

Abwärmennutzungspotenziale Vorarlberg

Forschungszentrum Energie, FHV – Vorarlberg University of Applied Sciences
drexel reduziert GmbH

im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung

Autoren:

Markus Preißinger

Gerhard Huber

Christof Drexel

Dornbirn

2024

Kurzfassung

In der Energieautonomie+ des Landes Vorarlbergs wird auch die Wende hin zu einer erneuerbaren und nachhaltigen Wärmeversorgung adressiert. Der Fernwärmeversorgung kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu, weswegen diese bis 2030 auf knapp unter 500 GWh/a ausgebaut werden soll. Welche Rolle industrielle Abwärme dabei spielen kann, wurde vom Autorenteam der FHV – Vorarlberg University of Applied Sciences und des Unternehmens drexel reduziert GmbH in dieser Studie untersucht.

Ein gekoppelter Ansatz aus Top-Down und Bottom-Up wurde gewählt, um ein gesichertes Potenzial aus industrieller Abwärme in Vorarlberg zu ermitteln. Potenziale aus Abwasserreinigungsanlagen (ARAs), Krankenhäusern und Rechenzentren vervollständigen die zukünftig mögliche Energiebereitstellung im Fernwärmesystem.

Durch die Bottom-Up-Analyse konnte ein beträchtliches, wirtschaftliches Potenzial von 400 GWh/a industrieller Abwärme ermittelt werden. Dieses konnte Top-Down durch internationale Studien und über den Abwärmekataster der Steiermark plausibilisiert werden. Die ermittelten Potenziale können daher als gesichertes Potenzial für Vorarlberg angesehen werden. Zudem konnte gezeigt werden, dass auch die in Vorarlberg betriebenen Abwasserreinigungsanlagen ein hohes Potenzial zur Abwärmenutzung bergen. Die wirtschaftlich erschließbare Energiemenge muss in zukünftigen Analysen noch detaillierter betrachtet werden, liegt realistisch aber über 200 GWh/a. Rechenzentren und Krankenhäuser können im Allgemeinen hingegen nicht nennenswert zur Fernwärmeversorgung beitragen, Einzelprojekte sind grundsätzlich aber möglich.

Aus der Bottom-Up-Analyse und den Gesprächen mit den Unternehmen hat sich zudem ergeben, dass diese durchaus bereit sind, ihre Abwärme extern zu nutzen. Die hohe Verfügbarkeit und die ermittelten Mengen lassen einen wirtschaftlichen Betrieb durch Fernwärmenetzbetreiber in jedem Fall realistisch erscheinen.

Diese gesamthaften Potenziale ermöglichen, die Wärmenetze in Vorarlberg gegenüber dem Jahr 2020 (308 GWh/a) um den Faktor 3 bis 4 – auf rund 1000 GWh/a auszubauen, ohne dass dafür deutlich mehr biogene Brennstoffe zum Einsatz kommen müssten. Damit könnte das diesbezügliche Ziel der Energieautonomie (490 GWh bis 2030) bei Weitem übertroffen werden.

In einem nächsten Schritt sind die ermittelten Potenziale mit Fernwärmenetzbetreibern zu diskutieren, um erste Pilotprojekte umzusetzen. Zudem sollte in einer weiterführenden Studie insbesondere eine Wärmeschiene Walgau detaillierter untersucht werden.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
1 Ausgangslage	1
1.1 Betriebsstruktur in Vorarlberg	1
1.2 Energieeinsatz der Industrie in Vorarlberg	1
2 Methodik.....	4
2.1 Methodik Industrie Top-Down und Kombination Top-Down/Bottom-Up	4
2.2 Methodik Industrie Bottom-Up	5
3 Analyse europäischer Studien.....	7
3.1 Vergleichsregionen mit ähnlicher Wirtschaftsstruktur	7
3.2 Abwärmekataster Steiermark.....	8
3.3 Sonstige Wärmelieferanten.....	9
3.3.1 Krankenhäuser	9
3.3.2 ARAs (Abwasserreinigungsanlagen).....	10
3.3.3 Rechenzentren.....	11
4 Ermittlung konkreter Potenziale in der Industrie.....	13
4.1 Theoretische, technische und wirtschaftliche Potenziale	13
4.2 Zeitlicher Verlauf des Angebots	15
4.3 Geografische Eignung.....	17
4.4 Bereitschaft der Betriebe, Anforderungen an Netzbetreiber.....	18
5 Technologien zur Potenzialerhöhung/Kalkulation	20
5.1 Wärmepumpen.....	20
5.2 Wärmespeicher	21
5.3 Nutzung von Billigstrom / Flexibilisierung	21
5.4 Wärmegestehungskosten / Ertragspotenziale Anergie.....	22
6 Gesamtanalyse und Conclusio/Empfehlungen.....	23
6.1 Gesamtanalyse	23
6.2 Conclusio/Empfehlungen.....	24
7 Literaturverzeichnis	25
A Anhang.....	26
A.1 Anhang 1	26
A.2 Anhang 2.....	27

1 Ausgangslage

Das Land Vorarlberg hat sich in der Energieautonomie+ zum Ziel gesetzt, bis 2050 energieautonom zu sein. Im Wärmesektor wurde dabei das Ziel formuliert, knapp unter 500 GWh pro Jahr durch Wärmenetze auf Basis regenerativer Energieträger bereitzustellen. Dies wäre ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur nötigen Wärmewende.

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, ein gesichertes Potenzial an industrieller Abwärme inkl. einer ersten räumlichen Verortung zu erfassen, welches zum Erreichen des oben genannten Zieles beitragen kann. Zudem sollten neben der Industrie auch Abwasserreinigungsanlagen (ARAs), Krankenhäuser und Rechenzentren erfasst werden. Durch die Kooperation des Forschungszentrums Energie der FHV – Vorarlberg University of Applied Sciences und dem Unternehmen drexel reduziert wurde sichergestellt, dass die Potenziale aus einem gekoppelten Top-Down und Bottom-Up Ansatz ermittelt werden. Dies erhöht die Belastbarkeit der Ergebnisse.

Nicht-Ziel der Studie war eine detaillierte zeitlich-aufgelöste Analyse der Abwärmeströme, wobei die Verteilung Sommer/Winter trotz allem abgeschätzt wurde.

1.1 Betriebsstruktur in Vorarlberg

Anhand der Gliederung der Statistik Austria bezüglich des Energieeinsatzes der Industrie in Vorarlberg (siehe Kapitel 1.2) werden im Folgenden die einzelnen ÖNACE-Sektoren (österreichische Klassifikation der wirtschaftlichen Tätigkeiten) zu „artverwandten“ Sektoren zusammengeführt.

Mit ca. 48.000 unselbständig Beschäftigten ist der Bereich „Herstellung von Waren“ (ÖNACE C) der größte Sektor in Vorarlberg, was sich auch in den Betriebserlösen widerspiegelt [1]. In diesem Bereich sind die Sektoren rund um den Maschinenbau (C25 – C28) mit rund 24.000 Beschäftigten fast so groß wie der gesamte Bereich „Handel“ (G). Im Sektor Nahrungs- und Genussmittel sind ca. 6.600 Beschäftigte zu finden. In der Herstellung von Textil- und Lederwaren (C13 – 15) werden ca. 3.400 Personen beschäftigt. Der Bereich Papier und Druck (C17 und 18) wird mit ca. 2.300 Beschäftigten ausgewiesen. Eine genauere Aufschlüsselung findet sich im Anhang.

1.2 Energieeinsatz der Industrie in Vorarlberg

Gemäß Statistik Austria [2] betrug der Energiebedarf der Vorarlberger Industrie ca. 2.300 GWh (ohne Verkehr) für das Jahr 2021. Dabei ist der Sektor Maschinenbau (ÖNACE C25 – 28) der größte Verbraucher mit knapp 650 GWh, gefolgt von Nahrungs- und Genussmittel (C10 – 12) mit 490 GWh, Textil (C13 – 15) mit ca. 300 GWh, Papier und

Druck (C17, 18) mit ca. 270 GWh und Sonst. Produzierender Bereich (C22, 31, 32) mit knapp 190 GWh. In dieser Statistik ist zwar der Bereich „Bau“ mit angeführt, jedoch für die Auswertung bezüglich Abwärmepotenzialen wegen der nicht permanent ortsgebundenen Tätigkeiten nicht zweckmäßig. Alle anderen Sektoren liegen im Bereich von weit unter 100 GWh. Abbildung 1 zeigt die Auswertung dieser Statistik nach Energieträger für die einzelnen Sektoren. Es ist zu erkennen, dass „elektrische Energie“ und „Erdgas“ die bedeutendsten Energieträger für die produzierende Industrie darstellt.

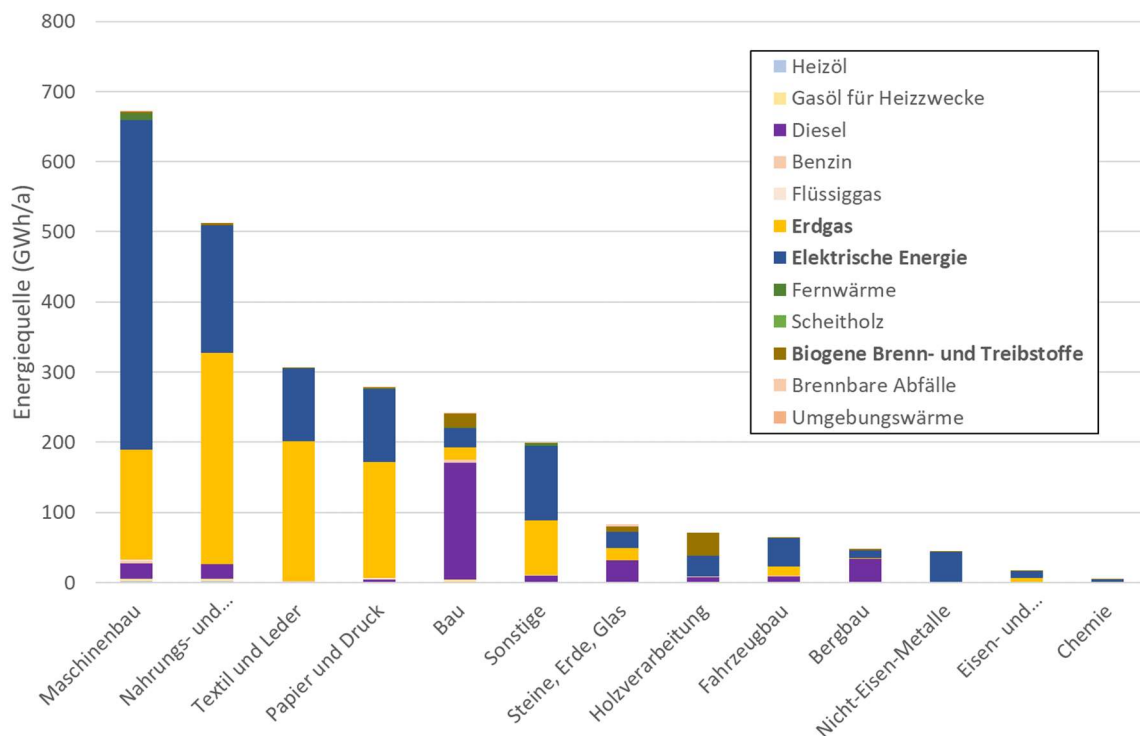


Abbildung 1: Energiebedarf der Industrie in Vorarlberg 2021 nach Branche und Energieträger (abgeleitet aus [2]).

Auf der Seite des Energieeinsatzes werden ca. 800 GWh für den Betrieb von Standmotoren eingesetzt. Im Bereich der Prozesswärme werden ca. 550 GWh für Wärme unterhalb von 200 °C und ca. 315 GWh über 200 °C eingesetzt. Im Bereich der Raumheizung besteht ein Bedarf von 320 GWh. Ca. 160 GWh werden für Beleuchtung und EDV benötigt, und für die Klimatisierung werden rund 70 GWh eingesetzt. Rund 90 GWh werden für sonstige Zwecke ausgewiesen. Eine nach Branchen differenzierte Darstellung des Energieeinsatzes ist in Abbildung 2 ersichtlich.

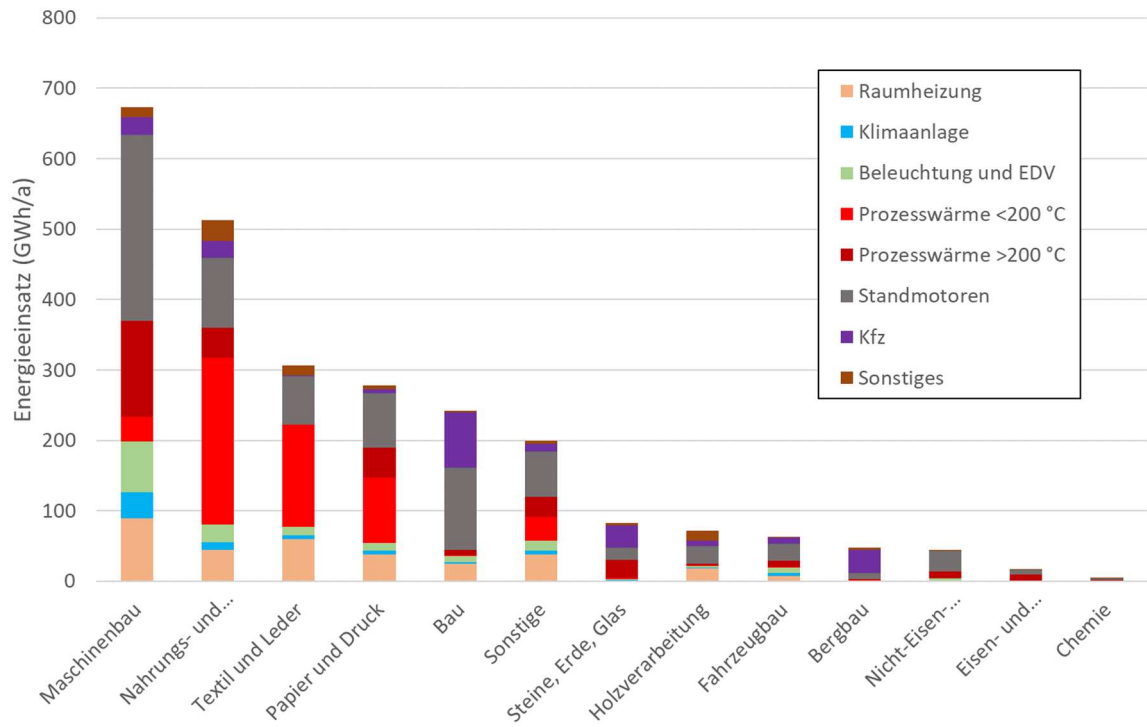


Abbildung 2: Energieeinsatz der Industrie in Vorarlberg nach Branche (abgeleitet aus [2]).

2 Methodik

In vorliegender Studie wurden unterschiedliche Methodiken angewandt und anschließend miteinander verglichen. Im Vergleich zum Fokus auf eine Methodik wird damit die Belastbarkeit der Ergebnisse erhöht, was bei Potenzialstudien im Allgemeinen von hoher Bedeutung ist. Eine Übersicht möglicher Methodiken für die Bestimmung von Abwärmepotenzialen gibt Brückner [3].

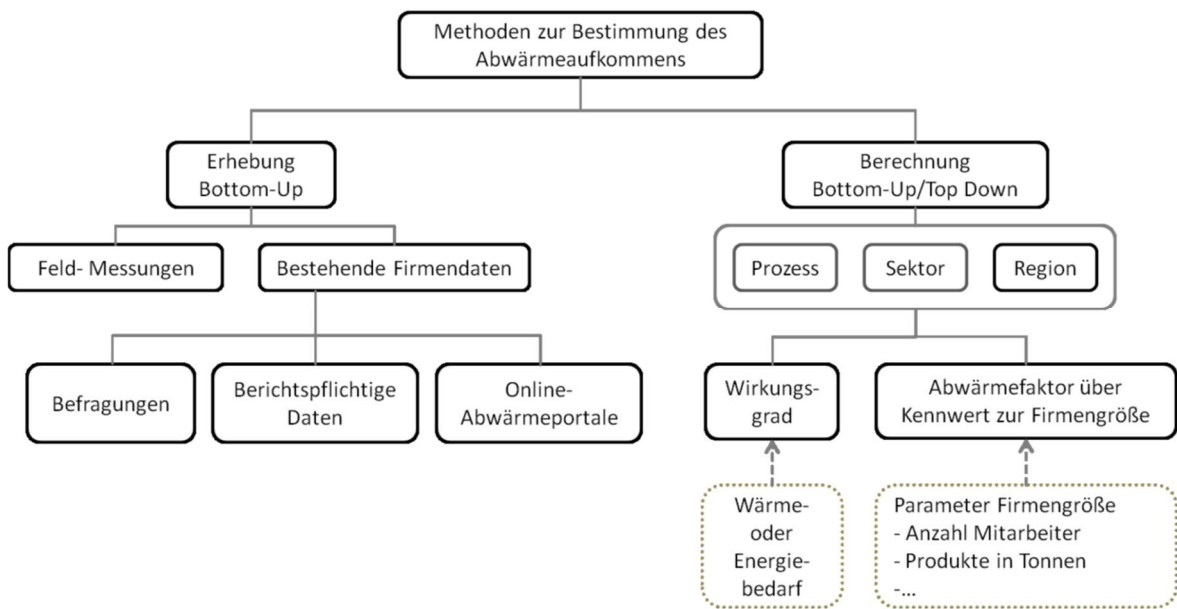


Abbildung 3: Übersicht möglicher Methodiken zur Bestimmung von Abwärmepotenzialen [3].

Grundsätzlich kann zwischen Top-Down und Bottom-Up-Methoden unterschieden werden. Sofern statt reiner Erhebungen auch Berechnungen durchgeführt werden, sind auch Kombinationen aus Top-Down und Bottom-Up möglich.

2.1 Methodik Industrie Top-Down und Kombination Top-Down/Bottom-Up

Für die Top-Down Analysen wurden nationale und internationale Studien ausgewertet und auf Vorarlberg übertragen. Als Vergleichsgröße für die Übertragung wurde im Regelfall das Bruttoinlandsprodukt verwendet, da angenommen wird, dass zwischen Bruttoinlandsprodukt und Menge an industrieller Abwärme eine höhere Korrelation besteht als bei weiteren Vergleichsgrößen (z.B. Fläche, Einwohner:innenzahl). Im Weiteren wurde versucht, bei regionalen Vergleichen Regionen mit ähnlicher Wirtschaftsstruktur zu identifizieren. Hierzu wurde die 2022 vorgestellte Studie „Vorarlbergs Wirtschaft im europäischen Konkurrenzumfeld“ [4] verwendet. Zuletzt wurden auch Methoden verwendet, die Regionen auf Basis von Energiebedarfswerten der Statistik Austria untereinander vergleichen.

2.2 Methodik Industrie Bottom-Up

Für die Bottom-Up-Erhebung wurden 15 Industriebetriebe aus den Branchen Maschinenbau, Nahrungs- und Genussmittel, Textil und Leder, sowie Papier und Druck ausgewählt, die zusammen etwa die Hälfte des gesamten Endenergiebedarfs für Industrie und Gewerbe verkörpern. Nur für zwei dieser Unternehmen konnte die Erhebung nicht im Detail durchgeführt werden; für alle anderen wurden die Energieflüsse im Unternehmen möglichst vollständig, wenn auch mit niedrigem Genauigkeitsanspruch erfasst (vgl. Abbildung 4).

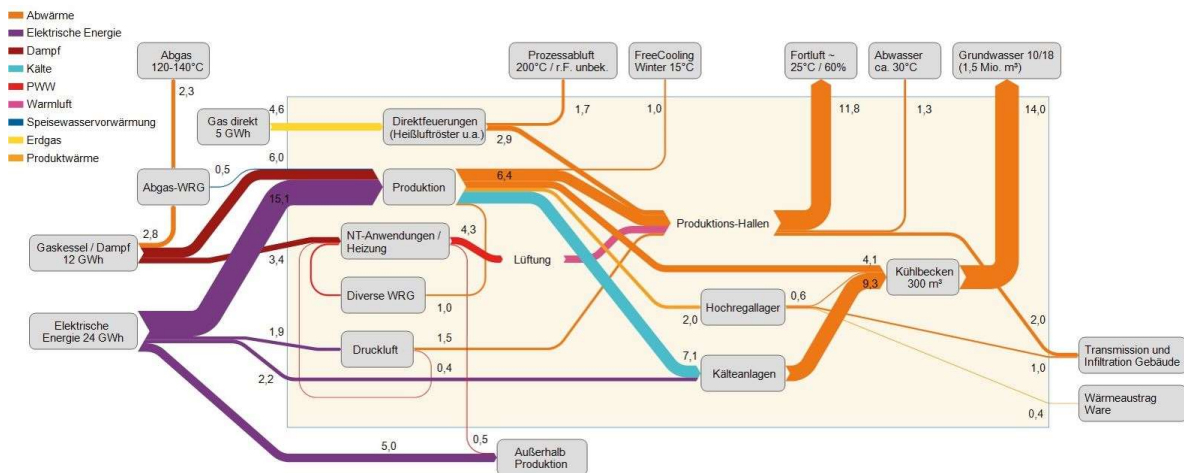


Abbildung 4: Beispiel Energieflussdiagramm zur Ermittlung der theoretischen Abwärmepotenziale.

Sowohl die Inputs an thermischer als auch an elektrischer Energie wurden erfasst (Abbildung 4 links). Abgebildet wurden die wesentlichen Umwandlungen der Energie-Inputs, die Energieströme in Form von Abgas, Luft und Wasser, sowie Wärmeströme und Speicherungen in Form der produzierten Ware.

Als Ergebnis stehen die Wärmeströme, die das Gebäude, bzw. Areal verlassen, zur Verfügung – sowohl in Form von Transmission und Infiltration (Verluste über die Gebäudehülle; Abbildung 4 rechts), als auch in Form von flüssigen oder gasförmigen Medien (Abbildung 4 oben). Diese Medien wurden über Kondensationspotenzial, Massenstrom und Temperatur quantifiziert und stellen das theoretische Abwärmepotenzial dar.

Für das verbleibende wirtschaftliche Potenzial wurden Wärmequellen-Erschließungskosten abgeschätzt und bei Temperaturen < 70 °C Wärmepumpen skizziert, um die Anergie auf ein direkt nutzbares Temperaturniveau zu hieven. Anhand der jeweiligen Performance sowie abgeschätzter Investitions- und Betriebskosten wurden Wärmepreise ermittelt.

Anhand von drei konkreten Projektierungen dieser Wärmepumpen wurden die Annahmen bzgl. Performance und ökonomischer Daten validiert.

An dieser Stelle sei allen teilnehmenden Unternehmen für die Bereitstellung der erforderlichen Daten und Informationen gedankt:

- 11er Nahrungsmittel GmbH, Frastanz
- Alpla Werke Alwin Lehner GmbH & Co KG, Hard (Standort Fußach)
- Collini GmbH, Hohenems
- Flatz GmbH, Lauterach
- Hydro Extrusion Nenzing GmbH
- Julius Blum GmbH, Höchst (Standort Bregenz)
- Meusburger Georg GmbH & CoKG, Wolfurt
- Mohrenbrauerei Vertriebs KG, Dornbirn
- Mondelez Österreich Production GmbH, Bludenz
- Rattpack, Wolfurt
- Rondo Ganahl AG, Frastanz
- Rudolf Ölz Meisterbäcker GmbH & CoKG, Dornbirn
- Speedline Aluminium Gießerei GmbH, Schlins

3 Analyse europäischer Studien

3.1 Vergleichsregionen mit ähnlicher Wirtschaftsstruktur

Als Vergleichsregionen werden die Regionen East Yorkshire and North Lincolnshire in UK (Vereinigtes Königreich) sowie das Baskenland in Spanien auf Basis des Berichts von Mayerhofer verwendet [4].

East Yorkshire and North Lincolnshire sind in Bezug auf Fläche, Bevölkerung und BIP (Bruttoinlandsprodukt) in etwa 25 % größer als Vorarlberg. In einer Studie [5] aus 2018 ergab eine Mischung aus Bottom-Up und Top-Down Ansatz ein Abwärmepotenzial aus der Industrie zwischen 330 GWh/a und 812 GWh/a sofern davon ausgegangen wird, dass die in derselben Studie angegebenen Potenziale aus Stromerzeugungsanlagen (insbesondere Gaskraftwerken) gleichmäßig über UK verteilt sind und vom Gesamtwert abgezogen werden. Eine genauere Analyse zeigte jedoch, dass in der Region East Yorkshire and North Lincolnshire Stromerzeugungsanlagen stark unterrepräsentiert, die chemische Industrie aber stark überrepräsentiert ist. Daher ist das Abwärmepotenzial trotz der hohen Bandbreite immer noch mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Das Abwärmepotenzial des Baskenlandes wird häufig in wissenschaftlichen Arbeiten zitiert. Es zeigt sich jedoch, dass die entsprechende Studie [6] aus dem Jahr 1997 stammt und daher nur schwer mit 2024 vergleichbar ist. Würde man die in der Studie angegebenen Abwärmepotenziale unter 200 °C mittels BIP-Anpassung auf Vorarlberg übertragen, so ergäbe sich für Vorarlberg ein Potenzial von 1.685 GWh/a. Das Beispiel zeigt daher eindrücklich, dass ein reiner Top-Down Ansatz, noch dazu mit veralteten Basisdaten, kein geeignetes Mittel ist, um gesicherte Potenziale für Vorarlberg abzuleiten.

In einem letzten Schritt wird daher als Vergleichsstudie das europaweit angelegte Projekt sEEnergies analysiert. Im Deliverable 5.1 [7] wird angenommen, dass die verfügbaren Abwärmeströme auf 25 °C abgekühlt werden. Erfasst werden die Bereiche Chemische Industrie, Eisen und Stahl, nicht-metallische Werkstoffe, Papier- und Druckerzeugnisse sowie Raffinerien. Obwohl Vorarlberg in manchen dieser Bereichen österreichweit unterrepräsentiert ist, kann das für Österreich gesamt angegebene Potenzial von 6750 GWh/a für eine erste Schätzung über das BIP auf Vorarlberg übertragen werden und es ergibt sich ein Potenzial von 285 GWh/a. Dieser Wert wäre bei der in der vorliegenden Studie gewählten Temperatur von 10 °C entsprechend höher. Interessant an der Studie ist der Aspekt der zusätzlich möglichen internen Abwärmennutzung. Die Autor:innen kommen zum Schluss, dass 27 % der anfallenden Abwärme prinzipiell noch im Betrieb nutzbar wäre und nur 73 % der Abwärme extern genutzt werden müsste.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die pauschale Übertragung von breit angelegten internationalen Studien zumindest mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet ist (Studie UK) und häufig gar nicht verwendet werden kann (Baskenland). Es ist daher zwingend nötig, die Wirtschaftsstruktur genauer zu analysieren und anhand dieser eine Abschätzung vorzunehmen.

3.2 Abwärmekataster Steiermark

Das Land Steiermark hat im Jahr 2020 eine Studie [8] in Auftrag gegeben, die das industrielle Abwärmepotenzial abschätzt. Diese Studie umfasst sowohl einen Top-Down-Ansatz, als auch einen Bottom-Up-Ansatz durch Befragung bei 120 Betrieben. Die Auswertung erfolgt nach den ÖNACE-Codes und ist daher geeignet, die Ergebnisse auf Vorarlberg umzurechnen. Die Abwärmepotenziale werden als technisches Potenzial angegeben, sind also bezüglich einer technischen Umsetzung machbar. Außerdem wird im technischen Abwärmepotenzial zwischen „bereits genutzt“ und „ungenutzt“ unterschieden. Als Bezugstemperatur wird 0 °C angesetzt.

Werden die Ergebnisse für die von der Statistik Austria gewählte Branchen zusammengeführt und mit den jeweiligen Energiebedarfen dieser Branchen für die Steiermark ausgewertet, kann das anteilige Potenzial der einzelnen Branchen, wie in Tabelle 4 (Anhang) angegeben, abgeleitet werden. Es ist zu erkennen, dass die für Vorarlberg relevanten Branchen (Maschinenbau, Nahrungs- und Genussmittel, Textil und Ledererzeugung sowie Papier und Druck) Abwärmepotenziale von ca. 15 % bis hin zu 40 % vom gesamten Energiebedarf aufweisen sollten.

Die Studie differenziert nicht nur nach Abwärmepotenzialen zwischen den einzelnen Branchen, sondern gibt auch Temperaturniveaus an, mit denen die Potenziale weiter bewertet werden. Diese Temperaturniveaus gliedern sich in 3 Bereiche mit i) größer 100 °C, ii) zwischen 50 und 100 °C und iii) kleiner als 50 °C.

Es ist jedoch auch hier darauf hinzuweisen, dass die erhobenen Potenziale für einzelne Betriebe je nach Produktart bzw. Produktionsverfahren sehr wohl von diesen Werten abweichen können.

Werden die Abwärmepotenziale und die verfügbaren Temperaturniveaus auf Vorarlberg übertragen, so ergibt sich ein gesamtes technische Potenzial von 364 GWh, wobei 315 GWh auf den Temperaturbereich unter 50 °C entfallen und jeweils knapp über 50 GWh auf die Temperaturbereiche 50 – 100 °C bzw. über 100 °C. Die detaillierten Ergebnisse sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Nach Branchen ermittelte mögliche Abwärmepotenziale (GWh/a) unterteilt in technisch ungenutzt und genutzt bzw. nach dem Temperaturniveau (Bezugstemperatur: 0 °C).

Branche	Bedarf	Ungenutztes Potenzial	Genutztes Potenzial	< 50 °C	50 – 100 °C	> 100 °C
Papier und Druck	273	117	24	124	14	3
Maschinenbau	648	94	3	75	8	14
Nahrungs- und Genussmittel	488	71	18	60	26	3
Textil und Leder	305	27	23	20	-	30
Sonst. Produzierender Bereich	188	24	2	24	-	2
Steine und Erden, Glas	51	17	1	11	4	3
Eisen- und Stahlerzeugung	16	8	1	-	-	-
Fahrzeugbau	56	5	1	-	-	-
Chemie und Petrochemie	4	1	0	1	-	0
Bergbau	15	0	-	-	-	-
Holzverarbeitung	64	0	-	-	-	-
Bau	164	-	-	-	-	-
Nicht Eisen Metalle	43	-	-	-	-	-
Gesamt	2.314	364	73	315	53	55

Die Differenz zwischen dem ausgewiesenen Potential (ungenutzt plus genutzt) und der Summe aus den Temperatureinteilungen in obiger Tabelle entsteht aus der Datenlücke des steiermärkischen Abwärmekatasters für Eisen- und Stahlerzeugung bzw. Fahrzeugbau bei der Aufschlüsselung nach dem Temperaturniveau.

3.3 Sonstige Wärmelieferanten

3.3.1 Krankenhäuser

Leider gibt es europaweit keine Studien hinsichtlich der Abwärmepotenziale von Krankenhäusern. Lediglich die Stiftung für eine gesunde Medizin „viamedica“ in Deutschland beschäftigt sich mit der Initiative „klinergie 2020“ seit mehreren Jahren mit der Energieeffizienz in deutschen Kliniken. Bei einem Energiecheck für das Loretto-Krankenhaus Freiburg im Juni 2016 ergab sich dabei ein Bedarf von 22,8 % des Gesamtenergiebedarfs für Kälte/Sonstiges/Verluste, wobei die Hälfte davon als Strom ausgewiesen wird [9]. Daher ist davon auszugehen, dass in diesem Krankenhaus ca. 10% des Gesamtenergiebedarfs in den Kältemaschinen benötigt wird.

Demgegenüber stehen Daten von Krankenhäusern aus Wien aus dem Abschlussbericht des Projektes HEALTH, für die aus Energieflussdiagrammen der Strombedarf der Kältemaschinen im Vergleich zum Gesamtstrombedarf ersichtlich ist [10]:

- Otto-Wagner-Spital: 306 MWh von 3.535 MWh (= 8,7 %)
- Krankenanstalt Rudolfstiftung: 2.558 MWh von 6.957 MWh (=36,8 %)
- Krankenhaus Hietzing: 311 MWh von 3.002 MWh (= 10,0 %)

Es ist daher ersichtlich, dass der Kältebedarf in Krankenhäuser durchaus um den Faktor 3 schwanken kann, weswegen keine gesicherten Potenziale in einem Top-Down-Prozess abgeleitet werden können.

Für die Krankenhäuser in Vorarlberg ist es nicht möglich, aus einem Top-Down-Ansatz gesicherte Potenziale insbesondere der Abwärme der Kältemaschinen abzuleiten. Stattdessen kann als Benchmark das Krankenhaus Dornbirn herangezogen werden, das seit 2020 jährlich ca. 200 MWh Abwärme in das städtische Netz einspeist [11]. Würde man diese Abwärmemenge auf die Anzahl der Betten im Krankenhaus Dornbirn beziehen (278) [12] und anschließend auf die Gesamtzahl aller öffentlichen Krankenanstalten Vorarlberg (1449) [12] hochrechnen, so ergäbe sich ein Abwärmepotenzial von ca. 1 GWh. Wie beschrieben ist eine solche Hochrechnung auf Grund der hohen Schwankungsbreite des Kältebedarfs von Krankenhäusern aber mit Vorsicht zu genießen. Zudem ist ersichtlich, dass das Potenzial im Vergleich zu ARAs und der Industrie vernachlässigbar ist, weswegen eine Nutzung nur dann Sinn macht, wenn die Rahmenbedingungen äußerst günstig sind (direkter Anschluss Nahwärmenetz, leichte Zugänglichkeit Abwärme, etc.).

3.3.2 ARAs (Abwasserreinigungsanlagen)

Für eine Abschätzung der Abwärme aus ARAs konnten keine (internationalen) Vergleichsstudien gefunden werden. Daher wurde ein Bottom-up Ansatz gewählt und aus den verpflichtend abzugebenden Daten im Zuge des Berichts „Abwasserreinigungsanlagen in Vorarlberg - Jahresbericht 2022“ ein theoretisches Potenzial abgeleitet. Hierfür wurden für alle ARAs in Vorarlberg der Jahreszufluss sowie die entsprechende Temperatur aus dem Bericht ausgelesen. Als Referenztemperatur wird der Mittelwert der Ablauftemperatur verwendet. Sofern dieser nicht vorhanden ist, wird die Temperatur am Einlauf genutzt. Im Weiteren werden zwei Szenarien betrachtet. Szenario 1 kühlt den Ablauf auf 10 °C ab, Szenario 2 kühlt den Ablauf auf 5 °C ab. In Summe aller 31 ARAs ergibt sich für Szenario 1 ein Potenzial von 364 GWh/a, in Szenario 2 von 660 GWh/a. Werden nur die acht größten ARAs im Rheintal/Walgau betrachtet (Bregenz, Dornbirn, Hofsteig, Hohenems, Ludesch, Meiningen, Vorderland, Walgau), so ergibt sich ein nur minimal geringeres Potenzial von 326 GWh/a in Szenario 1 sowie 565 GWh/a in Szenario 2. In weiterführenden Analysen ist es nötig, das theoretische Potenzial in ein wirtschaftliches Potenzial zu überführen. Die Größenordnung des theoretischen Potenzials lässt in jedem Fall erkennen, dass die ARAs maßgeblich zu einer nachhaltigeren Wärmeversorgung beitragen könnten. Parameter, die den genauen Wert beeinflussen, sind die Abnahmefähigkeit im Sommer, die Größe des

Netzes, und die Variabilität der Wärmepumpe in Bezug auf Teillast. Wird davon ausgegangen, dass unter Berücksichtigung dieser Parameter ca. 40-60 % des Potenzials genutzt werden kann, so ergibt sich bei einer Referenztemperatur von 5 °C ein Potenzial von 226-339 GWh/a im Rheintal/Walgau. Ob dieses Potenzial auch wirtschaftlich erschlossen werden kann, hängt von der Betriebsweise und dem erzielbaren Wärmepreis ab. Aufgrund des häufig außerhalb liegenden Standorts der ARAs ist zu überlegen, ob die Groß-Wärmepumpe in der ARA, oder besser an anderer Stelle in der Nähe des Wärmenetzes installiert und betrieben werden soll - mit dem Vorteil, dass eine längere Strecke der Leitung nur "kalt" betrieben werden muss (billiger, weniger Verluste). Zudem ist zu bedenken, dass bei einer ARA eventuell kein Wärmepreis erzielt werden muss, da es für den Betreiber bereits ausreichend sein kann, dass die Wärme nicht zur Fluss-/Seeaufwärmung führt. Bei einem COP (Coefficient of Performance) von 3-3,5 und einem Wärmepreis von 0 Cent wäre dann durchaus ein wirtschaftlicher Betrieb durch den Netzbetreiber möglich.

3.3.3 Rechenzentren

Eine Studie aus Deutschland [13] zeigt einen Anstieg des jährlichen Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen von 2010 bis 2021 von ca. 40 %. Bis 2023 wird zudem ein weiterer Anstieg um weitere 60 % prognostiziert. Somit gäbe es einen Anstieg des Energiebedarfs von ca. 2.700 GWh/a auf ca. 8.250 GWh/a. In derselben Studie wird davon ausgegangen, dass ca. 10 % der Abwärme auf einem Temperaturniveau unter 20 °C ausgekoppelt werden kann, ca. 20 % auf einem Temperaturniveau oberhalb 35 °C und die verbleibenden 70 % im Temperaturbereich zwischen 20 °C und 35 °C.

Eine weitere Studie aus Deutschland [14] kommt zu folgenden Schlüssen:

- Der Colocation-Anteil an den Rechenzentrumskapazitäten wird bis 2025 auf ca. 50 % steigen, wobei mindestens 10.000 Unternehmen in Deutschland (ab 20 Beschäftigte) Colocation-Services nutzen.
- In Deutschland gibt es ca. 50.000 Rechenzentren, Serverräume und einzelne Serverschränke. Es gibt ca. 3.000 Rechenzentren mit mindestens 40 kW Anschlussleistung, davon 90 mit mehr als 5 MW.
- Die Region Frankfurt/Rhein-Main gehört neben London zu den Top-Rechenzentrumsstandorten in Europa. Rechenzentrumsdichte von Hessen daher mehr als fünfmal so hoch wie Flächenstaaten wie Bayern, Baden-Württemberg oder Nordrhein-Westfalen (vgl. Studie zu Hessen [13]).
- Der Gesamtenergiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland ist von 2010 bis 2020 von 10.500 GWh/a auf 16.000 GWh/a gestiegen.
- Bisher nutzen nur 5 % der Rechenzentren ihre Abwärme zu mehr als 50 %, 20 % nutzen ihre Abwärme zu 10-50 % und 15 % nutzen ihre Abwärme bis zu 10 %.

- Werden die Studienergebnisse für Rechenzentren in Hessen mittels BIP auf Vorarlberg übertragen, so ergibt sich bei einem BIP von 22,9 Mrd. € für Vorarlberg [15] und 323 Mrd. € für Hessen [16] im Jahr 2022 ein Energiebedarf von Rechenzentren von ca. 370 GWh/a. Jedoch ist Hessen auf Grund des Bankensektors für Vorarlberg nicht repräsentativ. Wird der Faktor 5 aus der Studie von Hintemann et al. [14] verwendet, so ergäbe sich für Vorarlberg ein Potenzial von ca. 74 GWh/a. Da jedoch ca. 30 % der IT-Anschlussleistung in kleineren IT-Installationen steckt und damit nicht genutzt werden kann, verbleiben in etwa 50 GWh/a an Potenzial. Laut Hintemann et al. sind davon ca. 70 % in Rechenzentren größer 5 MW Anschlussleistung. Solche Anschlussleistungen sollten dem Netzbetreiber bekannt sein. Sollte es diese Größe an Rechenzentren in Vorarlberg nicht geben, so ergäbe sich ein – nahezu vernachlässigbares – theoretisches Potenzial von ca. 15 GWh/a.

4 Ermittlung konkreter Potenziale in der Industrie

4.1 Theoretische, technische und wirtschaftliche Potenziale

Für die 13 untersuchten Unternehmen beträgt das ermittelte theoretische Abwärmepotenzial 530 GWh. Es setzt sich zusammen aus Wärmeströmen, die im Rauchgas, in Prozessabluft, in warmer Fortluft von Lüftungsanlagen, in luft- oder wassergeführten FreeCooling-Systemen, in der Abwärme von Kälte- und Druckluftanlagen, sowie im Abwasser und in zu Kühlzwecken erwärmtem Grundwasser zu finden sind.

In Abbildung 5 sind die theoretischen Potenziale dieser Wärmeströme in fünf Temperaturklassen dargestellt. Bereits genutzte Abwärmeströme sind hier nicht enthalten.

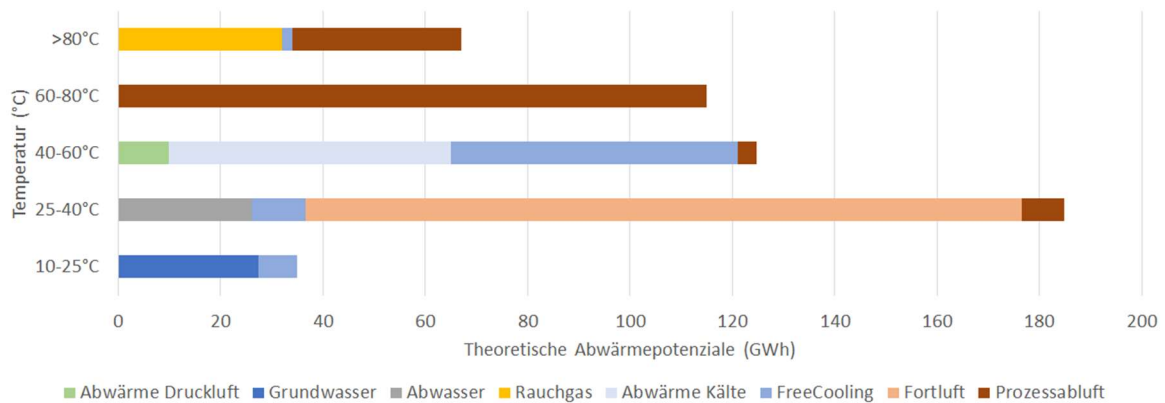


Abbildung 5: Theoretische Abwärmepotenziale nach Temperaturklassen und Wärmequelle

Von diesen theoretischen Potenzialen sind zum einen Wärmeströme in Abzug zu bringen, die technisch nicht erschlossen werden können. Zum anderen wird das Potenzial um jene Energie reduziert, die in den Sommermonaten anfällt und – sofern keine saisonale Speicherung umgesetzt wird (vgl. Kapitel 5.2) – in Wärmenetzen nicht genutzt werden kann (Ermittlung siehe Kapitel 4.2).

Vom verbleibenden technischen Potenzial (345 GWh) werden noch Abschläge für mögliche Effizienz- und Dekarbonisierungs-Maßnahmen gemacht, die in den nächsten Jahren umgesetzt werden könnten und das Abwärmepotential entsprechend mindern. Von den nun noch verbleibenden 274 GWh werden letztlich Wärmeströme in Abzug gebracht, deren Erschließung und/oder Nutzung wirtschaftlich nicht abbildbar ist.

Abbildung 6 zeigt die jeweiligen relativen Potenziale für alle untersuchten Unternehmen in Relation zum Endenergieeinsatz. Der gewichtete Mittelwert des wirtschaftlichen Potenzials beträgt 29 %.

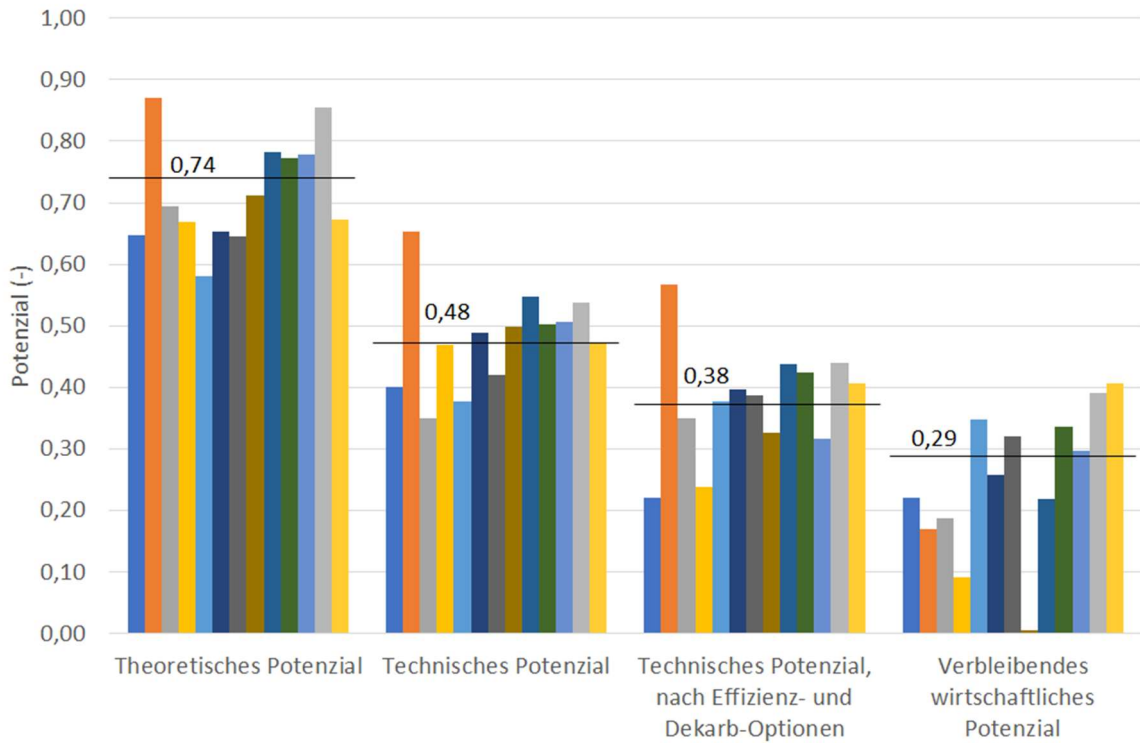


Abbildung 6: Relative Potenzialstufen in den untersuchten Unternehmen, gewichtete Mittelwerte

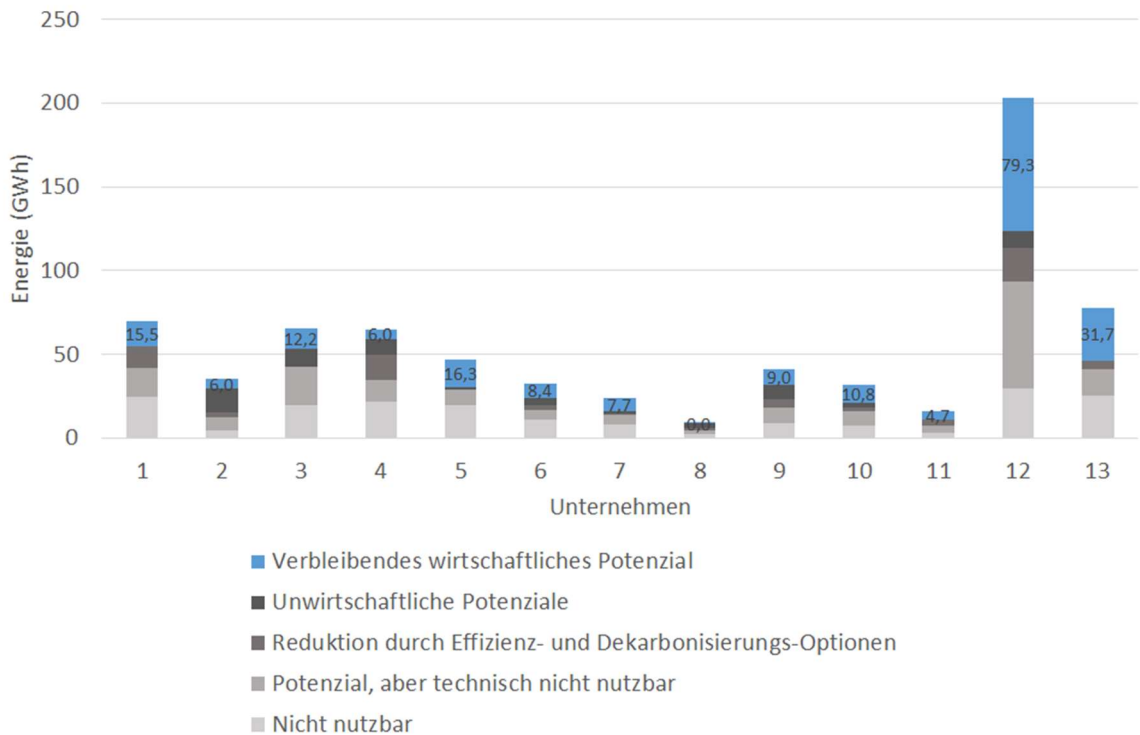


Abbildung 7: Endenergieeinsatz, Potenzialabschläge und wirtschaftliches Potenzial der untersuchten Unternehmen

Der gesamte Endenergieeinsatz für den produzierenden Bereich liegt bei rund 2.400 GWh, worin allerdings auch Treibstoffe enthalten sind. Bezieht man das ermittelte wirtschaftliche Potenzial von 29 % auf die eingesetzten Energieträger Erdgas, Strom und Biomasse (2.245 GWh), läge das hochgerechnete Potenzial bei 651 GWh.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Abwärmeströme in den wenigen großen Industrie-Unternehmen deutlich wirtschaftlicher zu nutzen sind, als in den vielen mittleren und kleineren Gewerbebetrieben. Für diese, nicht erfassten Unternehmen soll deshalb ein deutlich niedrigerer Wert von 15% für das wirtschaftliche Potenzial angesetzt werden, was in Summe zu einer Quote von 20% und somit einem abgeschätzten Absolutwert von 437 GWh führt.

4.2 Zeitlicher Verlauf des Angebots

Die Betriebszeiten der untersuchten Unternehmen variieren stark. Einige Betriebe produzieren mehr oder weniger rund um die Uhr, wobei die meisten davon in der Weihnachtswoche (KW 52) schließen. Ansonsten findet zwischen 2- und 4-Schichtbetrieb alles statt, Schließzeiten meist eine Woche im Winter und zwei Wochen im Sommer. Gewichtet man die Jahresstunden mit dem theoretischen Abwärmepotenzial, steht die Abwärme an 7.250 Stunden im Jahr (also zu 83 %) zur Verfügung (Abbildung 8).

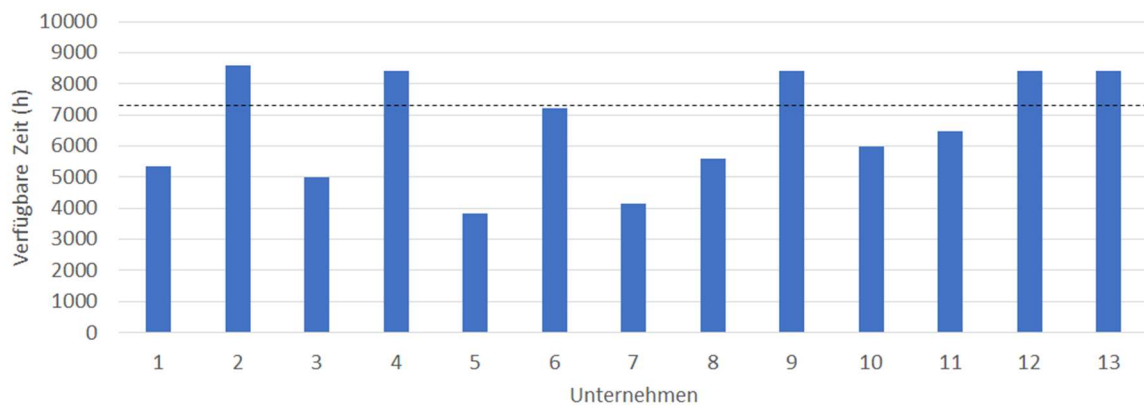


Abbildung 8: Verfügbarkeitsstunden von Abwärme in den untersuchten Unternehmen

Generell ist davon auszugehen, dass die Abwärmelieferung im Kernwinter eine Woche unterbrochen wird; eine Speicherung für diese Zeit ist wirtschaftlich nicht abbildbar. Wärmenetze müssen also jedenfalls multimodal betrieben werden: Während industrielle Abwärme mehr oder weniger ganzjährig eine Bandlast liefert, müssen andere Erzeuger, insbesondere Biomasse-Heizwerke für die winterliche Spitzenlast sorgen.

Der Unterschied zwischen Sommer- und Winterabwärme ist hingegen eher gering. Alles, was direkt mit dem Produktionsprozess zu tun hat (Prozessabluft, FreeCooling, Rauchgas, Abwasser, etc.) fällt ganzjährig in fast konstanter Menge an; nur die Fortluft aus Lüftungsanlagen und die Abwärme von Kälteanlagen (Abbildung 9) treten mit ca. 65 zu 35 % sommerlastig auf. Gesamthaft ergibt sich dadurch eine Sommerlastigkeit von ca. 55 zu 45 %.

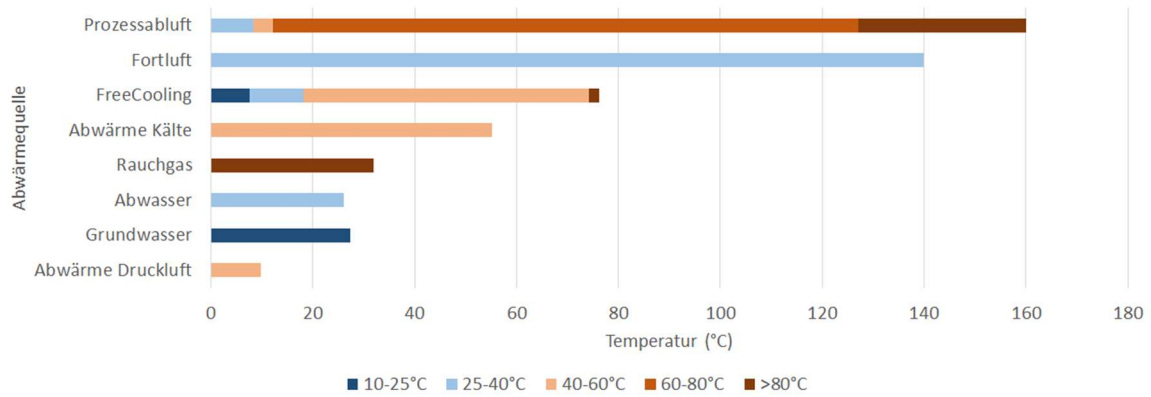


Abbildung 9: Theoretische Potenziale nach Wärmequelle und Temperaturklassen

Die Frage, welcher Anteil der sommerlichen Abwärme genutzt werden kann, hängt davon ab, wie viel die Abwärme generell beisteuert. Bei einem Anteil von rund 25 % (die restlichen 75 % werden von Biomasse-Heizwerken geliefert) stimmt die Menge der sommerlichen Abwärme in etwa mit dem sommerlichen Bedarf überein, sodass annähernd 100 % der Abwärme abgegeben werden kann. Wollte man ein Wärmenetz auch im Winter weitestgehend mit Abwärme betreiben, könnten weniger als 50 % davon genutzt werden. Für die weitere Einschätzung des technischen Potenzials wird angenommen, dass Abwärme rund die Hälfte der gesamten Wärmelieferung im jeweiligen Netz ausmacht. Damit können rund 80 % des Abwärmepotenzials genutzt werden (vgl. Abbildung 10).

Dieser Einschätzung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Die Bandlast für das Warmwasser ergibt sich aus dem Endenergiebedarf von ca. 25 kWh/m² Nutzfläche und Jahr, sowie dem Bedarf an ganzjähriger Niedertemperatur-Prozesswärme, etwa im Tourismus, aber auch in kleinen Gewerbebetrieben. Wird zukünftig rund ein Drittel der Raumwärme über Wärmenetze geliefert, beträgt der monatliche WW-Energiebedarf ca. 13,8 GWh (165 GWh/a). Für die ganzjährig benötigte NT-Wärme werden weitere 3,4 GWh/Monat (41 GWh/a) angesetzt.
- Für den Heizwärmebedarf wird eine sanierungsbedingte Senkung des Endenergiebedarfs von derzeit 115 kWh/m²a auf 95 kWh/m²a (2030) angenommen – ca. 700 GWh/a.

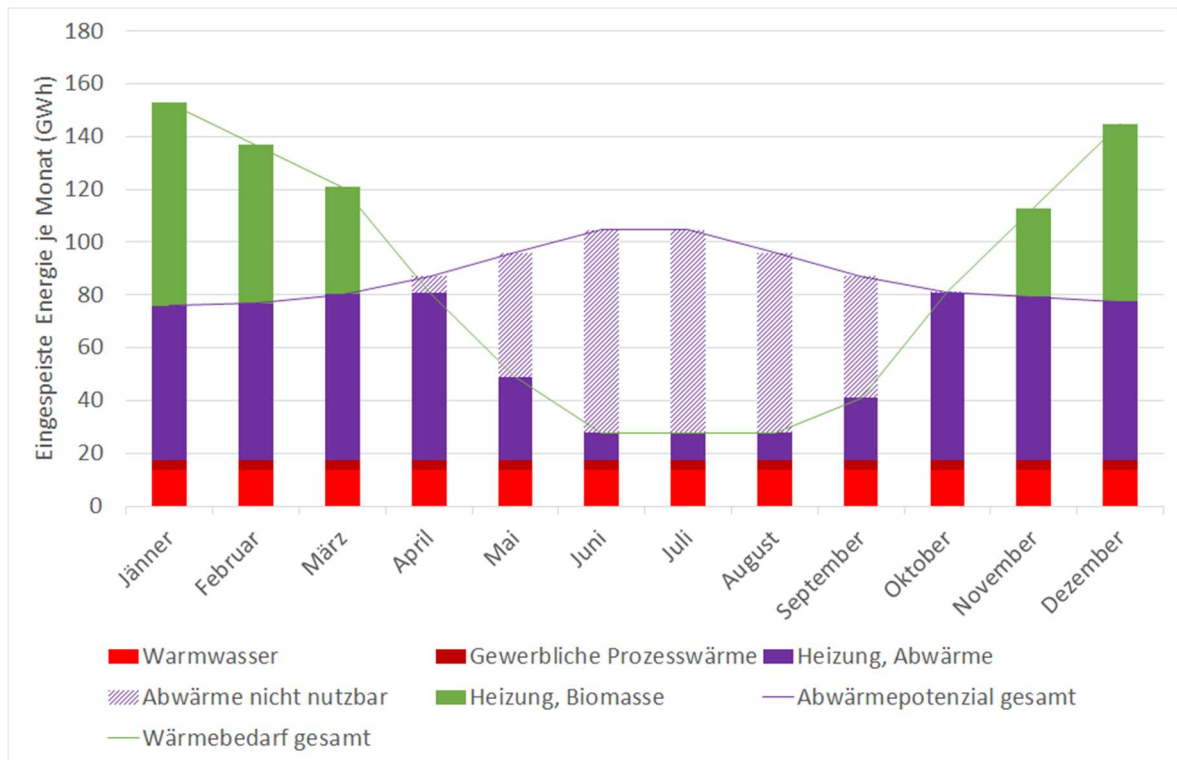


Abbildung 10: Saisonale Abdeckung des Bedarfs bei 50 % Abwärmeanteil

4.3 Geografische Eignung

Rund 30 % der ermittelten Abwärmemenge der untersuchten Betriebe fallen im unteren Rheintal an; hier sind in unmittelbarer Nähe der Betriebe entweder bereits Wärmenetze bestehend (Hard/Fußach, Lauterach, Dornbirn, Hohenems) oder sie werden gerade projiziert (Bregenz, Wolfurt)

Die restlichen 70 % fallen im Walgau an, wo es einige kleinere Netze im Bereich von 1 GWh Bedarf gibt, sowie die Netze in Feldkirch mit einem Bedarf von insgesamt <20 GWh. Das Abwärmepotenzial ist aber um ein Vielfaches größer, sodass die Nutzung des Potenzials einen massiven Ausbau der Wärmenetze zwischen Feldkirch und Bludenz bedingt.

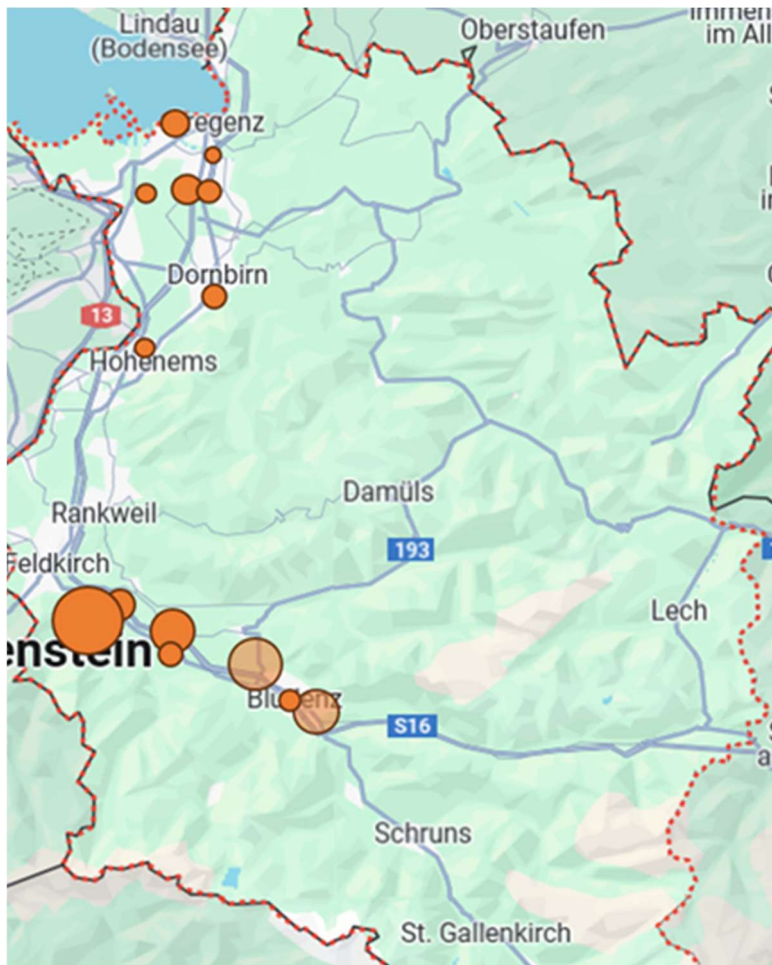


Abbildung 11: Verortung der wirtschaftlichen Abwärmepotenziale der untersuchten Unternehmen (transparente Kreise: Schätzungen für zwei nicht im Detail untersuchte Unternehmen)

4.4 Bereitschaft der Betriebe, Anforderungen an Netzbetreiber

Generell ist die Bereitschaft, Abwärme zu liefern seitens der Betriebe durchwegs gegeben, sofern erforderliche Investitionen und Betrieb wirtschaftlich dargestellt werden können. Dabei kommt für die Unternehmen sowohl die Lieferung von Anergie (Betrieb der Wärmepumpe durch den Wärmenetzbetreiber), als auch der Betrieb der Wärmepumpe und die Lieferung von direkt nutzbarer Wärme in Frage. Eine Garantie zur Wärmelieferung kann i.d.R. nicht gegeben werden, sehr wohl aber sind Rahmenverträge möglich, innerhalb derer die Lieferung einer bestimmten Abwärmemenge zugesagt wird. Das stellt wiederum für die Wärmenetzbetreiber eine Sicherheit dar; trotzdem verbleibt auf beiden Seiten ein gewisses Investitionsrisiko.

In vielen Fällen kann fast durchgehende Wärme geliefert werden, manchmal nur im 2-Schicht-Betrieb (16 Stunden pro Tag). Auch das Wochenende muss in einigen Fällen überbrückt werden. Auch, weil in fast allen Betrieben die Weihnachtswoche eine Urlaubswoche ist, muss der Wärmenetzbetreiber in der Regel die gesamte erforderliche Leistung (in Form der Biomasse-Heizwerke) vorhalten.

Je niedriger die Temperatur, mit der die Abwärme ins Netz eingespeist werden darf, umso höher die Effizienz der Wärmepumpe und damit umso attraktiver aus wirtschaftlicher Sicht die Investition, bzw. umso kostengünstiger die Wärmeabgabe. Wärmenetze, die mit 75 °C Vorlauf betrieben werden, bieten hier ideale Voraussetzungen, bei höheren Vorlauf-, aber niedrigen Rücklauftemperaturen um 50 °C, ist oft auch eine Einspeisung in den Rücklauf möglich. Letztlich kommt auch die Installation eines Drei-Leiter-Wärmenetzes (Abbildung 12) in Frage, dessen Wirtschaftlichkeit im Einzelfall zu prüfen ist.

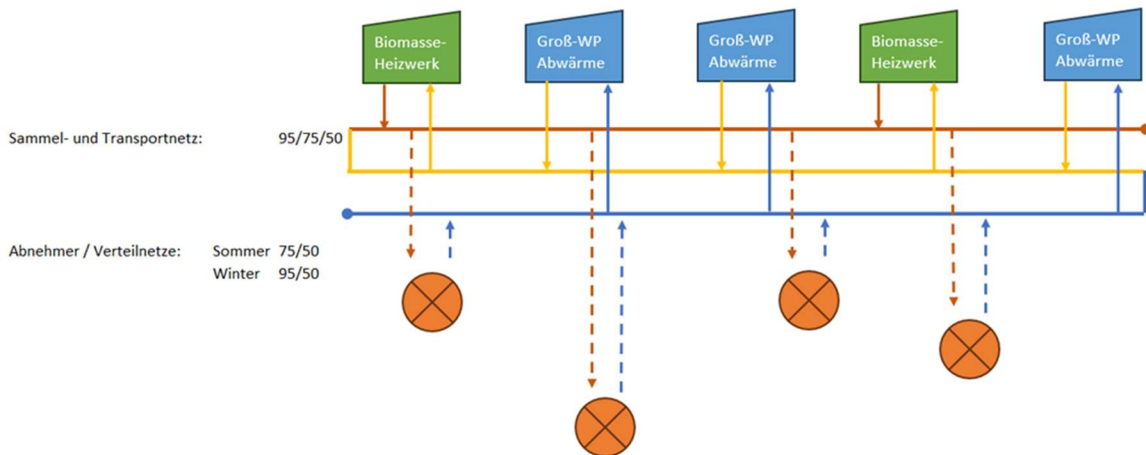


Abbildung 12: 3-Leiter-Wärmenetz zur optimalen Integration von Abwärme

Der Ansatz, Anergie-Netze („kalte Netze“) zu betreiben, scheitert i.d.R. daran, dass die zur Verfügung stehenden Abwärmeströme sehr unterschiedliche und auch schwankende Temperatur-Niveaus aufweisen. Das Mischen dieser Ströme auf ein einheitliches Niveau, um an zentralem Ort eine sehr große Wärmepumpe zu betreiben, könnte zwar aus Sicht der Investitionskosten Vorteile bieten, würde aber die Effizienz relevant schmälern, was sich in Summe negativ auf die gesamthafte Wirtschaftlichkeit auswirkt. Nur wenn lokal mehrere Betriebe mit ähnlichem Temperaturniveau der Abwärmequellen zusammengefasst werden können, sollte diese Variante geprüft werden.

5 Technologien zur Potenzialerhöhung/Kalkulation

5.1 Wärmepumpen

Generell steht der größte Teil der Abwärme in Form von Anergie – also nicht direkt nutzbar – zur Verfügung. Die wichtigste Technologie zur Nutzarmachung ist deshalb die Groß-Wärmepumpe.

Den ermittelten Effizienzwerten der Wärmepumpen wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Kaskadische Schaltung der Wärmepumpen bei Temperaturdifferenzen >10 K (Wärmequelle oder -senke; siehe Abbildung 13)
- Kondensation 2 K oberhalb Wärmesenke Vorlauf
- Verdampfung 5 K unterhalb Wärmequelle Rücklauf
- Gütegrad 68 % (z.B. Kolbenverdichter mit Kältemittel Ammoniak)

Hilfsantriebe benötigen zusätzliche 10 % der Verdichter-Energie

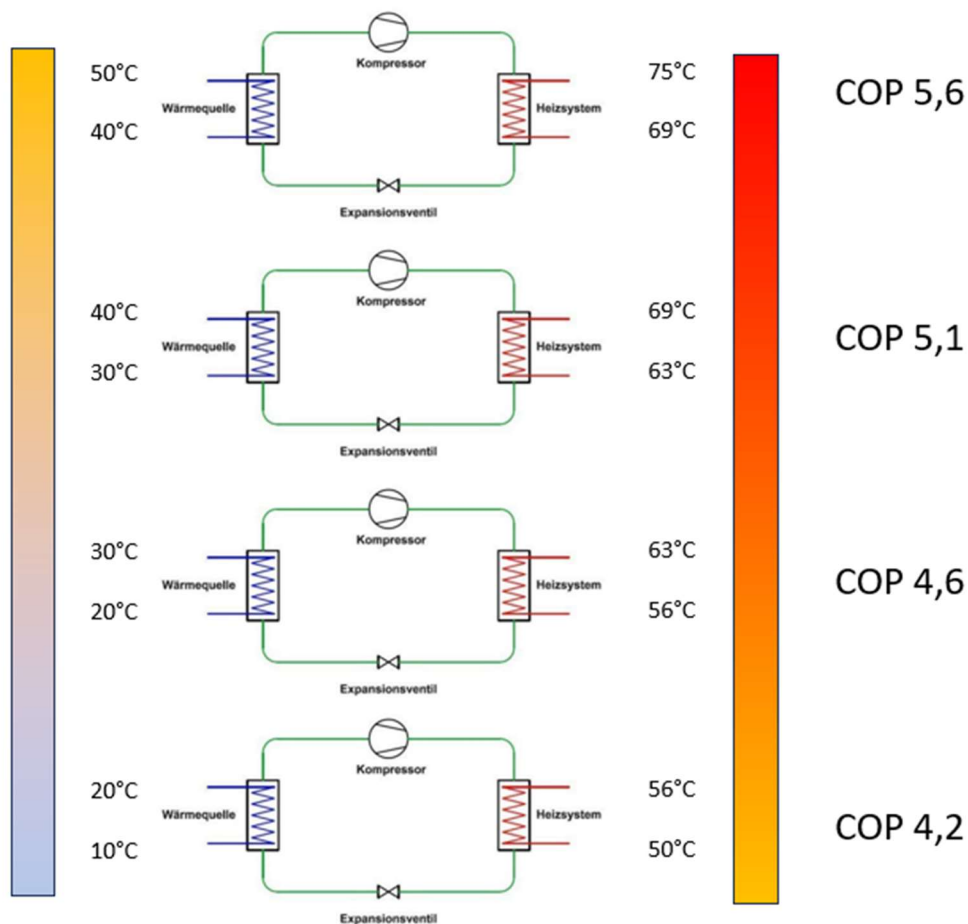


Abbildung 13: Kaskadenschaltung einer Wärmepumpen-Anlage

Kann die Wärme mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C eingespeist werden (vgl. Kap. 4.4), sind je nach Wärmequelle COP-Werte zwischen 3 und 6 möglich.

5.2 Wärmespeicher

Speziell in Betrieben, die nur im 2-Schicht-Betrieb und/oder nur werktags arbeiten, könnten Wärmespeicher interessant sein, in denen die Abwärme gepuffert wird, um etwa auch in der Nacht liefern zu können. Die Investition hierfür (Pufferspeicher mit mehreren hundert bis tausend Kubikmetern) kann sich zwar je nach Größe im 6- oder sogar 7-stelligen Bereich bewegen; dafür kann die Wärmepumpe jedoch kleiner und für deutlich mehr Betriebsstunden ausgelegt werden, was die Investition durchaus wieder wettmachen kann. Außerdem kann kontinuierlicher Wärme geliefert werden, was sich evtl. positiv auf den erzielbaren Preis auswirkt.

Für sehr große Netze und damit auch große sommerliche Abwärmemengen, die zunächst nicht genutzt werden, könnten Groß-Wärmespeicher („Giga-TES“) interessant sein, um auch diese sommerlichen Abwärmepotenziale zu nutzen (saisonal zu speichern). Soll bspw. die gesamte Abwärme der Betriebe im Walgau genutzt werden, könnten zwischen 250 und 400 GWh zur Verfügung stehen, womit bis zu 50 % des gesamten Einzugsgebiets versorgt werden könnten. Für die sommerlichen Überschüsse ist ein Speicher in der Größenordnung von 75-120 GWh Kapazität erforderlich, was bei einer Speicherkapazität von 35 kWh/m³ zu einem Volumen von 2 bis 3,5 Mio. m³ führt. Für die spezifischen Kosten für Speicher dieser Größenordnung werden in [17] Kosten von ca. 75 €/m³ genannt - Bandbreite der Investitionskosten also 150 bis 260 Mio.€. Bei einer Abschreibungsdauer von 50 Jahren und 4 % Zinssatz liegen die jährlichen Kapitalkosten zwischen 7 und 12 Mio.€; dafür können 60 bis 120 GWh (sommerlicher Überschuss abzgl. 20 % Speicherverluste) zusätzlich genutzt werden, was zu spezifischen Speicherkosten in der Größenordnung von 10 ct/kWh führt. Zusammen mit den Betriebskosten der Wärmepumpe (2-3 ct/kWh thermischer Energie) ergibt sich damit ein hoher Wärmegestehungspreis, der eine wirtschaftliche Umsetzung der saisonalen Speicherung aus heutiger Sicht unwahrscheinlich macht. Angesichts weiter steigender Energiepreise wäre eine genauere Betrachtung dennoch interessant, zumal die saisonale Speicherung noch weitere Vorteile, etwa in Bezug auf die Ausfallsicherheit, mit sich bringt.

5.3 Nutzung von Billigstrom / Flexibilisierung

Groß-Wärmepumpen können einen Beitrag zur Flexibilisierung leisten und dabei ihre eigene wirtschaftliche Performance verbessern. Hierfür wird die Energieversorgung für eine bestimmte Dauer, z.B. zwei oder vier Stunden pro Tag – Zeitpunkt nach Wahl des

Energieversorgers – abgeschaltet. Dabei handelt es sich um jene Stunden mit dem höchsten Börsenpreis, sodass sich der Mittelwert über die verkürzte Bezugsdauer entsprechend reduziert. Auf Basis von Abschätzungen gemäß [18] könnte eine Netzsperre von zwei Stunden eine Reduktion um ca. 0,5 ct/kWh bringen; bei vier Stunden rund 1 ct/kWh. Um die Abwärme trotzdem nutzen zu können, muss die Energie gespeichert werden, was sich wirtschaftlich gut abbilden lässt. Konkrete Modelle sollten also durchaus exemplarisch geprüft werden, zumal die Abschaltungen während Hochpreiszeiten auch netzdienlich sein können.

5.4 Wärmegestehungskosten / Ertragspotenziale Anergie

Für die Ermittlung der Wärmegestehungskosten, bzw. der Anergiewerte wurden für die skizzierten Wärmepumpen Investitionskosten abgeschätzt und auf Basis von 20 Jahren Lebensdauer und 6 % Verzinsung jährliche Kapitalkosten ermittelt. Des Weiteren wurden die Kosten für Reparatur und Wartung abgeschätzt. Für die Energiekosten wurde ein Strompreis von 14 ct/kWh (Netto-Gesamtpreis) herangezogen.

Die Kalkulation wurde ohne Berücksichtigung von (derzeit möglichen) Förderungen für die Nutzung von Abwärme angestellt.

Aus diesen Daten wurde ein Wärmegestehungspreis abgeleitet, der meist zwischen 3 (bei sehr günstigen Bedingungen) und 6 ct/kWh lag. Nur bei sehr ungünstigen Bedingungen ergaben sich Preise oberhalb von 6 ct/kWh; diese Potenziale wurden dann als unwirtschaftlich ausgeschieden.

Umgekehrt wurde der Wert der Anergie ermittelt, basierend auf einem Verkaufspreis für die direkt nutzbare Wärme (also Output Wärmepumpe) von 6 ct/kWh. Auch hier trifft man wieder auf eine Bandbreite; die konkreten Werte hängen vor allem von den Jahresbetriebsstunden und von der Größe der Wärmepumpe ab. Je nach Quellentemperatur betragen diese Bandbreiten:

Tabelle 2: Bandbreite für COP der Wärmepumpen bzw. den erzielbaren Marktpreis in Abhängigkeit der Quellentemperatur der Wärmepumpe

Quellentemperatur (°C)	Häufige Quellen	COP (Wärmenetz 75/50)	Marktpreis (ct/kWh) (Basis 6 ct/kWh Wärmenetz)
15 - 30	Grundwasser, Abwasser, Fortluft, FreeCooling	3 - 4	0 - 1
30 - 50	FreeCooling, Kälte, Prozessabluft	3,5 - 5,5	0,5 - 2,5
50 - 70	FreeCooling, Druckluft, Prozessabluft	4 - 6	1 - 3
> 75	Prozessabluft, Rauchgas	direkt	3 - 5

6 Gesamtanalyse und Conclusio/Empfehlungen

6.1 Gesamtanalyse

Gemäß Hochrechnung der Bottom-Up-Analyse in 13 Industrieunternehmen beträgt das wirtschaftliche Potenzial zur Nutzung von betrieblicher Abwärme in Vorarlberg 437 GWh/a. Demgegenüber liefert die Top-Down-Analyse folgende Abschätzungen:

Der Auswertung für die Region East Yorkshire and North Lincolnshire zufolge liegt die Bandbreite für das Potenzial in Vorarlberg zwischen 330 und 812 GWh/a. Aufgrund der doch sehr unterschiedlichen Industriestruktur sind auch diese Zahlen noch mit Unsicherheiten behaftet; dennoch kann eine übereinstimmende Größenordnung festgestellt werden.

Die gesamteuropäische Studie sEEnergies weist für Österreich ein Potenzial von 6.750 GWh/a aus, woraus ca. 285 GWh/a für Vorarlberg abzuleiten sind. Allerdings referenziert diese Studie auf eine Temperatur von 25 °C, was zum einen einige potenzielle Quellen ausschließt und zum anderen das Potenzial der restlichen Quellen mindert, da eine Abkühlung der Wärmequellen auf 10 bis 20 °C durchaus wirtschaftlich sein kann. Insofern liefert auch diese Studie keinen Widerspruch zu den konkret ermittelten Werten.

Der „Steirische Abwärmekataster III“ aus dem Jahr 2020 liefert detaillierte Abwärmepotenziale für verschiedene Branchen. Umgelegt auf die in Vorarlberg ansässigen Unternehmen ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 437 GWh/a, wovon bereits 73 GWh/a genutzt wären. Dass das Gesamtpotenzial exakt dem hochgerechneten Wert der Bottom-Up-Analyse entspricht, ist reiner Zufall – so ist bspw. anzumerken, dass in dieser steirischen Studie auf eine Temperatur von 0°C referenziert wurde, was das Potenzial größer erscheinen lässt. In der Realität ist eine Abkühlung auf 0 °C i.d.R. nicht wirtschaftlich darstellbar.

In Relation zur eingesetzten Endenergie können in den für Vorarlberg relevanten Branchen lt. steirischer Studie 15 bis 40 % als Abwärme genutzt werden – in hoher Übereinstimmung mit den Vorarlberger Ergebnissen (zwischen 17 und 41 %); lediglich in zwei Fällen wurde das Potenzial auf 9, bzw. 0 % reduziert, weil die Abwärme zukünftig für eine Groß-WP (Substitution Erdgas) benötigt werden könnte.

Branchenspezifisch zeigt die Anwendung der steirischen Ergebnisse in Vorarlberg, dass die größten Potenziale in *Papier und Druck* (32 %) zu finden sind, gefolgt von *Maschinenbau* (22 %), *Nahrungs- und Genussmittel* (20 %) sowie *Textil und Leder* (11 %). Auch das stimmt prinzipiell mit der Bottom-Up-Analyse überein, wobei der hier untersuchte Branchenmix nicht ausreichend repräsentativ ist – es konnte bspw. kein Unternehmen der Textilbranche untersucht werden.

Lediglich beim ausgewiesenen Temperaturniveau der Abwärmequellen gibt es Unterschiede: Zwar liefern beide Auswertungen den Großteil der Abwärme unterhalb von 50 °C; gemäß der steirischen Studie wären es drei Viertel, die tatsächlich erfassten Werte in Vorarlberg liefern hier aber nur einen Anteil von knapp über 50 %.

6.2 Conclusio/Empfehlungen

Die im Rahmen der Bottom-Up-Analyse ermittelten Potenziale lassen sich über die analysierten internationalen Studien, noch mehr aber über den Abwärmekataster der Steiermark sehr gut plausibilisieren. Mit über 400 GWh/a liegt damit ein beträchtliches, wirtschaftliches Potenzial an betrieblicher Abwärme vor. Hinzu kommt ein ebenfalls relevantes Potenzial, das in Abwasserreinigungsanlagen erschlossen werden könnte - über 500 GWh/a umfasst das theoretische Potenzial. Das wirtschaftlich umsetzbare Potenzial muss in weiterführenden Analysen erarbeitet werden, 200 bis 300 GWh/a scheinen hierfür aber realistisch. Für Rechenzentren und Krankenhäuser konnten hingegen in Vorarlberg keine wesentlichen Potenziale ausgewiesen werden.

Diese gesamthaften Potenziale ermöglichen, die Wärmenetze in Vorarlberg gegenüber dem Jahr 2020 (308 GWh/a) um den Faktor 3 bis 4 – auf rund 1000 GWh/a auszubauen, ohne dass dafür deutlich mehr biogene Brennstoffe zum Einsatz kommen müssten. Damit könnte das diesbezügliche Ziel der Energieautonomie (490 GWh bis 2030) bei Weitem übertroffen werden.

Um diese attraktiven Potenziale auch rasch heben zu können, werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- Im Umfeld bestehender Wärmenetze: Vernetzung von potenziellen Abwärmelieferanten (Industrie, ARAs) mit den lokalen Wärmenetzbetreibern
- Fokusgebiet Walgau: Unterstützung der Machbarkeitsanalyse einer „Wärmeschiene Walgau“, um den größten Teil des Potenzials erschließbar zu machen
- Unterstützung bei der Ausarbeitung der Betreibermodelle.
- Nutzung von Flexibilitäten in Wärmenetzen: Konzepte für die optimale Bewirtschaftung von Flexibilitäten auf der Erzeugerseite (netzdienlicher Betrieb von Wärmepumpen, bspw. Sperrzeiten oder dynamische Tarife) sowie auf der Verbraucherseite (optimierte Bewirtschaftung von Heizungs- und Warmwasserspeichern) in Wärmenetzen erarbeiten und mögliche Lösungen sondieren.
- Beteiligung des Landes Vorarlberg in Form von „Letter of Interest“ für Forschungsprojekte zum Thema thermische Energiesysteme an der FHV (insbesondere Forschungsausschreibung COIN).

7 Literaturverzeichnis

- [1] Leistungs- und Strukturdaten, STATISTIK AUSTRIA (n.d.). <https://www.statistik.at/statistiken/industrie-bau-handel-und-dienstleistungen/leistungs-und-strukturdaten> (accessed January 9, 2024).
- [2] Nutzenergieanalyse, STATISTIK AUSTRIA (n.d.). <https://www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/nutzenergieanalyse> (accessed September 6, 2023).
- [3] S. Brückner, Industrielle Abwärme in Deutschland, Dissertation, Technische Universität München, 2016.
- [4] P. Mayerhofer, Vorarlbergs Wirtschaft im europäischen Konkurrenzumfeld, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, 2022.
- [5] M.D.A. Albert, K.O. Bennett, C.A. Adams, J.G. Gluyas, Waste heat mapping: A UK study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 160 (2022) 112230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112230>.
- [6] J.J. Bonilla, J.M. Blanco, L. López, J.M. Sala, Technological recovery potential of waste heat in the industry of the Basque Country, *Applied Thermal Engineering* 17 (1997) 283–288. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(96\)00024-5](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(96)00024-5).
- [7] T. Fleiter, P. Manz, M. Neuwirth, F. Mildner, U. Persson, K. Kermeli, W. Crijns-Graus, C. Rutten, D5.1 - Excess heat potentials of industrial sites in Europe - Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials, sEnergies, 2020.
- [8] W. Gruber-Glatzl, R. Krainz, J. Fluch, F. Bailom, A. Hammer, E. Lachner, T. Kienberger, M. Hummel, A. Müller, Abwärmekataster III Steiermark, Öffentlicher Kurzbericht, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2021. https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12776224_157067047/c2520903/AWK_Stmk_%C3%96ffentlicher_Kurzbericht_v1.0.pdf (accessed September 6, 2023).
- [9] Klinergie – Viamedica Stiftung, (n.d.). <https://www.viamedica-stiftung.de/klinergie> (accessed February 20, 2024).
- [10] M. Mitterndorfer, G. Trnka, G. Simader, Energie- und CO₂-Einsparpotential der Wiener Krankenanstalten, Wien, 2012.
- [11] A. Müller, Energiebericht 2021, Dornbirn, Gebäude und Anlagen, Stadt Dornbirn, Dornbirn, 2022.
- [12] Krankenanstalten in Vorarlberg, Land Vorarlberg (n.d.). <https://vorarlberg.at/-/krankenanstalten-in-vorarlberg> (accessed February 20, 2024).
- [13] R. Hintemann, S. Hinterholzer, Entwicklungen im Rechenzentrumsmarkt Hessen - Chancen für diene nachhaltige Nutzung von Abwärme, Borderstep Institut, Berlin, 2022.
- [14] R. Hintemann, S. Hinterholzer, M. Graß, T. Grothey, Rechenzentren in Deutschland - Aktuelle Marktentwicklungen, Borderstep Institut, Berlin, 2022.
- [15] Vorarlberg - Bruttoinlandsprodukt (BIP) 2022, Statista (n.d.). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1270248/umfrage/bruttoinlandsprodukt-bip-von-vorarlberg/> (accessed February 20, 2024).
- [16] Hessische Wirtschaft wächst 2022 um 1,6 Prozent, statistik.hessen.de (2023). <https://statistik.hessen.de/presse/hessische-wirtschaft-waechst-2022> (accessed February 20, 2024).
- [17] W. van Helden, et al., Saisonale Speicher zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien für Distrikte, 2021. <https://www.gigates.at/index.php/de/publikationen/berichte> (accessed March 11, 2024).
- [18] Börsenstrompreise | Energy-Charts, (n.d.). https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=de&c=DE&enableStepping=1&interval=week&week=33&year=2023 (accessed March 11, 2024).

A Anhang

A.1 Anhang 1

Tabelle 3: Betriebsstruktur in Vorarlberg nach ÖNACE-Codes und sortiert nach der Beschäftigtenzahl, aus [1] (: aus Geheimhaltungsgründen nicht veröffentlicht, - keine weiteren Daten vorhanden).

	Anzahl Betriebe	Beschäftigte insgesamt	Betriebs Erlöse insgesamt in 1 000 EUR
Herstellung von Waren <C>	1 785	48 246	11 744 026
H.v. Metallerzeugnissen <C25>	267	12 827	2 756 592
Maschinenbau <C28>	104	7 038	1 709 272
H.v. Nahrungs- und Futtermitteln <C10>	201	5 758	1 475 678
H.v. Gummi- und Kunststoffwaren <C22>	48	2 836	613 772
H.v. Textilien <C13>	169	2 689	595 889
H.v. elektrischen Ausrüstungen <C27>	37	2 500	998 380
H.v. Kraftwagen und -teilen <C29>	20	1 819	590 917
H.v. Datenverarbeitungsgeräten <C26>	37	1 522	314 778
H.v. Papier/Pappe und Waren daraus <C17>	16	1 432	355 835
H.v. Holzwaren; Korbwaren <C16>	171	1 478	261 792
H.v. sonst. Waren <C32>	99	1 338	453 193
H.v. Möbeln <C31>	215	1 305	141 507
Reparatur/Installation v. Maschinen <C33>	138	988	199 452
Getränkeherstellung <C11>	27	878	198 432
H.v. Druckerzeugnissen <C18>	60	905	131 367
H.v. Glas/-waren, Keramik u.Ä. <C23>	70	897	182 886
Metallerzeugung und -bearbeitung <C24>	9	729	403 349
H.v. Bekleidung <C14>	54	723	97 513
H.v. chemischen Erzeugnissen <C20>	26	379	201 095
H v. Leder/-waren und Schuhen <C15>	5	:	:
Kokerei und Mineralölverarbeitung <C19>	1	:	:
H.v. pharmazeutischen Erzeugnissen <C21>	4	:	:
Sonst. Fahrzeugbau <C30>	7	:	:
Tabakverarbeitung <C12>	-	-	-
Handel <G>	3 659	24 531	11 258 366
Bau <F>	1 926	15 023	3 006 643
Beherbergung und Gastronomie <I>	2 149	13 750	1 014 240
Sonst. wirtschaftl. Dienstleistungen <N>	687	9 867	596 915
Verkehr <H>	512	8 908	1 927 785
Freiberufliche/techn. Dienstleistungen <M>	2 877	8 949	1 079 138
Finanz- und Versicherungsdienstleistungen <K>	342	4 055	876 719
Information und Kommunikation <J>	695	2 508	345 768
Energieversorgung <D>	108	1 787	913 962
Grundstücks- und Wohnungswesen <L>	1 217	2 330	764 972
Wasserversorgung und Abfallentsorgung <E>	96	938	496 574
Bergbau 	14	208	54 853
Sonst. Dienstleistungen <S>	65	129	10 229
Gesundheits- und Sozialwesen <Q>	-	-	-
Kunst, Unterhaltung und Erholung <R>	-	-	-

A.2 Anhang 2

Tabelle 4: Ungenutztes und genutztes technisches Potenzial (GWh/a) abgeleitet aus dem Abwärmekataster Steiermark [8] mit dem Bedarf für 2021 aus Statistik Austria [2] (GWh/a) und daraus abgeleitete anteilige Potenziale nach Branchen.

Branche nach Statistik Austria	Bedarf 2021 [2]	Technisches Potenzial			
		ungenutzt [8]	genutzt [8]	ungenutzt (%)	genutzt (%)
Papier und Druck	8.105	2.763	705	42,8	8,7
Eisen- und Stahlerzeugung	4.726	2.246	226	52,3	4,8
Steine und Erden, Glas	2.315	761	27	34,0	1,2
Maschinenbau	1.344	188	6	14,5	0,5
Bergbau	968	2	-	0,3	-
Nahrungs- und Genussmittel	828	89	31	14,6	3,7
Chemie und Petrochemie	592	230	2	39,2	0,3
Holzverarbeitung	562	0,51		0,0	0,0
Bau	445	-	-	-	-
Fahrzeugbau	436	30	6	8,6	1,6
Textil und Leder	209	2	15	8,8	7,6
Nicht Eisen Metalle	339	-	-	-	-
Sonst. Produzierender Bereich	164	18	1	12,5	1,1