschaft gesetzt werden [1].

Das Konsortium ist der Meinung, dass in Zukunft eine Verpflichtung bestehen sollte, die jährlichen Energieverbräuche zu melden, welche dann in einer Datenbank für Forschungsinstitutionen und Behörden (Datenschutz) sichtbar sind, ähnlich wie die Treibhausgasemissionen der im EU-Emissionshandel (European Union Emission Trading System, ETS) eingebundenen Betriebe und Anlagen. In einer weiteren Stufe könnten in diesem System auch Angaben zu Abgas-, Abwasser-, Abluft-, Produktströme etc. mit Benennung von Temperaturen

und Massenströmen verpflichtend werden, um Behörden, Forschungsstellen, Planern etc. eine verlässliche Energie-raumplanung zu ermöglichen. Dabei könnte man ande-ken, diese Angaben alle paar Jahre verpflichtend durch externe Gutachter überprüfen zu lassen, die dann auch beratend zu Seite stehen (ähnlich ETS oder EMAS). Es ist klar, dass solche Maßnahmen politische nicht einfach zu implementieren sind, deren potenzielle Vorteile sollen aber erwähnt sein.

Finanzielle Rahmenbedingungen

Zu den finanziellen Rahmenbedingungen zählt primär die wirtschaftliche Darstellbarkeit für die potenziell kooperierenden Betriebe. Im Annex 15 des Industrie-TCPs der IEA [2] werden die für Österreich möglichen Förder- und Finanzierungsprogramme genannt:

Investitionszuschüsse/Subventionen: In Österreich wird das Förderprogramm UFI (Umweltförderung Inland) von der Kommunal Kredit Public Consulting (KPC) abgewickelt. Dabei umfasst das Thema „Energie-sparmaßnahmen in Unternehmen“ die Bereiche Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen, energieeffiziente Produktionsprozesse, effiziente Beleuchtungssysteme, Optimierung von Heizungsanlagen in bestehenden Gebäuden und Induktionsöfen. Im Programm werden auch Förderungen für Auskopplung, Einspeisung und Verteilnetze zur Überschusswärmenutzung angeboten, z. B.:

- Anlagen zur Auskopplung von Abwärme aus industriellen und gewerblichen Prozessen
- Einspeisung von Abwärme in bestehende oder neue Nah- und Fernwärmenetze über Transportleitungen und Verteilzentren
- Verteilnetze mit Übergabestationen
- Wärmepumpen zur zentralen Temperaturerhöhung von Abwärme für Heizzwecke
- Niedertemperatur- oder Energienetze mit Wärmepumpen auf der Verbraucherseite zur Nutzung der Abwärme

Zuschüsse für Energieaudits: Bei diesem Instrument handelt es sich nicht um ein zusätzliches Finanzierungsinstrument. Das Ziel des sogenannten KMU-Energie-schecks (eingeführt 2009) ist es, KMU aller Branchen in Österreich zu mobilisieren, ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren. In Österreich gibt es zwei Hauptprogramme, das nationale, das ein Erstaudit und eine Umsetzungsunterstützung umfasst. Gefördert werden nicht nur Energieaudits, sondern auch die Beratung bei der Einführung von Energiemanagementsystemen.

Bank-Darlehen: In Österreich werden Darlehen, die aus Bankmitteln finanziert werden, von allen großen Banken mit Sitz in Österreich vergeben. Für Aktivitäten im Bereich Energieeffizienz und erneuerbare Energien gelten in der Regel Sonderkonditionen (z. B. niedrigere Zinssätze, tilgungsfreie Zeiten). Die AWS als Wirtschaftsförderungsgesellschaft des Bundes unterstützt Unternehmen bei der Finanzierung ihrer Vorhaben mit ERP-Krediten, Bürgschaften und Zuschüssen.

ERP-Darlehen, Darlehensbürgschaft für Investitionen in den Umweltschutz: Das Österreichische Wirtschaftservice als Wirtschaftsförderungsbank des Bundes unterstützt Unternehmen bei der Finanzierung ihrer Projekte mit ERP-Krediten, Garantien, Zuschüssen und Haftungen. Das Geld stammt aus dem ERP-Fond und unterliegt dem europäischen Beihilferecht. Grundsätzlich kann der Einsatz von energieeffizienten Technologien und erneuerbaren Energien für mittlere und kleine Unternehmen gefördert werden. Große Unternehmen können unter bestimmten Umständen gefördert werden.

Contracting: Contracting-Programme und -Initiativen sollten dazu beitragen, die größten Hindernisse für Energieeffizienz-Investitionen zu überwinden: Die hohen Anfangskosten und das mit solchen Projekten verbundene Risiko. Das Energieliefer-Contracting wird relativ häufig für die Lieferung von Wärme und Strom (z. B. über Kraft-Wärme-Kopplung) eingesetzt.

Im verarbeitenden Gewerbe und in der Industrie wird das Energy Performance Contracting (EPC) in der Regel für die Optimierung von Heizung und Beleuchtung in Bürogebäuden, Produktionshallen, Lagerräumen und Garagen eingesetzt. EPC kann auch innerhalb der Produktionsprozesse eingesetzt werden, z. B. für die Optimierung des Druckluftsystems und den Einsatz effizienter Motoren, Ventilatoren usw., jedoch ist diese Art von Projekten weniger häufig.

Maßgeschneiderte politische Instrumente [3]: Das im EU-Projekt TrustEE entwickelte Finanzierungsmodell dient der Refinanzierung von Umsetzungsprojekten für Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien. Auf der webbasierten TrustEE-Plattform (max. Anforderungen an Datensicherheit und Datenschutz erfüllt) können Anlagenlieferanten oder Industrieunternehmen selbst die technischen und wirtschaftlichen Daten für ein Energieeffizienz- oder Erneuerbare-Energien-Projekt eingeben und einer dreistufigen Bewertung unterziehen. Auf Stufe 1 und Stufe 2 erfolgt unmittelbar auf der Plattform eine automatische technische und wirtschaftliche Bewertung der Parameter. Mittels automatisierter Hintergrundsimulationen auf Basis von hochdetaillierten Berechnungsmodellen werden die abgefragten Parameter validiert, wie z. B. die Wirtschaftlichkeit oder der zu erwartende Ertrag etc. Erfüllt das Projekt die Kriterien der Stufe 1 und 2, werden gemeinsam mit dem TrustEE-Manager Möglichkeiten zur weiteren Optimierung des Projektes – falls erforderlich – evaluiert und damit die rechtliche und versicherungstechnische Vorbereitung der Refinanzierung der Investition getroffen. Das Ergebnis der Plattform ist ein standardisierter Bericht, der eine transparente Beschreibung des Abwärmeprojekts einschließlich der technischen und wirtschaftlichen Spezifikationen des Projekts enthält und damit die Grundlage für die Refinanzierung des Projekts bildet.

Fazit zur Nutzung des österreichischen Abwärmepotenzials

Die⁶⁷ Analyse bestehender Kooperationen zeigt, dass diese meist durch die Geschäftsleitung oder Mitarbeitenden des Abwärmelieferanten initiiert wurden. In selteneren Fällen wurde zumindest aus Sicht der Abwärmelieferanten die Umsetzung einer externen Abwärmennutzung durch die Geschäftsführung oder Mitarbeitenden des Kooperationspartners initiiert.

Allerdings werden die **positive Rolle und der Einfluss lokaler politischer Entscheidungsträger** hervorgehoben. Darüber hinaus können angewandte Forscher*innen und Berater*innen bzw. Auditor*innen eine ähnliche Rolle spielen. Dritte, wie z. B. lokale politische Entscheidungsträger, werden implizit als Anlaufstelle für Informationen dargestellt, denen es sodann möglich ist, Potenziale zu erkennen und zwischen potenziellen Partner*innen zu vermitteln.

Des Weiteren ist festzustellen, dass Dritte oder politische Entscheidungsträger*innen auf einer höheren als der lokalen Ebene nicht als Initiatoren genannt werden. Sie könnten jedoch eine wichtige Rolle spielen, indem sie die Unterstützung der Zusammenarbeit institutionalisieren oder indem sie Bürgermeister*innen oder Gemeindebeamte für das Thema sensibilisieren.

Abwärme-Projekte bzw. deren betriebsexterne Nutzung sind mit einer Vielzahl von technisch-wirtschaftlichen Risiken verbunden. Die Förderung dieser Projekte senkt nicht nur die Netto-Gesamtkosten, sie reduzieren auch die Amortisationszeiten auf ein Maß, das es für diese Betriebe zulässt, diese Risiken in Kauf zu nehmen bzw. zeitlich zu überblicken. Wie „Die Rolle der Abwärme in der Stärkung der österreichischen Volkswirtschaft“ unterstreicht, sind durch den gesellschaftlichen Mehrwert der Abwärme-Nutzung öffentliche Förderungen gerechtfertigt. Die Ausweitung der direkten Investitionskostenförderung gemäß KPC, aber auch innovative Alternativen wie die genannten Garantien, stehen hier zur Diskussion.

⁶⁷ Teile dieses Texts wurden aus dem Papier von Moser, S., & Jauschnik, G. (2023). Using Industrial Waste Heat in District Heating: Insights on Effective Project Initiation and Business Models. MDPI Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su151310559> übersetzt und übernommen.

Literaturverzeichnis

Abart-Heriszt, L., Erker, S., Reichel, S., Schöndorfer, H., Weinke, E., & Lang, S. (2020). Das Energiemosaik Austria. 56.

Amt der niederösterreichischen Landesregierung: UVP Bescheid Eggendorf. Bescheid, RU4-U-234/020-2007. 2007-05-22

Amt der steiermärkischen Landesregierung: Bescheid Gasverdichterstation Weitendorf. Bescheid, FAa13A-11.10-11/2008-16. 2008-03-13

Åsblad, A., & Berntsson, T. (2019). Annex XV: Industrial Excess Heat Recovery Technologies and Applications. Final Report, 62.

Austropapier (2021) Nettingsdorf liefert umweltfreundliche Fernwärme. Homepage-Artikel vom 6.9.2021. Web: austropapier.at/nettingsdorf-liefert-umweltfreundliche-fernwaerme (2022-04-01).

Baresch, Martin & Goers, Sebastian & Tichler, Robert & Schneider, Friedrich. (2016). Macroeconometric Simulation Tool MOVE2/MOVE2social.

Baresch, Martin & Tichler, Robert & Schneider, Friedrich & Goers, Sebastian. (2014). MOVE2 – Modell zur Simulation der (ober-)österreichischen Volkswirtschaft mit einem speziellen Schwerpunkt auf Energie. Update des Modells MOVE.

Berger, Helmut; Hönig, Volker: Energieeffizienz der österreichischen Zementindustrie. 2010

Bioenergie Bucklige Welt GmbH (k.D.) Bioenergie Ortmanng GmbH. Homepage-Beitrag. Web: bwwb.at/kraftwerke-anlagen/bioenergie-ortmann (2022-04-01).

Brückner et al., Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions – A categorization and literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

Brückner, Sarah: Industrielle Abwärme in Deutschland, Dissertation, München 2016

Brueckner, S., Miró, L., Cabeza, L. F., Pehnt, M., & Laevemann, E. (2014). Methods to estimate the industrial waste heat potential of regions – A categorization and literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38, 164–171. doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.078

Büchle, R., Kranzl, L., Fallahnejad, M., Felber, B., Hasani, J., & Themeßl, N. (2021). Potenzial für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung. 84.

Cornelis & Bael: How well can the potential of industrial excess heat be estimated, Conference proceedings; ecee industry proceedings

de Bruyn, Holzleitner, Lassacher, Moser, Puschnigg and Rodin, "Barriers towards Energy Cooperation", Project S-PARCS Deliverable D1.2., Working Paper, 2018.

Epsilon Professional Online Dokumentation: help.epsilon.com/DE/HeatExchangerGeneral.html

Energieziel 2050: 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt; Abrufbar online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel_2050.pdf (zuletzt abgerufen am: 10.08.2020).

Enova: Utnyttelse av spillvarme fra norsk ecarbon, 2009

Fiukowski, J., Wernitz, C., Gaudchau, E., & Müller, B. (2016). Potenziale Erneuerbarer Energien in Ostdeutschland. reiner-lemoine-institut.de/wp-content/publications/20170213_Potenziale_EE_in_Ostdeutschland/Metastudie_RLI_Potenziale_EE_in_Ostdeutschland_1702.pdf

Fleiter, T., Manz, P., Neuwirth, M., Mildner, F., Persson, U., Kermeli, K., Crijns-Graus, W., & Rutten, C. (2020). sEEnergies, Deliverable 5.1: Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials. www.seenergies.eu/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/sEEnergies-WP5_D5.1-Excess_heat_potentials_of_industrial_sites_in_Europe.pdf

Fürhapter, Peter: Thermische Verfahrenstechnik in der Bindemittel- und Baustoffindustrie, Vorlesungsskript an der Montanuniversität Leoben, 2007

GAS CONNECT AUSTRIA GMBH: Verdichterstation: Mit Hochdruck durch die Leitung. Verdichterstationen entlang der Gasleitungen bringen Erdgas wieder in Fahrt. www.gasconnect.at/ueber-erdgas/erdgas-transport/verdichterstation – Überprüfungsdatum 2023-02-14

Geyer, R., Basciotti, D., Terreros, O., Marguerite, C., & Nagler, J. (2017). Bericht zur Auswahl, Auslegung und Integration von Speichern in verallgemeinerungsfähiger Form (Technische Grundlagen zur signifikanten Integration dezentral vorliegender alternativer Wärmequellen in Wärmenetze). AIT, TU Wien.

Geyer, R., Hangartner, D., Lindahl, M., & Pedersen, S. V. (2019). IEA Heat Pumping Technologies Annex 47: Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems.

Giuntoli, J.; Agostini, A.; Edwards, R.; Marelli, L. (2017) Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions. Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767. Version 2. JRC Science for Policy Report. Doi:10.2790/27486

Goers, Sebastian & Schneider, Friedrich & Steinmüller, Horst & Tichler, Robert. (2020). Wirtschaftswachstum und Beschäftigung durch Investitionen in Erneuerbare Energien. Volkswirtschaftliche Effekte durch Investitionen in ausgewählte Produktions- und Speichertechnologien. 10.13140/RG.2.2.33296.64003.

Große, R., Binder, C., Wöll, S., Geyer, R., & Robbi, S. (2017). Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU. Publications Office of the European Union.

Handler, M.; Reinprecht, A.; Schrattenecker, I.; Trebut, F. (2020). Prozessbegleitung – Erarbeitung der Wärmestrategie (www.bmlrt.gv.at/umwelt/energiewende/waermestrategie.html).

Handler, M.; Reinprecht, A.; Schrattenecker, I.; Trebut, F. Prozessbegleitung – Erarbeitung der Wärmestrategie (www.bmlrt.gv.at/umwelt/energiewende/waermestrategie.html), 2020.

Herold, K. E., Radermacher, R., & Klein, S. A. (2016). Absorption chillers and heat pumps (Second edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.

<https://austrian-heatmap.gv.at/karte> (28.06.2023)

<https://energieinstitut-linz.at/portfolio-item/gmunden-high-temperature-link>

<https://www.euroheat.org/news/policy-updates/recommendations-waste-heat-recovery-urban-agenda-energy-transition-partnership>.

IEA TCP on DHC. (2023). ANNEX XIII PROJECT 02. www.iea-dhc.org/the-research/annexes/annex-xiii/annex-xiii-project-02

Johannes Pelda, Roman Geyer, Colin Sinclair, Romana Stollnberger, Ernst Gebetsroither-Geringer, & Stefan Holler. (2019). MEMPHIS – Methodology to Evaluate and Map the Potential of Waste Heat from Industry, Service Sector and Sewage Water by Using Internationally Available Open Data.

Karamarkovic et al.: Recuperator for waste heat recovery from rotary kilns, Applied Thermals Engineering, 2023

Kleine Zeitung (2021) Ende einer Ära – Die letzten 20 Mitarbeiter müssen das RHI-Werk in Trieben verlassen. Homepage-Artikel vom 27.9.2021. Web: www.kleinezeitung.at/steiermark/enstal/6039657/Ende-einer-Aera_Die-letzten-20-Mitarbeiter-muessen-das-RHIWerk-in (2022-04-01).

Klimaschutz & Energie: www.open3.at/regierungsprogramm/03-01-Klimaschutz-Energie.html#industrie-und-gewerbe-ein-green-deal-fur-osterreichs-wirtschaft.

Köflinger, M., Geyer, R., & Basciotti, D. (2017). Methoden zur Auswahl, Auslegung und Integration von Wärmepumpen (D5.2).

Mangold, D., & Deschaintre, L. (2015). Seasonal thermal energy storage. Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme.

Mark Sommer & Kurt Kratena & Ina Meyer & Mathias Kirchner, 2017. „Energieszenarien 2030/2050: Energieökonomische Auswirkungen der Realisierung von Effizienzpotentialen in Industrie und Haushalten,“ WIFO Studies, WIFO, number 60784

Marktgemeinde Kundl (2018) Kundl ist „Abwärmepionier“. Homepage-Beitrag vom 15.1.2018. Web: www.kundl.tirol.gv.at/aktuelles/news/newsarchiv/kundl_ist_abwaermepionier (2022-04-01).

Mauschitz, Gerd (2021): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie: Berichtsjahr 2020. Wien.

McKenna, Norman: Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK

Moser et al., Open Heat Grid. Beschreibung möglicher Konzepte eines offenen Wärmenetzes. BMVIT Berichte aus Energie- und Umweltforschung 1g/2018

Moser et al., Open Heat Grid. Empfohlenes Konzept eines offenen Wärmenetzes und Ansprüche an Gesetzgebung und Regulierung. BMVIT Berichte aus Energie- und Umweltforschung 1h/2018

Moser et al., Open Heat Grid. Marktdesign-bedingte, gesetzliche und regulatorische Barrieren sowie hemmende technische Standards für die Etablierung eines Hybridnetzes, BMVIT Berichte aus Energie- und Umweltforschung 1e/2018

Moser et al., Renewables4Industry, Politische Empfehlungen. Berichtsteil 3/3. Endbericht, im Auftrag des Klima- und Energiefonds, 2019.

Moser, S., & Jauschnik, G. (2023). Using Industrial Waste Heat in District Heating: Insights on Effective Project Initiation and Business Models. MDPI Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su151310559>

Moser, Lassacher (2020) External use of industrial waste heat – An analysis of existing implementations in Austria. Journal of Cleaner Production 2020.

Moser, Puschnigg, Rodin (2020) Heat Merit Order. Energy.

Moser, S., & Lassacher, S. (2020). External use of industrial waste heat – An analysis of existing implementations in Austria. Journal of Cleaner Production, 264, 121531. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121531

Murhammer, Christoph: Ermittlung industrieller Abwärmepotentiale mit Schwerpunkt Holzindustrie, Herstellung von Biotreibstoffen und Gasinfrastruktur, Masterarbeit Montanuniversität Leoben, 2023

NEFI – New Energy for Industry: Pathway to industrial ecarbonization, Scenarios for the development of the industrial sector in Austria, Vienna, 2022, www.nefi.at/files/media/Pdfs/NEFI_Szenarienbericht_v15_WHY_Design.pdf (20.06.2023)

Österreichische Emissionshandelsstelle, Stand der Einhaltung, www.emissionshandelsregister.at/oeffentlicheberichte/standdereinhaltung

Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). D1.4 Accessible urban waste heat (Revised version). 168.

Persson, U., Möller, B., & Wiechers, E. (2017). Heat Roadmap Europe, Deliverable 2.3: A final report outlining the methodology and assumptions used in the mapping. heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/D2.3_Revised-version_180928.pdf

Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E. (2003) Plant Design and Economics for Chemical Engineers (5th ed.) McGraw-Hill Higher Education.

Philipp Stadler (2022) Genial: Steirische Gemeinde Kindberg recycelt Industrie-Abwärme zum Beheizen von Volksschule & Wohnungen. Web-Artikel vom 18.03.2022: neuezeit.at/fernwaerme-kindberg/amp/# (2022-05-09).

Reinholdt, L., Kristofersson, J., Zühlsdorf, B., & Et Al. (2018). Heat pump COP, part 1: Generalized method for screening of system integration potentials. [Data set]. International Institute of Refrigeration (IIR). doi.org/10.18462/IIR.GL.2018.1380

Salzburger Nachrichten (2021) OMV-Raffinerie Schwechat heizt Flughafen mit Abwärme. Artikel vom 1.12.2021. Web: www.sn.at/wirtschaft/oesterreich/omv-raffinerie-schwechat-heizt-flughafen-mit-abwaerme-113354941 (2022-04-01).

Schnitzer, H., Schmied, J., Titz, M., Jägerhuber, P., Enzi, C., & Filzwieser, P. (2012). Abwärmekataster Steiermark Endbericht.

Sebastian Blömer, Christian Götz, Martin Pehnt, Dominik Hering, Susanne Ochse, Sabrina Hespeler, Stephan Richter, Peter Thomassen, Gerd Grytsch, Claus Zopff, Stefan Jäger, & Bernd Huber. (2019). EnEff:Wärme—Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Schlussbericht_EnEffW%c3%a4rme-NENIA.pdf

sEEnergies: Excess heat potentials of industrial sites in Europe

Stark, S., Uthoff, F., & Miller, J. A. (2020). Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung.

Stoelzle Oberglas (2019) Stoelzle Oberglas und seine Holding produzieren grüne Energie. Web-Artikel vom 19.3.2019: www.stoelzle.com/sto/stoelzle-oberglas-und-seine-holding-produzieren-grune-energie/ (2022-04-28).

Tanja Tötzer, Romana Stollnberger, Roland Krebs, Mara Haas, & Christoph Biegler. (2019). Energetische Auswirkungen von Urban Manufacturing in der Stadt. 44.

Technology Data—Energy Plants for Electricity and District heating generation. (2016). Danish Energy Agency. ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_el_and_dh.pdf

Tichler, Robert. (2009). Optimale Energiepreise und Auswirkungen von Energiepreisveränderungen auf die öö. Volkswirtschaft. Analyse unter Verwendung des neu entwickelten Simulationsmodells MOVE.

V. Rodin, S. Moser, "The perfect match? 100 reasons why energy cooperation is not realized in industrial parks", ERSS Vol 74, 2021, 101964, ISSN 2214-6296. doi.org/10.1016/j.erss.2021.101964

Waste-heat.eu. (2019). Waste Heat Potential. www.waste-heat.eu/waste-heat-potential

Wolf, S. (2016). Integration von Wärmepumpen in industrielle Produktionssysteme. Universität Stuttgart.

Wolfgang Gruber-Glatzl, Rebecca Krainz, Jürgen Fluch, Franz Mauthner, Andreas Hammer, Elisabeth Lachner, Thomas Kienberger, Marcus Hummel, & Andreas Müller. (2021). Abwärmekataster III Steiermark – Öffentlicher Kurzbericht. www.aee-intec.at/0uploads/dateien1573.pdf

Wolfgang Loibl. (2017). HEAT_re_USE.vienna: Sondierung zur systematischen Nutzung von Abwärmepotenzialen in Wien (S. 45).

Anhang A

Projektname	Umfang	Methode	Erhobenes Potenzial	Temperaturauflösung	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung	Quelle
Austrian Heat Map	National	Abschätzung des Abwärmepotenzials über Emissionsdaten und anlagespezifischen Emissionswerten bzw. über Produktionsmengen	Technisch & wirtschaftlich	Mittel	Niedrig	Hoch	(Büchele et al., 2021)
Erhebung bestehender Projekte zur externen Abwärmenutzung	National	Erhebung bestehender Projekte über Literaturrecherche und Interviews	–	Keine Information	Niedrig	Hoch	(Moser & Lassacher, 2020)
Energiemosaik	National	Abschätzung des Energieverbrauchs auf Gemeindeebene durch Kombination von Strukturdaten und Energiedaten	–	Keine Information	Keine Information	Mittel	(Abart-Heriszt et al., 2020)
ReUseHeat	Europäisch	Abschätzung des Abwärmepotenzials für unkonventionelle Quellen mittels Modellen zu relevanten Prozessen und entsprechenden Standortdaten. Für Rechenzentren und Lebensmittelindustrie basiert die Abschätzung auf statistischen Auswertungen.	Theoretisch & technisch nutzbar	Hoch	Mittel	Hoch	(Persson et al., 2020)
Heat_Re_Use.Vienna	Regional	Abschätzung des Abwärmepotenzials für ausgewählte Unternehmen basierend auf Proxy-Daten aus der Literatur.	Nutzbar	Hoch	Niedrig	Hoch	(Wolfgang Loibl, 2017)
ENUMIS	Regional	Abschätzung des Abwärmepotenzials für ausgewählte Unternehmen basierend auf Proxy-Daten aus der Literatur.	Nutzbar	Hoch	Niedrig	Hoch	(Tanja Tötzer et al., 2019)
MEMPHIS	Europäisch	Abschätzung des Abwärmepotenzials für ausgewählte Unternehmen basierend auf Proxy-Daten aus der Literatur.	Theoretisch	Hoch	Niedrig	Hoch	(Johannes Pelda et al., 2019)
MEMPHIS 2.0	Europäisch	Abschätzung des Abwärmepotenzials für ausgewählte Unternehmen basierend auf Proxy-Daten aus der Literatur inkl. Qualitativer Abschätzung der zukünftigen Veränderung	Theoretisch	Hoch	Mittel	Hoch	(IEA TCP on DHC, 2023)



Projektname	Umfang	Methode	Erhobenes Potenzial	Temperaturauflösung	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung	Quelle
Heat Roadmap Europe 4	Europäisch	Abschätzung des Abwärmepotenzials über Emissionsdaten und branchenspezifischen Emissionswerten.	Theoretisch	Keine Information	Niedrig	Hoch	(Persson et al., 2017)
sEEnergies	Europäisch	Abschätzung der Abwärmepotenziale von Industriestandorten über Brennstoffmix und Abgastemperaturen der relevanten Prozesse.	Nutzbar	Niedrig	Niedrig	Hoch	(Fleiter et al., 2020)
CE_HEAT	Europäisch	Erhebung von Abwärmepotenzialen über Fragebögen, unternehmensspezifischen Emissionsdaten und Literaturdaten.	Theoretisch	Hoch	Mittel	Hoch	(Waste-heat.eu, 2019)
Abwärmekataster Steiermark 2012	Regional	Erhebung von Abwärmepotenzialen über direkte Unternehmenskontakte und darauf aufbauende Abschätzung der Potenziale über Proxy-Daten	Technisch, wirtschaftlich & umsetzbar	Hoch	Hoch	Mittel	(Schnitzer et al., 2012)
Abwärmekataster III Steiermark	Regional	Erhebung von Abwärmepotenzialen mittels öffentlicher Unternehmensdaten (in Kombination mit Kenntnissen zu Prozessabläufen), Fragebögen und statistischer Top-Down Analysen	Theoretisch, technisch (bereits genutzt & ungenutzt)	Hoch	Hoch	Hoch	(Wolfgang Gruber-Glatzl et al., 2021)
EnEff:Wärme – netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA)	National (Deutschland)	Erhebung von Abwärmepotenzialen über Informationen zu Rauchgasströmen, allgemeinen Emissionsdaten und verfahrensspezifischen Kennwerten zu strombasierten thermischen Prozessen	Theoretisch, technisch & wirtschaftlich netzgebunden nutzbar	Hoch	Hoch	Hoch	(Sebastian Blömer et al., 2019)

Tabelle 28
Übersicht der gesammelten Abwärmeehebungen

Anhang B

Anhang Deliverable 5.2 und 5.3 – Bericht zu Geschäftsmodellen, Barrieren & Risiken, Vor- und Nachteile sowie volkswirtschaftlicher Mehrwert der Nutzung industrieller Abwärme

Anhänge, im nachfolgenden Abschnitt eingefügt sind:

- Fragebogen gemäß Kapitel „Umfrage zu erfolgreichen Umsetzungen“
- Gesammelte Antworten der Expert*innenumfrage gemäß Kapitel „Vor- und Nachteile von Abwärmenutzungen im Vergleich zu ausgewählten Energieträgern“
- Gesammelte Antworten der Expert*innenumfrage gemäß Kapitel „Potentielle Barrieren der (überbetrieblichen) Abwärmenutzung und Lösungsansätze“

Anhang: Fragebogen

FRAGEBOGEN

„Erfahrungen aus bestehenden Umsetzungen betriebsexterner Wärmebereitstellung“

im Rahmen des vom Klima- und Energiefonds
finanzierten Projekts „INXS – Industrial Excess Heat“

Dezember 2021

Motivation: Die betriebsexterne Nutzung von Abwärme oder Überschusswärme ist in Österreich immer noch nicht Standard – weder hinsichtlich der Umsetzung noch hinsichtlich dessen, dass diese Möglichkeit überhaupt in Betracht gezogen oder ernsthaft weiterverfolgt wird. **Die Umsetzung Ihres Unternehmens hat daher Vorbildcharakter.** Unser wissenschaftliches Ziel ist es daher, zu verstehen, wie es zur Umsetzung gekommen ist und wie diese funktioniert – um idealerweise ableiten zu können, was die Gemeinsamkeiten mit anderen Vorbildprojekten sind.

Ziel ist es, dafür Folgendes herauszufinden:

- Wie ist die Kooperation entstanden?
- Wie funktioniert die externe Wärmebereitstellung, aus technischer Sicht?
- Wie funktioniert die externe Wärmebereitstellung, aus wirtschaftlicher Sicht?
- Wie konnte man Risiken und Unsicherheiten überwinden?

ANONYMITÄT: Wenn Sie diesen Fragebogen ausfüllen, wird in Publikationen (nur) der Name des Unternehmens als „an der Umfrage teilnehmendes Unternehmen“ in einer Liste angegeben. Ansonsten werden Ihre Antworten anonym behandelt. Ihre Angaben in diesem Fragebogen werden in Publikationen nicht der Firma zugeordnet. Firmenspezifische Angaben und Daten werden nicht an Dritte weitergegeben.

ANTWORT mittels Formular oder Telefonat: Wenn Sie sich entscheiden, den Fragebogen auszufüllen, können Sie dies in diesem Formular tun. Wir können auch ein Telefonat vereinbaren, in dem wir mit Ihnen dieses durchgehen – die Verschriftlichung obliegt somit uns. Melden Sie sich gerne!

Ansprechpartner*innen am Energieinstitut an der JKU Linz:

Gabriela Jauschnik, Junior Researcher,
jauschnik@energieinstitut-linz.at, 0732-2468-5648

Simon Moser, Key Researcher,
moser@energieinstitut-linz.at, 0732-2468-5658

Unternehmen/Person

Ihr Unternehmen:	
Name:	
Aufgabe/Position im Unternehmen:	
Ihr Kooperationspartner (Unternehmen):	

1. Wie ist die Kooperation entstanden?

Wer/was war <u>am ehesten</u> ausschlaggebend für die Entstehung der Kooperation, wer initiierte diese?	
<input type="checkbox"/>	Nicht (mehr) bekannt
<input type="checkbox"/>	Idee unserer (damaligen) Geschäftsführung
<input type="checkbox"/>	Idee unserer Mitarbeiter*innen
<input type="checkbox"/>	Idee der Geschäftsführung des Kooperationspartners
<input type="checkbox"/>	Idee der Mitarbeiter*innen des Kooperationspartners
<input type="checkbox"/>	Dritte: Bürgermeister*in, Standortagentur, Interessenvertretung oder andere (bitte erläutern)
<input type="checkbox"/>	Dritte: Audit, Berater*in, Forschung
<input type="checkbox"/>	Rechtliche Vorgaben, z. B. im Zuge der Anlagengenehmigung oder ähnlichem
<input type="checkbox"/>	Technisch-wirtschaftliche Notwendigkeit wegen vorhandener Abwärme/Überschusswärme
[Ihre optionalen Anmerkungen/Ergänzungen]	

„Initialzündung“: Wie entstand die Idee, zu kooperieren?

Wer redete mit wem? War es Zufall, gab es einen Anlass?

[IHR TEXT]

Umsetzungsprozess

Welche Schritte waren erforderlich, um die Realisierung voranzutreiben (Messungen, Besprechungen, Versicherungen, Vertragsverhandlungen, externe Informationsbeschaffung, interne Überzeugungsarbeit, welche Ebenen mussten eingebunden werden ...)? Wie konnte Vertrauen über bereitgestellte Informationen aufgebaut werden? Wie lange dauerte der Prozess?

[IHR TEXT]

2. Wie funktioniert die Wärmebereitstellung aus technischer Sichtweise?

Grunddaten

	Maximale Leistung [MW]
	Übergebene Jahresmenge, die als üblich/normal gilt [MWh]

Welche Charakterisierung trifft am ehesten auf die Quelle der bereitgestellten Wärme zu?

- Überschusswärme aus einer (erforderlichen) industriellen Verbrennung
- Abwärme aus einem Prozess, über Wärmetauscher direkt einspeisbar/nutzbar
- Abwärme aus einem Prozess, aufbereitet über eine Wärmepumpe

[Ihre optionalen Anmerkungen/Ergänzungen]

Welche Charakterisierung trifft am ehesten auf die Nutzung der bereitgestellten Wärme zu?

- Grundlastabdeckung beim abnehmenden Kooperationspartner
- Einspeisung nur in der Heizsaison
- Anderes:

[Ihre optionalen Anmerkungen/Ergänzungen]

Aus welchem Prozess stammt die Wärme?

Bitte beschreiben Sie kurz die „Quelle“ der Kooperation. Kurze Erklärung wie z. B. Abwasser oder Rauchgas oder Nachverbrennung, Konvektionswärme etc. Idealerweise inkl. Temperatur, max. Leistung, Beschreibung des Profils (Wochenende, Schichten, Tag/Nacht, Batchprozess, etc.), gelieferte Menge pro Jahr.

[IHR TEXT]

Speicher/Backup

Bei wem liegt die Betriebsführung? Kann immer eingespeist werden/muss immer abgenommen werden? Gibt es wegen der Prozess-Fluktuation Speicher oder Backups? Bei Ihnen oder beim Kooperationsbetrieb?

[IHR TEXT]

Wärmenetz/Wärme nutzender Betrieb

Bitte beschreiben Sie kurz die „Senke“ der Kooperation. Temperaturniveau des Wärmenetzes oder des nutzenden Prozesses. Idealerweise inkl. alternativer Wärmequelle (was ersetzt die Abwärme/Überschusswärme?), Temperatur (z. B. Sommer/Winter), Gesamtmenge des Netzes/Betriebs?

[IHR TEXT]

Zeitpunkt

- Die Kooperation startete zum Zeitpunkt des Betriebsbeginns/einer starken Veränderung beim abnehmenden Partnerunternehmen (z. B. mit Inbetriebnahme Fernwärmenetz)
- Die Kooperation startete zum Zeitpunkt des Betriebsbeginns/einer starken Veränderung beim bereitstellenden Partnerunternehmen (z. B. mit Neuerrichtung von Anlagen)

3. Wie funktioniert die Wärmebereitstellung aus wirtschaftlicher Sichtweise?

Organisation der Kooperation

*Vertrag zwischen zwei unabhängigen Partner*innen? Oder Joint Venture, d. h. gemeinsames Tochterunternehmen? Oder Contracting über Dritte? Oder sind/waren Abnehmer*in und Lieferant*in bereits verbundene Unternehmen?*

[IHR TEXT]

Finanzierung/Investition

*Wie wurde die Finanzierung verteilt? Wer hat welche Kostenbestandteile übernommen (Wärmerückgewinnung, Auskoppelung, Übergabe, Zubringer-Leitung, Speicher, Backup, Wärmepumpe)? Wer ist für was verantwortlich (Betrieb, Wartung)? Optional: Wie hoch war die Gesamtinvestition der beteiligten Partner*innen?*

[IHR TEXT]

Verrechnung der Wärme

*Wird nach kWh abgerechnet oder gibt es andere Preis-Bestandteile (einmalige Zahlungen, jahresweise z. B. für Verfügbarkeit, Sprünge bei höheren Einspeise-Leistungen)? Ist der Wärmepreis fix oder orientiert er sich an anderen Energiepreisen (Gas, Biomasse)? Sind Strafen bei Nichtverfügbarkeit/Nichteinspeisbarkeit vorgesehen? Gab es unterschiedliche Phasen der Verrechnung (z. B. am Anfang der Kooperation zugunsten der Investor*innen)? Optional: wie hoch ist der Preis aktuell?*

[IHR TEXT]

Wirtschaftlichkeit

Optional: Amortisationszeit des Projekts für Ihr Unternehmen [Jahre]

Vertragliches

Gab es einen Mustervertrag als Vorlage? Welche Kategorien/Überschriften enthält der Vertrag? Würden Sie die Vertragsentwicklung als höchst komplex/aufwändig bezeichnen? Optional: können Sie Ihren Vertrag zur Verfügung stellen (interessant sind für uns nur die genannten Kategorien/Überschriften und Regelungen, nicht die Preise)?

[IHR TEXT]

4. Risiken, Unsicherheiten

Welche allgemeinen Unsicherheiten und Risiken wurden identifiziert und welche Maßnahmen wurden gegebenenfalls getroffen?

Energiemarkt-Preisänderungen? CO₂-Preisänderungen? Preisindex-Bindung als Gegenmaßnahme?

[IHR TEXT]

Welche beim Wärme abnehmenden Partnerunternehmen liegenden Unsicherheiten und Risiken wurden identifiziert und gegebenenfalls Maßnahmen getroffen?

Bankrott/Schließung des Standorts? Neue/günstige Wärmequellen? Geringerer Bedarf?

[IHR TEXT]

Einpreisen von Risiken und Unsicherheiten

Wie wurden die Risiken und Unsicherheiten monetär bewertet?

Wie spiegeln sich diese in den geforderten Amortisationszeiten wider?

[IHR TEXT]

Anhang:**Expert*innenumfrage: Vor-/Nachteile von interner, externer und keiner Abwärmenutzung aus Sicht eines Produktionsunternehmens****Verwertungsalternative: Interne Verwertung von Abwärme**

Perspektive	Vorteile	Nachteile
wirtschaftlich (Kosten vs. Mehrwert)	<ul style="list-style-type: none"> – Verringerung Endenergiebedarf, Erhöhung der (allgemeinen und internen) Energieeffizienz – Einfache Berechnung der Maßnahmeneffekte, Parameter bekannt, keine Aufteilung der erzielten Kosteneinsparung – Einsparungen (fossiler) Energiekosten – Geringerer Brennstoffverbrauch – Abnahme von Kontroll- & Sicherheitseinrichtungen – geringere CO₂-Emissionen – Benefit bei Energiemarktpreissteigerungen (Risikominderung) 	<ul style="list-style-type: none"> – Investitionskosten – Laufende Betreuung und Wartung der Anlagen – Bei geringer Qualität der Wärme ist die effiziente Nutzung schwierig/höhere Kosten, weil größere WT notwendig – potentieller Platzverlust (wenn mehr Maschinen im Raum untergebracht werden müssen) – Stillstandszeiten während Umbau
wirtschaftlich (Unternehmensvermarktung ggü. Externen)	<ul style="list-style-type: none"> – (Auch) positive Image-Wirkung 	—
wirtschaftlich (Unternehmensstrategie)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Abhängigkeiten von Dritten – Verringerung der Abhängigkeit von preisvolatilen Primärenergieträgern – Einsparungen (fossiler) Energien und Kosten – Rückkühler können reduziert oder eingespart werden – Effizienz als Teilmaßnahme für die Umstellung zur Klimaneutralität 	<ul style="list-style-type: none"> – potentieller Platzverlust (wenn mehr Maschinen im Raum untergebracht werden müssen) – potentieller interner Lock-in durch interne Abhängigkeiten unter den Prozessen
wirtschaftlich (Organisatorisch)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Abhängigkeiten von Dritten in Bezug auf Abwärmebereitstellung/-nutzung – Einfache Berechnung der Maßnahmeneffekte, Parameter bekannt, keine Aufteilung der erzielten Kosteneinsparung – Prozessdaten, deren Qualität und Herkunft sind bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> – Laufende Betreuung und Wartung der Anlagen – Stillstandszeiten während des Umbaus – potentieller Platzverlust (wenn mehr Maschinen im Raum untergebracht werden müssen) – bei niedrigem Temperaturniveau geeignete Wärmeabnehmer finden – evtl. Neugenehmigung notwendig durch Änderung an Bestandsanlagen
rechtlich/regulatorisch	<ul style="list-style-type: none"> – leichtere Erfüllung von Umweltauflagen durch geringere Wärmeemissionen – bei sehr hohen Abwärmemetemperaturen, die bisher in den Raum abstrahlen: Mitarbeiterschutz/besseres Raumklima 	<ul style="list-style-type: none"> – evtl. Neugenehmigung notwendig durch Änderung an Bestandsanlagen



Perspektive	Vorteile	Nachteile
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> – Einsparungen (fossiler) Energie – geringere Luftverschmutzung – weniger Abgase mit hoher Temperatur – geringere Wärmeimmissionen in die Umwelt (Luft, Wasser) – geringere CO₂/GHG Emissionen 	—
sozial (externes/internes Vertrauen)	<ul style="list-style-type: none"> – bei sehr hohen Abwärmepertemperaturen, die bisher in den Raum abstrahlen: Mitarbeiterschutz/besseres Raumklima 	—
technisch	<ul style="list-style-type: none"> – Verringerung Endenergiebedarf, Erhöhung der (allgemeinen und internen) Energieeffizienz – Keine Abhängigkeiten von extern kontrollierten Prozessen – Prozessdaten, deren Qualität und Herkunft sind bekannt – Geringerer Brennstoffverbrauch – Abnahme von Kontroll- & Sicherheitseinrichtungen – Zubehör wie Pumpen, Filter, Ventilatoren usw. nicht mehr nötig – Anfall von Abwärme und Bedarf im Betrieb meist synchron und nicht quasi antizyklisch – Rückkühler können reduziert oder eingespart werden – Rücksichtnahme auf prozessbedingte Anforderungen (Quellen und Senke) leichter möglich als bei externer Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> – Interne Abhängigkeiten unter den Prozessen – Laufende Betreuung und Wartung der Anlagen – Bei geringer Qualität der Wärme ist die effiziente Nutzung schwierig/höhere Kosten, weil größere WT notwendig – schlechtere Zugänglichkeit von Gerätschaften – bei niedrigem Temperaturniveau geeignete Wärmeabnehmer finden – Mehr Fehlerquellen – gesteigerte Anagenkomplexität
politisch	<ul style="list-style-type: none"> – Verringerung Endenergiebedarf, Erhöhung der (allgemeinen und internen) Energieeffizienz – geringere CO₂-Emissionen 	—

Tabelle 29
Interne Verwertung von Abwärme

Verwertungsalternative: Externe Verwertung von Abwärme

Perspektive	Vorteile	Nachteile
wirtschaftlich (Kosten vs. Mehrwert)	<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzliches Einkommen, geringere Nettoenergiekosten – Valorisierung von Abfall Abwärme => daraus erzielbare Einkünfte – evtl. gemeinsame Nutzung von Anlagen mit anderen Betrieben – Auch intern vorteilhafte Anlagen/ Anlagenänderungen können (erst) durch die gemeinsame Nutzung mit externen Abnehmern wirtschaftlich werden und somit zu Optimierungen beitragen. – evtl. Rückeinspeisung aus dem Netz und Prosumer-Rolle mit Nutzung des Netzes als Speicher --> geringere Investitionskosten 	<ul style="list-style-type: none"> – Investitionskosten – Preisverhandlungen bzw. Teilen der Energiekosteneinsparung – Risiko falls Betrieb keine Abwärme mehr liefern kann, Standortschließung usw. – Bei Ausfall/Schwankungen der Abwärme (ungeplanter Stillstand) können zusätzliche Investitionen notwendig sein (Speicher, Backup) => zusätzliche Kosten – Stillstandzeiten während des Umbaus – potentieller Platzverlust (wenn mehr Maschinen im Raum untergebracht werden müssen) – nicht kontinuierlicher Anfall könnte Speicher notwendig machen – Verschmutzung des Abwärmestroms (teure Reinigungssysteme) – Schwierigkeit in der Bewertung des Wertes des Abwärmestroms – Betriebsstandorte oft weiter weg von Abnehmer (Wohnanlagen,..) (Servitute)
wirtschaftlich (Unternehmensvermarktung ggü. Externen)	<ul style="list-style-type: none"> – Positive Image-Wirkung/Markeneffekte möglich – Überbetriebliche gemeinschaftliche Zusammenarbeit – Abwärme kann ggf. als negatives CO₂ gegengerechnet werden – Verminderung von CO₂-Emissionen – hohe Sichtbarkeit nach außen 	—
wirtschaftlich (Unternehmensstrategie)	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung von Abwärme, die intern nicht genutzt werden kann – Erweiterung der Verwertungsmöglichkeiten – Abwärme kann als negatives CO₂ gegengerechnet werden – Valorisierung von Abfall Abwärme – systemintegrierte und bewusstere Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Verringerung des Endenergie-Bedarfs, nur des Nettoenergiebedarfs – Keine Erhöhung der internen Energieeffizienz – Risiko falls Betrieb keine Abwärme mehr liefern kann, Standortschließung usw. – Abhängigkeiten von Dritten – Lieferverpflichtung von Abwärme – Abhängigkeit von Abnehmern und Versorgungsverpflichtung



Perspektive	Vorteile	Nachteile
wirtschaftlich (Organisatorisch)	<ul style="list-style-type: none"> – ggf. betreibt jemand anders die Anlage (Outsourcing) – evtl. gemeinsame Nutzung von Anlagen mit anderen Betrieben – meist keine Neugenehmigung notwendig durch Beibehaltung der Bestandsanlagen – Möglichkeit zur Finanzierung der anfallenden Investkosten durch Wärmeabnehmer 	<ul style="list-style-type: none"> – Komplexität der Koordinierung und Organisation – Weniger Information zu Senke als über eigene Anlagen – Vertragserstellung, Verhandlungen, regelmäßige Nachverhandlungen – Preisverhandlungen bzw. Teilen der Energiekosteneinsparung – Geringere Verlässlichkeit der Prozessdaten, Qualität und Herkunft – Laufende Betreuung und Wartung der Anlagen – Risiko falls Betrieb keine Abwärme mehr liefern kann, Standortschließung usw. – Bei Ausfall der Wärme können zusätzliche Investitionen notwendig sein – Betriebsstandorte oft weiter weg von Abnehmer (Wohnanlagen,..) (Servitute) – Schwierigkeit in der Bewertung des Wertes des Abwärmestroms
rechtlich/regulatorisch	<ul style="list-style-type: none"> – leichtere Erfüllung von Umweltauflagen durch geringere Wärmeemissionen – Abwärme kann als negatives CO₂ gegengerechnet werden – meist keine Neugenehmigung notwendig durch Beibehaltung der Bestandsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> – Eigentumsrechte, Systemgrenzen müssen abgeklärt werden – Liefer- und/oder Abnahmeverpflichtung von Abwärme – Mindesttemperaturen einhalten bei Einspeisung in FW Netz – Betriebsstandorte oft weiter weg von Abnehmer (Wohnanlagen,..) (Servitute) – Abhängigkeit von Abnehmern und Versorgungsverpflichtung – sonstige rechtliche Verpflichtungen aufgrund Vertragsschlusses
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> – Verminderung von GHG/CO₂-Emissionen – geringere Luftverschmutzung – weniger Abgase mit hoher Temperatur – Rückkühler können reduziert oder eingespart werden => geringere Wärmeimmissionen in die Umwelt (Luft, Wasser) 	—
sozial (externes/internes Vertrauen)	<ul style="list-style-type: none"> – Überbetriebliche gemeinschaftliche Zusammenarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Gute Beziehungen zwischen den Betrieben oft vorausgesetzt – Innerbetriebliche Überzeugungsarbeit evtl. notwendig – Eigentumsrechte, Systemgrenzen müssen abgeklärt werden – Preisverhandlungen



Perspektive	Vorteile	Nachteile
technisch	<ul style="list-style-type: none"> – Rückkühler können reduziert oder eingespart werden – durch Nutzung extern evtl. Temperaturerhöhung durch Anlage, die man sich intern nicht leisten würde – evtl. Rückeinspeisung aus dem Netz und Prosumer-Rolle mit Nutzung des Netzes als Speicher --> geringere Investkosten – Die monetäre Vergütung (€/MWh) gibt Abwärme einen Wert und ermöglicht damit die Optimierung des internen Verbrauchs 	<ul style="list-style-type: none"> – Weniger Information zu Senke als über eigene Anlagen – Keine Erhöhung der internen Energieeffizienz – Geringere Verlässlichkeit der Prozessdaten, Qualität und Herkunft – Laufende Betreuung und Wartung der Anlagen – Systemgrenzen müssen abgeklärt werden – Abhängigkeiten von externen Prozessen – Backup teilweise notwendig, vor allem bei großen Wärmemengen – potentieller Platzverlust (wenn mehr Maschinen im Raum untergebracht werden müssen) – nicht kontinuierlicher Anfall könnte Speicher notwendig machen – Mindesttemperaturen einhalten bei Einspeisung in FW Netz – generell Zusammenspiel Temperatur & Leistung von Abwärmequelle & Wärmesenke – Schwankungen bei der Verfügbarkeit von AW (ungeplanter Stillstand) -> zusätzlicher Speicher benötigt -> zusätzliche Kosten – Verschmutzung des Abwärmestroms (teure Reinigungssysteme) – Betriebsstandorte oft weiter weg von Abnehmer (Wohnanlagen,...) – Schwierigkeit in der Bewertung des Wertes des Abwärmestroms
politisch	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der (allgemeinen, nicht der internen) Energieeffizienz – Überbetriebliche gemeinschaftliche Zusammenarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Verringerung des Endenergie-Bedarfs, nur des Nettoenergiebedarfs
anderes	—	<ul style="list-style-type: none"> – Risiken oft nicht monetär bewertet

Tabelle 30

Externe Verwertung von Abwärme

Verwertungsalternative: Keine Verwertung von Abwärme

Perspektive	Vorteile	Nachteile
wirtschaftlich (Kosten vs. Mehrwert)	<ul style="list-style-type: none"> – Kein Investment – Keine Umplanung des Produktionsprozesses, -> keine Fortbildungen des Personals notwendig – Keine Ausfallzeiten wg. Umbauten 	<ul style="list-style-type: none"> – Energiekosten – hohe Energiekosten und CO₂-Emissionen – (als Status quo:) u.U. erhöhter Kühlbedarf im Gebäude, wenn Abwärmen aktuell abtransportiert werden müssen – ineffiziente Energienutzung – Verluste
wirtschaftlich (Unternehmensvermarktung ggü. Externen)	—	<ul style="list-style-type: none"> – Image – hohe Energiekosten und CO₂-Emissionen
wirtschaftlich (Unternehmensstrategie)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Abhängigkeiten von Dritten – keine Lock-in-Effekte durch Dritte/intern 	<ul style="list-style-type: none"> – mangelndes Wissen an Möglichkeiten (generelles Hindernis) – höhere Abhängigkeit von externer Energieversorgung
wirtschaftlich (Organisatorisch)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Abhängigkeiten – Keine Verhandlungen und Verpflichtungen – keine neuen notwendigen Genehmigungen durch Änderungen der Bestandsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> – mangelndes Wissen an Möglichkeiten (generelles Hindernis)
rechtlich/regulatorisch	<ul style="list-style-type: none"> – keine neuen notwendigen Genehmigungen durch Änderungen der Bestandsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> – Herausforderung durch steigende Umweltauflagen/Genehmigungsverfahren
Umwelt	—	<ul style="list-style-type: none"> – Herausforderung durch steigende Umweltauflagen/Genehmigungsverfahren – Verluste – hohe Energiekosten und CO₂-Emissionen
sozial (externes/internes Vertrauen)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Verhandlungen und Verpflichtungen – Keine Umplanung des Produktionsprozesses, -> keine Fortbildungen des Personals notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> – mangelndes Wissen an Möglichkeiten (generelles Hindernis)
technisch	<ul style="list-style-type: none"> – Geringere Systemkomplexität – Keine Abhängigkeiten von externen/internen Prozessen – keine Lock-in-Effekte intern/extern verursacht – Keine Umplanung des Produktionsprozesses, -> keine Fortbildungen des Personals notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> – (als Status quo:) u.U. erhöhter Kühlbedarf im Gebäude, wenn Abwärmen aktuell abtransportiert werden müssen – ineffiziente Energienutzung – Verluste – mangelndes Wissen an Möglichkeiten (generelles Hindernis) – höhere Abhängigkeit von externer Energieversorgung
politisch	—	<ul style="list-style-type: none"> – ineffiziente Energienutzung

Tabelle 31

Keine Verwertung von Abwärme

Anhang:

Expert*innenumfrage: Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu anderen Energiequellen/-konzepten

	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Erdöl	<ul style="list-style-type: none"> – schlechtes Image von Öl – geringere Umweltauswirkungen von Abwärme im Vergleich zu Öl – (gebrauchte) Abwärme hat ein recht gutes Image und steht im Einklang mit den Klimazielen (Effizienz zuerst) – Abwärme ist nicht-fossil/dekarbonisiert – keine (zusätzliche) Verbrennung für Abwärme erforderlich, daher entstehen keine Asche und keine Abgase – niedrige variable Kosten für Abwärme – stabile Kosten für Abwärme – Differenz 2019/jetzt: aktuelle Preisentwicklung und Abhängigkeit spricht für Abwärme – Preis(-steigerungen) für Öl – Abhängigkeit von anderen Ländern bei Öl – für Abwärme deutlich geringere Abhängigkeit von internationalen Entwicklungen (Preis, Planung) – Abwärme benötigt keine/weniger Lagerung im Vergleich zu Öl – kontinuierliche Einspeisung von Abwärme oder Abwärme kann auch für Lastspitzen genutzt werden – Nutzung von Abwärme für Grundlast und fossile Träger nur für Spitzenlast – Vernetzung mit Industrie und Diskussionsbasis als Vorteil 	<ul style="list-style-type: none"> – Öl ist leicht zu lagern (kurz- bis langfristig) – für Öl gibt es verschiedene Anbieter – Öl ist schnell verfügbar (Nachfragespitzen) – bei Öl ist die Qualität der Wärme (Wassertemperatur, Dampfdruck...) leicht einstellbar – Abwärme hat eine geringere kontinuierliche/sichere Verfügbarkeit – Abwärme hat ein niedrigeres Exergie-Niveau und eine geringere Speicherdichte – für Abwärme ist B2B essentiell, daher ist kein Einkauf über Wettbewerbsmärkte notwendig – die Regelbarkeit der Anlage ist bei Öl höher – bei Öl ist man nicht an eine Industrieanlage gebunden – Abwärme bietet oft nicht die Möglichkeit, Spitzenlasten abzudecken – Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Standortschließung, Prozessumstellung) – Back-up-Erzeugungskapazität muss bei Abwärme vorgehalten werden – Bei externer Versorgung mit Abwärme gibt es keine vollständige Garantie/kann es zu Versorgungsunterbrechungen kommen – Abwärme führt zu Abhängigkeiten von Industrieanlagen bei der Versorgung (Lastprofile, Abstellungen, Schließungen) – Fossile Versorgung liegt in der Verantwortung der Energieversorger bzw. der Politik, bei Abwärme liegt sie in der Verantwortung der Betriebe (?) – Bei Abwärme gibt es indirekte Auswirkungen im Falle von Versorgungsengpässen: Wie wird der Nutzer als systemrelevant eingestuft? – Bei Abwärme ist nicht automatisch klar, wer der Betreiber der einzelnen Anlagen ist.



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Kohle	<ul style="list-style-type: none"> – Kohle ist eine fossile Energiequelle – Kohle hat negative Umweltauswirkungen – Kohle hat ein schlechtes Image – CO₂-Emissionen aus der Kohleverbrennung – Abwärme ist nicht-fossil/dekarbonisiert – keine direkten Treibhausgasemissionen durch Abwärme – keine (zusätzliche) Verbrennung für Abwärme erforderlich, daher fallen keine Asche und keine Abgase an – Abwärme hat ein recht gutes Image und steht im Einklang mit den Klimazielen (Effizienz geht vor) – Abwärme ermöglicht eine feste Preisplanung – niedrige variable Kosten von Abwärme – Abwärme ist für kontinuierliche Einspeisung geeignet und teilweise für Lastspitzen einsetzbar – Abwärme schafft deutlich weniger Abhängigkeit von internationalen Entwicklungen (Preis, Planung) – Vernetzung mit der Industrie und Diskussionsgrundlage als Vorteil – Nutzung von Abwärme für Grundlast und fossilen Energieträgern nur für die Spitzenlast ist möglich – Unterschied 2019/heute: aktuelle Preisentwicklung von Kohle und Abhängigkeit vom internationalen Markt sprechen für Abwärme 	<ul style="list-style-type: none"> – Kohle ist leicht zu lagern (kurz- bis langfristig) – für Kohle gibt es verschiedene Anbieter – Kohle hat eine relativ schnelle Verfügbarkeit (Nachfragespitzen) – bei Kohle ist die Qualität der Wärme (Wassertemperatur, Dampfdruck...) leicht regulierbar – Abwärme hat eine geringere kontinuierliche/sichere Verfügbarkeit – Abwärme braucht ein Backup – die Regelbarkeit einer Abwärme-Anlage kann komplizierter sein – bei Kohle ist man nicht an eine Industrieanlage gebunden – Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko aufgrund von Abhängigkeiten (Standortschließung, Prozessänderung, Lastprofile, Abschaltungen) – Die Versorgung mit fossilen Energieträgern liegt in der Verantwortung der Energieversorgungsunternehmen oder der Politik, bei Abwärme liegt sie in der Verantwortung der Betriebe (?) – Bei Abwärme gibt es indirekte Auswirkungen im Falle von Versorgungsengpässen: Wie systemrelevant wird der Nutzer eingestuft? – Bei Abwärme ist nicht automatisch klar, wer der Betreiber der einzelnen Anlagen ist.



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Erdgas (bis 2019)	<ul style="list-style-type: none"> – Erdgas ist eine fossile Energiequelle – Erdgas hat ein schlechtes Image (allerdings besser als Öl und Kohle) – CO₂-Emissionen von Erdgas – Abwärme hat geringere Umweltauswirkungen – keine direkten Treibhausgasemissionen von Abwärme – für Abwärme ist keine (zusätzliche) Verbrennung erforderlich, daher fallen keine Asche und Abgase an – Abwärme ist nicht-fossil/dekarbonisiert – Abwärme hat ein recht gutes Image und steht im Einklang mit den Klimazielen (Effizienz an erster Stelle) – Abwärme hat niedrige variable Kosten – Geringere Preisvolatilität bei Abwärme – Abwärme ermöglicht eine feste Preisplanung – Unsicherer Preis für Erdgas – Unterschied 2019/jetzt: aktuelle Preisentwicklung und Abhängigkeit spricht für Abwärme – Abwärme ermöglicht deutlich geringere Abhängigkeit von internationalen Entwicklungen (Preis, Planung) – bei Erdgas besteht eine Abhängigkeit von anderen Ländern – Abwärme kann zur kontinuierlichen Einspeisung oder teilweise für Lastspitzen genutzt werden. – Nutzung von Abwärme für Grundlast und fossile Energieträger nur für Lastspitzen ist möglich – Vernetzung mit der Industrie und Diskussionsgrundlage als Vorteil 	<ul style="list-style-type: none"> – Erdgas ist leicht zu lagern (kurz- bis langfristig) – für Erdgas gibt es verschiedene Lieferanten – Erdgas hat eine schnelle Verfügbarkeit (Spitzenbedarf) – bei Erdgas ist die Qualität der Wärme (Wassertemperatur, Dampfdruck...) leicht regulierbar – für Erdgas ist preiswerte Heiztechnik verfügbar – Erdgas als billiger Energieträger – Abwärme bietet eine geringere kontinuierliche/sichere Verfügbarkeit – Abwärme hat ein niedrigeres Exergieniveau und eine geringere Speicherdichte – Abwärme benötigt B2B, daher ist kein Einkauf auf Wettbewerbsmärkten möglich – Abwärme hat höhere Vorlaufkosten – bei Erdgas ist die Regelbarkeit der Anlage sehr einfach – aufgrund der niedrigen Marktpreise von Abwärme noch geringe Erlöse – Abwärme bietet oft nicht die Möglichkeit, Spitzenlasten abzudecken – für Abwärme müssen Back-up-Erzeugungskapazitäten bereitgehalten werden – Bei Abwärme besteht ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standortes, Umstellung von Prozessen) – Bei Abwärme bestehen Abhängigkeiten von Industriebetrieben in der Versorgung (Lastprofile, Stillstände, Schließungen) – Bei Erdgas liegt die Verantwortung für die fossile Versorgung bei den Energieversorgern oder der Politik, nicht bei den Anlagen – Bei Abwärme gibt es eine indirekte Auswirkung bei Versorgungsengpässen: Wie systemrelevant wird der Nutzer eingestuft? – Bei Abwärme ist nicht automatisch klar, wer Betreiber der Anlagen ist

Tabelle 32

Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu fossilen Ressourcen.

	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Müllverbrennung (KWK)	<ul style="list-style-type: none"> – Abfall hat ein schlechtes Image – Abfall ist nicht oder nur teilweise erneuerbar – die Umweltauswirkungen (gemischter Abfall, Schadstoffe in den Rauchgasen...) der Müllverbrennung können hoch sein – die verfügbaren Abfallmengen sind begrenzt und könnten durch veränderte Materialmixe und Recyclingpolitik in Zukunft geringer werden – Abfallmarkt wird immer mehr umkämpft – Abfall-KWK muss ständig in Betrieb sein, da die Lagerfähigkeit des Abfalls (Hygiene, Geruch...) schwierig ist – Abfallsammlung und -trennung ist ein großer Aufwand (Transport & Logistik etc.) – für die Müllverbrennung sind Sondergenehmigungen erforderlich – für Abwärme ist keine (zusätzliche) Verbrennung erforderlich, daher fallen keine Asche und Abgase an – Abfallverwertung erfordert eine teure Anlagentechnologie (aufwändige Abgasreinigung) – bei Abwärme fallen geringere Investitionskosten an – Abwärmeanlagen benötigen eher wenig Wartung, da üblicherweise keine Abgas-/Feinstaubfilter notwendig sind – fixe Preisabsprachen bei Abwärme möglich – Abwärmennutzung ermöglicht eine Effizienzsteigerung (Exergie-optimierte Nutzung), daher auch keine zusätzlichen Emissionen 	<ul style="list-style-type: none"> – Abfall ist ein relativ billiger „Brennstoff“, der ohnehin entsorgt werden muss, so dass die Abfall-KWK eine Lösung für 3 Probleme darstellt: Abfall, Wärme und Strom – Die tägliche Abfallerzeugung ermöglicht (theoretisch) eine konstante „lokale Versorgung“ mit Brennstoff. – Abfall-KWK sind große zentrale Anlagen, die auf die DHN-Spezifikationen (Temperaturen...) zugeschnitten sind – bei Bedarf kann Abfall von anderswo gekauft werden (interregionaler/internationaler Markt) – Theoretisch kann Abfall im B2B-Bereich gehandelt werden – kein Kauf auf konkurrierenden Märkten – Die Müllverbrennung ist eine Anlage, die rund um die Uhr betrieben werden muss und sich gut für größere Unternehmen eignet. – Abwärme braucht ein Backup – Abfallverbrennung kann ein positives Image haben („Wärme aus Abfall“), z. B. im Vergleich zur Deponierung – Abfall bedingt keine Bindung an einzelne Industriebetriebe – Abwärme hat das höhere Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Umstellung von Prozessen) – Abwärme fällt meist auf geringere Temperaturen an

Tabelle 33

Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu Abfallverbrennung

	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Biogas	<ul style="list-style-type: none"> – obwohl biogen, ist Biogas nicht CO₂-neutral – die Verwendung von langsam wachsender Biomasse gilt als nicht völlig nachhaltig – wenn der DHN-Betreiber sein eigenes Biogas produzieren muss, stellt sich die Frage, ob ein geeigneter Standort zur Verfügung steht (Logistik, Lagerung, Geruch...) – Abwärme hat niedrige variable Kosten – Abwärme muss nicht verbrannt werden, d. h. es entstehen Abgase – der Markt bzw. die Ressourcen an organischen Abfällen sind nicht unendlich – der Preis der Biogasanlagentechnik ist relativ hoch – der Betrieb von Biogasanlagen kann technisch anspruchsvoll sein – Abwärme steht nicht in Nutzungskonkurrenz zu anderen Sektoren (Energie-Wasser-Nahrungsmittel-Nexus), dies wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen – regionale Anbieter von (großen) Biogasmengen sind oft begrenzt – Abwärme ist bereits verfügbar – Abwärme ist möglicherweise einfacher zu integrieren als ein neuer Gaskessel (und eventuell eine Biogasanlage), d. h. die Infrastrukturkosten sind geringer – Biogasproduktion und -verbrennung emittieren CO₂, auch wenn es größtenteils biogen ist – Abwärme ist weniger CAPEX-intensiv – Abwärmeauskopplung ist im laufenden Betrieb kostengünstiger 	<ul style="list-style-type: none"> – Biogas gilt theoretisch als 100 % erneuerbar, während Abwärme von ihrer Primärenergiequelle abhängt – Biogas hat ein positives Image – Biogas nutzt pflanzliche Abfälle, aber auch Schlachtabfälle, Gülle, Klärgas, Deponiegas, d. h. die Umweltbelastung durch landwirtschaftliche Betriebe etc. wird reduziert, da das Gas verwertet bzw. Abfälle reduziert werden, das verbleibende Material ist auch besser für Ackerland etc. geeignet (Dünger...) – Biogas ist zumindest teilweise auch lokal verfügbar, auch aus verschiedenen Quellen – theoretisch sind verschiedene Anbieter von Biogas/ Bio-NG verfügbar (über das Gasnetz) – teilweise auch Eigenproduktion von Biogas möglich – Biogas kann über das Gasnetz eingespeist (Biomethan) oder direkt genutzt werden – Biogas-BHKW ist genauso flexibel wie ein Erdgas-BHKW – (aufbereitetes) Biogas ist gut speicherbar (kurz- bis langfristig) – wie Erdgas – Qualität der Wärme (Wassertemperatur, Dampfdruck...) leicht regulierbar – mit Biogas sind hohe Temperaturniveaus erreichbar – Gas-BHKW und Biogasanlagen sind bekannte Technologien – große Biogas-BHKW ermöglichen zentrale Wärmeerzeugung – Abwärme hat eine geringere kontinuierliche/sichere Verfügbarkeit – bei Bedarf ist die Substitution von Biogas durch Erdgas möglich – Biogas hat wenig Einfluss auf die bestehende erdgasoptimierte Infrastruktur – Abwärme braucht ein Backup – mit Biogas besteht eher keine Bindung an einzelnen Industriebetrieb – Abwärme bietet kaum die Möglichkeit zur Spitzenlastabdeckung – Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Umstellung von Prozessen)



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> – Obwohl biogen, ist Biomasse nicht CO₂-neutral. – die Nutzung von langsam wachsender Biomasse gilt als nicht vollständig nachhaltig – Abwärme hat keine Nutzungskonkurrenz mit anderen Sektoren (Energy-Water-Food-Nexus), dies wird zukünftig relevanter – Biomassepreise stiegen in letzter Zeit aufgrund des Ukraine-Krieges, auch Sturmholz ist bereits mehr oder weniger aufgebraucht – Der Markt bzw. die Ressourcen von brennbarer Biomasse sind limitiert – Abwärme muss nicht verbrannt werden, d. h. es entstehen keine Asche oder Abgase – Abwärme liegt schon vor (kein neues CO₂) – Abwärmeintegration ist weniger CAPEX-intensiv – Abwärme hat geringe variable Kosten, da z. B. kein (Straßen-)Transport benötigt wird – Biomasse benötigt Lagerflächen – Hohe Abhängigkeit von Biomasse-Lieferanten – Abwärme evtl. leichter zu integrieren als ein neuer BM-Kessel (Infrastrukturaufwand) 	<ul style="list-style-type: none"> – Biomasse gilt theoretisch als 100 % erneuerbar, während Abwärme von ihrer primären Energiequelle abhängt – Biomasse ist zumindest teilweise lokal verfügbar, auch aus verschiedenen Quellen – Biomasse ist leicht zu lagern (kurz- bis langfristig) – für Biomasse gibt es verschiedene Anbieter – bei einem Biomasse-KWK ist die Qualität der Wärme (Wassertemperatur, Dampfdruck...) leicht regulierbar – Biomasse-KWK sind eine bekannte Technologie – Biomasse-KWK ermöglicht eine zentrale Wärmeerzeugung – Abwärme bietet eine geringere kontinuierliche/sichere Verfügbarkeit – Abwärme braucht ein Backup – Biomasse hat ein eher positives Image – bei Biomasse gibt es keine Bindung an einzelne Industriebetriebe – Bei Abwärme eher keine Möglichkeit zur Spitzenlastabdeckung – Bei Abwärme höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Umstellung von Prozessen) – mit Biomasse-KWK hohe Temperaturniveaus erreichbar – bei Biomasse unabhängiger durch eigene Wärmeerzeugung

Tabelle 34

Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu Bioenergie

	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> - Solarthermie ist volatil - Solarthermie benötigt einen (saisonalen) Energiespeicher und/oder eine andere Reserve - Solarthermie ist abhängig von geeigneten Standorten (große, sonnige Flächen) - Die optimalen Regionen in Europa für Hochtemperatur-Solarthermie befinden sich vor allem in Südeuropa - Abwärme hat keine (oder weniger, abhängig von den Quellen) saisonale Diskrepanz zwischen Erzeugung und Nachfrage - Abwärme und Solarthermie ermöglichen die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur (Speicherung, Integration) - Abwärme und Solarthermie können ähnliche Temperaturniveaus erreichen - Abwärme-Integration ist weniger CAPEX-intensiv 	<ul style="list-style-type: none"> - Solarthermie ist zu 100% erneuerbar - Solarthermie hat ein positives Image - Solarenergie ist fast überall lokal verfügbar - Solarthermie ist eine bekannte Technologie - Solarthermie hat eine gute Skalierbarkeit - Solarthermie ermöglicht eine hohe Unabhängigkeit von Dritten - Beide Technologien benötigen ein Backup (allerdings aus unterschiedlichen Gründen) - Solarthermie ist nicht an ein einzelnes Industrieunternehmen gebunden - Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standortes, Umstellung der Prozesse) - Solarthermie hat niedrige OPEX - bei Solarthermie gibt es keine Preisschwankungen während des Betriebs - Solarthermische Anlagen haben eine lange Lebensdauer im Sinne eines „langfristigen Vermögenswertes“.
Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> - die lokale Verfügbarkeit von (Hochtemperatur-) Geothermie hängt vollständig vom geografischen Gebiet/geologischen Profil ab - die Verfügbarkeit von (Hochtemperatur-) Geothermie kann nur mit kostspieligen Bohrungen zu 100% nachgewiesen werden (hohes Risiko) - Wenn die geothermischen Temperaturen zu niedrig sind, ist eine zusätzliche Technologie (Hochtemperatur-HP?) erforderlich. - die Umweltauswirkungen der geothermischen Energienutzung müssen sorgfältig bewertet werden - Die Skalierbarkeit des geothermischen Energiesystems ist möglicherweise begrenzt (Regulierung, andere Verbraucher...) - Geothermische Energienutzung ist mit hohen CAPEX verbunden - niedrige OPEX von Abwärme - Abwärmenutzung ist in der Anschaffung eher günstiger - Geothermie und Abwärme können ein ähnliches Temperaturniveau erreichen - Abwärmeauskopplung bringt meist deutlich weniger Komplexität mit sich 	<ul style="list-style-type: none"> - Geothermische Energie gilt als 100% erneuerbar. - Geothermische Energie bedeutet geringe/keine Abhängigkeiten von anderen - der Flächenverbrauch der Geothermie ist gering (Heizwerk) - Abwärme ist an Schwankungen des Versorgungsunternehmens gebunden - Geothermie hat ein positives Image - Geothermie erfordert keine Bindung an ein einzelnes Industrieunternehmen - Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Änderung der Prozesse) - Für die Abwärme muss eine Backup vorgehalten werden - Geothermie ermöglicht kontinuierliche Einspeisung - Die Tiefengeothermie eignet sich gut für die direkte Einspeisung, ohne dass eine andere Technologie dazwischengeschaltet ist, die die Temperatur erhöhen muss - Geothermische Energie hat keine Preisschwankungen während des Betriebs - Abwärme ist nicht unbedingt zu 100% erneuerbar - niedrige OPEX der Geothermie, wenn sie lokal verfügbar ist und die Temperaturen und Massen passen (dasselbe gilt für Abwärme)



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Umgebungsenergie (Luft, Fluss, Abwasser usw.) + Wärmepumpe mit regulärem Netzstrom	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmepumpe bedingt regelmäßige Preisverhandlungen mit dem Stromanbieter – Hohe Kosten in Zeiten hoher Strompreise – Wärmepumpe kann hohe Anschaffungs- (z. B. Erd-Wärmepumpe) und vor allem Betriebskosten (Strom) verursachen – Wärmepumpe ist ein möglicherweise ineffizientes System im Winter (z. B. Luft-Wärmepumpe) – Wärmepumpe hat aufgrund der Wärmeentnahme/-speicherung potenzielle Umweltauswirkungen auf Wasser/Boden – Wärmepumpe hat einen schlechteren COP bei steigenden Temperaturen auf der Verbrauchsseite – Die Treibhausgasintensität von KWK hängt vom Strommix ab. – Wenn die Abwärme das richtige Temperaturniveau hat, ist die direkte Integration einfacher und billiger – Abwärme ist weniger abhängig von Elektrizität oder dem Stromnetz – Abwärme und Wärmepumpe können potenziell gut zusammenwirken 	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmepumpe hat ein positives Image – Umgebungsenergie ist in verschiedenen Formen überall lokal verfügbar – Umgebungs-Wärmequellen meist kostenlos – Umgebungsenergie und Netzstrom bedeuten geringe Abhängigkeiten von Dritten – Externe Abwärme bedeutet B2B-Abhängigkeit – Wärmepumpe können je nach Standort und Energiequelle geringe OPEX haben (z. B. Abwasser mit konstanter Temperatur) – Wärmepumpe ermöglichen einen flexiblen Betrieb – Wärmepumpe haben einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien (je nach COP und Strommix) – Wärmepumpe bieten die Möglichkeit, Strom aus erneuerbaren Energien zu nutzen (bereitgestellt von EVUs) – bei der Verwendung von Erdwärmepumpen: das Erdreich kann als Wärmespeicher genutzt werden (saisonale Speicherung) – bei der Nutzung externer Abwärme bleibt möglicherweise eigene (sehr letzte) Restwärme ungenutzt (was über eine Wärmepumpe möglich wäre) – Abwärme bietet eher keine Möglichkeit zur Spitzenlastabdeckung – Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Umstellung von Prozessen) – Bei Abwärme müssen Back-up Erzeugungskapazitäten vorgehalten werden – Abwärme ist nicht zwingend 100 % erneuerbar – mit (mehrstufigen) Wärmepumpe ist potentiell ein höheres Temperatur-Niveau erreichbar (Integration von Abwärme und Wärmepumpe)



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
Umgebungsenergie (Luft, Fluss, Abwasser usw.) + Wärmepumpe mit Eigenstrom	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmepumpe ist ein potenziell ineffizientes System im Winter (z. B. Luft-Wärmepumpe) – Wärmepumpe hat aufgrund der Wärmegewinnung/-speicherung potenzielle Umweltauswirkungen auf Wasser/Boden – In diesem Fall ist ein Strom-Backup für die Wärmepumpe erforderlich (z. B. für Wind- oder PV-Strom) – Die Wärmepumpe kann hohe Anschaffungs- und Betriebskosten verursachen, die vom COP und den tatsächlichen Strompreisen abhängen – Wärmepumpe schafft Abhängigkeit von fluktuierender Erzeugung bei alleiniger Versorgung, daher ist ein Speicher (Strom oder Wärme) notwendig – Abwärme kann gut mit Wärmepumpe interagieren – wenn die Abwärme das passende Temperatur-Niveau hat, dann ist die direkte Integration einfacher und billiger 	<ul style="list-style-type: none"> – Wärmepumpe hat ein positives Image – Umgebungsenergie ist in verschiedenen Formen überall lokal verfügbar – Umgebungs-Wärmequellen meist kostenlos – Umgebungs-Wärmequellen und Netz-Mix-Strom bedeuten geringe Abhängigkeiten von Dritten – Externe Abwärme bedeutet B2B-Abhängigkeit – Wärmepumpe können mittlere OPEX haben, je nach Standort und Energiequelle (z. B. Abwasser mit konstanter Temperatur) – Wärmepumpe ermöglichen einen flexiblen Betrieb – Vor-Ort-Strom für Wärmepumpe ist potenziell 100 % erneuerbare Energie – Wärmepumpe haben immer noch die Möglichkeit, Netzstrom zu nutzen – bei Einsatz von Erd-Wärmepumpe: das Erdreich kann als Wärmespeicher genutzt werden (saisonale Speicherung) – bei Nutzung externer Abwärme bleibt möglicherweise eigene Restwärme ungenutzt (obwohl möglich über eine Wärmepumpe) – Abwärme hat ein höheres Ausfallrisiko (Schließung des Standorts, Umstellung von Prozessen) – Bei Abwärme muss ein Backup vorgehalten werden – mit (mehrstufigen) Wärmepumpe ist potentiell ein höheres Temperatur-Niveau erreichbar (Integration von Abwärme und Wärmepumpe) – Abwärme bietet eher keine Möglichkeit zur Spitzenlastabdeckung – Abwärme ist nicht zwingend 100 % erneuerbar

Tabelle 35

Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu erneuerbarer thermischer Energie

	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
E-Kessel mit eigener Stromerzeugung (PV, Wind, Geothermie Wasser)	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verwendung von Strom zur Erwärmung von Wasser/Dampf ist unter dem Aspekt der Exergie verschwenderisch. – Je nach Fluktuation der Stromquelle für den E-Kessel wird ein Speichersystem oder ein Back-up benötigt – Erzeugung des E-Kessel stark abhängig von gekoppelten EE, potenziell große saisonale Diskrepanz – E-Kessel als alleinige Versorgung eher nicht möglich, daher Speichersystem erforderlich – Abwärme auf dem entsprechenden Temperaturniveau ist leicht zu integrieren – Abwärme hat geringere OPEX (und damit geringere LCOH) 	<ul style="list-style-type: none"> – Der E-Kessel bietet eine hohe Flexibilität und ist für Bedarfsspitzen geeignet – E-Kessel wandelt effizient elektrische in thermische Energie um – E-Kessel können leicht im gesamten Netz platziert werden – je nach Größe kann ein E-Kessel niedrige CAPEX haben – In diesem Fall wird das E-Kessel-System zu 100 % mit erneuerbaren Energien betrieben. – Die Abwärme-Integration ist mit potenziell höheren Investitionskosten verbunden. – Die Verwendung von Eigenstrom für die E-Kessel-Anlage ermöglicht es, mit der Volatilität der EE zu planen – Abwärme bedeutet Bindung an eine einzelne Industrieanlage – Abwärme birgt ein höheres Ausfallrisiko (Standortschließung, Prozessumstellung) – Bei Abwärme müssen Backup-Kapazitäten vorgehalten werden – Abwärme ist nicht unbedingt zu 100 % erneuerbar – Abwärme bietet in der Regel nicht die Möglichkeit, Spitzenlasten abzudecken.
E-Kessel mit Ausgleichsenergie	<ul style="list-style-type: none"> – Das Fernwärmenetz dient zur Deckung eines Grundbedürfnisses, d. h. es sollte nicht zum Ausgleich von Stromnetzen verwendet werden, d. h. ohne umfangreiche Speicher-/Backup-Optionen (die teuer sind) ist dies keine Option im Hinblick auf die Versorgungssicherheit – Die Verwendung von Strom zur Erwärmung von Wasser/Dampf ist unter dem Aspekt der Exergie verschwenderisch – in diesem Fall ist das E-Kessel-System nicht vollständig erneuerbar – bei diesem E-Kessel-System schwankt die Versorgung – für das E-Kessel-System ist der Preis von elektrischer Energie dennoch hoch – E-Kessel als alleinige Versorgung eher nicht möglich, daher Speicher notwendig – Abwärme auf dem richtigen Temperatur-Niveau ist einfach zu integrieren – Der E-Kessel hat eine hohe Abhängigkeit von Stromverfügbarkeit, welche noch dazu sehr volatil ist – Abwärme hat aufgrund der geringen OPEX geringere LCOH 	<ul style="list-style-type: none"> – durch die Nutzung/Angebot von Regelenergie mit dem E-Kessel kann ein zusätzliches Einkommen generiert werden (evtl. ist der Preis der Regelenergie niedrig bis negativ) – E-Kessel wandelt effizient elektrische in thermische Energie um – E-Kessel können leicht im Netz platziert werden – Je nach Größe können die Investitionskosten für E-Kessel gering sein – Abwärme-Integration hat potenziell höhere Investitionskosten – Bei Abwärme höheres Risiko von Ausfällen (Standortschließung, Prozessumstellung) – Bei Abwärme müssen Back-up-Erzeugungskapazitäten vorgehalten werden – Abwärme ist nicht unbedingt zu 100 % erneuerbar. – Abwärme bietet in der Regel nicht die Möglichkeit, Spitzenlasten abzudecken – E-Kessel ist sehr flexibel – E-Kessel bringt wenig Abhängigkeit von der Industrie – für Strom (E-Kessel) stehen verschiedene Anbieter zur Verfügung



	Vorteil von externer Abwärme gegenüber...	Nachteil von externer Abwärme gegenüber...
E-Kessel mit Netzstrom	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verwendung von Elektrizität zur Erwärmung von Wasser/Dampf ist unter dem Aspekt der Exergie verschwenderisch. – Ein E-Kessel-System, das mit normalem Netzstrom betrieben wird, ist nicht vollständig erneuerbar. – E-Kessel hat hohe OPEX (Strompreis) – Abwärme mit dem richtigen Temperaturniveau ist leicht zu integrieren – das E-Kessel-System schafft eine hohe Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Strom – Abwärme hat geringere OPEX und damit geringere LCOH – E-Kessel als alleinige Versorgung eher nicht möglich, daher Speicher notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> – E-Kessel bietet hohe Flexibilität – E-Kessel ist für Bedarfsspitzen geeignet – E-Kessel wandelt effizient elektrische in thermische Energie um – E-Kessel können leicht im gesamten Netz platziert werden – Je nach Größe können die Investitionskosten für E-Kessel gering sein. – Abwärme-Integration hat potenziell höhere Investitionskosten – E-Kessel schafft keine Bindung an eine einzelne Industrieanlage – Abwärme bietet in der Regel nicht die Möglichkeit, Spitzenlasten abzudecken – Abwärme bedeutet ein höheres Ausfallrisiko (Standortschließung, Prozessumstellung) – Bei Abwärme müssen Back-up-Erzeugungskapazitäten vorgehalten werden – Für das E-Kessel-System stehen verschiedene Stromlieferanten zur Verfügung

Tabelle 36

Vor-/Nachteile von externer Abwärme für Fernwärme im Vergleich zu elektrischem Strom

Anhang C

Im Folgenden wird die Berechnungsmethodik zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Kompressions- und Absorptionswärmepumpen kurz dargelegt.

Berechnung der Wärmepumpeneffizienz

Die Effizienz der Kompressionswärmepumpe wird nach dem Lorenz-COP COP_{Lorenz} berechnet (*Technology Data – Energy Plants for Electricity and District heating generation*, 2016). Dieser gibt den maximalen theoretischen COP einer unendlichen Kaskade von Wärmepumpen an, die eine Wärmequelle von $T_{source,in}$ auf $T_{source,out}$ abkühlen und eine Wärmesenke von $T_{sink,in}$ auf $T_{sink,out}$ erwärmen, und wird mit den mittleren logarithmischen Temperaturen von Quelle und Senke berechnet (Reinholdt et al., 2018). Zusammen mit Lorenz-Wirkungsgrad η_{Lorenz} , der typischerweise einen Wert von 0,5 hat und die Abweichung des realen COPs vom theoretischen Maximum abschätzt, kann der COP_{real} von typischen Wärmepumpenanwendungen berechnet werden.

$$COP_{Lorenz} = \frac{T_{source,LM}}{T_{source,LM} - T_{sink,LM}}$$

$$T_{LM} = \frac{T_{in} - T_{out}}{\ln\left(\frac{T_{in}}{T_{out}}\right)}$$

$$COP_{real} = \eta_{Lorenz} * COP_{Lorenz}$$

Für die Berechnung der Effizienz der Absorptionswärmepumpe wird das Zero-Order-Modell nach (Herold et al., 2016) herangezogen. Die größten Einflussfaktoren auf die reale Effizienz von Absorptionswärmepumpen sind die irreversiblen Verluste, die beim Wärmeübertrag zwischen der Maschine und der Umgebung (Quellen und Senke) auftreten. Im Zero-Order-Modell werden diese Verluste in Form von drei Wärmewiderständen dargestellt (R_b , R_c und R_e), die den Wärmeübergangsprozessen auf den Temperaturniveaus (Antriebswärmequelle b , Wärmesenke c und Abwärmequelle e) im Absorptionszyklus entsprechen, siehe Abbildung 44. Dadurch ergibt sich ein Unterschied zwischen den äußeren Temperaturen der Wärmequellen und -senke und den entsprechenden Temperaturen in der Wärmepumpe (tiefgestelltes i). Der COP ist in diesem Modell durch folgende Gleichung bestimmt:

$$COP = 1 + \frac{Q_e}{Q_h} = 1 + \frac{T_{ei}}{T_{hi}} \frac{T_{hi} - T_{ci}}{T_{ei} - T_{ei}}$$

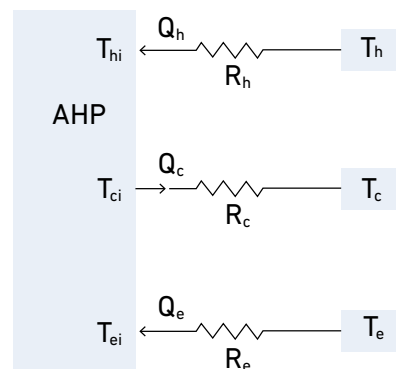


Abbildung 44
Schematische Darstellung des Zero-Order-Modells
(Herold et al., 2016)

Festlegung der Wärmepumpenleistung

Da saisonale Unterschiede in der Abwärmemenge festgelegt werden können, wurden drei verschiedene Modi zur Berechnung der Leistung implementiert:

1. Max: Wärmepumpe wird auf höchste saisonale Abwärmemenge ausgelegt
2. Midi: Wärmepumpe wird auf mittlere saisonale Abwärmemenge ausgelegt
3. Min: Wärmepumpe wird auf niedrigste saisonale Abwärmemenge ausgelegt

Übersicht der Technologiekostenparameter

In den nächsten Schritten werden CAPEX, OPEX und Antriebskosten berechnet.

In Tabelle 37 sind die verwendeten Formeln gegeben, welche von (Große et al., 2017), teils unter eigener Erstellung einer stetigen Kostenfunktion, übernommen wurden. Hierbei muss angemerkt werden, dass die Literangaben zu

CAPEX von Absorptionswärmepumpen stark schwanken, etwa gibt (Wolf, 2016) eine Kostenfunktion von $902,9 \cdot P_{th}^{-0,172} \text{ €/kW}_{th}$ an.

	Kompressions-WP	Absorptions-WP
CAPEX	$1.209,2 \cdot P_{th}^{-0,266} \text{ Euro/kW}_{th}$	560 Euro/kW _{th}
OPEX _{fix}	2.000 Euro/MW _{th}	2.000 Euro/MW _{th}
OPEX _{variabel}	$2,7052 \cdot P_{th}^{-0,266} \text{ Euro/MWh}_{th}$	0,98 Euro/MWh _{th}

Tabelle 37

Kostenfunktionen für Kompressions- und Absorptionswärmepumpen (Große et al., 2017)

Basierend auf diesen Werten, und unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren für beide Wärmepumpentypen sowie einem Kalkulationszinssatz von 3%, werden die jährlichen Gesamtkosten (Euro/Jahr), die Wärmegestehungskosten (Euro/MWh erzeugte Wärme) sowie die Abwärmenutzungskosten (Euro/MWh genutzte Abwärme) berechnet.

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2/ Stiege 1/ Top 142, 1190 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

AutorInnen

Andreas Hammer, Elisabeth Lachner, Thomas Kienberger

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik/Montanuniversität Leoben (EVT)

Wolfgang Gruber-Glatzl, Jasmin Pfleger, Andreas Stöger

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Stefan Reuter, Ralf-Roman Schmidt

AIT – Austrian Institute of Technology

Simon Moser, Gabriela Jauschnik

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.

Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,

Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die

Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Titelfoto

ThyssenKrupp Steel AG

Herstellungsort

Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.

Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at