

Nachhaltige Fernwärme für den Großraum Graz

Josef Steinegger, Andreas Hammer, Thomas Kienberger

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik, Franz-Josef-Straße 18,
8700 Leoben, +43 3842 4025401, evt@unileoben.ac.at, www.evt-unileoben.at

Kurzfassung: Fernwärmenetze sind weltweit verbreitet, doch der Aufbau eines überregionalen Fernwärmeverbundnetzes, das industrielle Abwärme und erneuerbare Energieträger mit den Bedarfen von Wärmeverteilernetzen verbindet, bleibt eine große Lücke. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Untersuchung eines überregionalen Fernwärmeverbundnetzes in der Steiermark und stellt die Ergebnisse und dessen Bedeutung im Kontext mit dem Wärmebedarf der Stadt Graz dar. Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Aufbau eines solchen überregionalen Wärmeverbundnetzes eine signifikante Effizienzsteigerung und eine erhebliche Senkung der CO₂-Emissionen erreicht werden kann. Insbesondere ist festzuhalten, dass dazu keine komplexen Lösungen wie Wärmepumpen erforderlich sind und sich die Versorgung der Wärmebedarfe im betrachteten Versorgungsgebiet ausschließlich über die vorhanden, als nachhaltig zu bewertenden Erzeugungskapazitäten (Biomasseheizwerke, und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) sowie über direkt verwendbare Industrieabwärme gewährleisten lässt. Die Investitionskosten sind etwas höher als bei ähnlichen Projekten, wobei jedoch zu beachten ist, dass keines dieser Projekte einen nur ansatzweise so hohen Anteil an nachhaltiger Wärme liefern kann. Durch die großflächige Verwendung von Abwärme sind im Vergleich geringere Wärmegestehungskosten zu erwarten. Die Ergebnisse empfehlen eine detaillierte Evaluierung dieses überregionalen Fernwärmeverbundnetzes in der Steiermark aufgrund seiner Effizienzgewinne und positiven Umweltauswirkungen.

Keywords: Fernwärme, Fernwärmeverbundnetz, Erneuerbare Energie, Industrielle Abwärme, Graz

1 Einleitung

Österreich hat sich das Ziel gesetzt bis 2040 bilanziell klimaneutral zu werden [1]. Um dies zu erreichen, muss auch die österreichische Fernwärmeversorgung großflächig transformiert werden, da Stand 2020 noch 48% [2] der Fernwärmeaufbringung aus nicht-nachhaltigen Quellen stammen. In Graz befindet sich das zweitgrößte Fernwärmenetz in Österreich, gemessen am Energieverbrauch [3]. Aktuell basiert die Wärmebereitstellung im Grazer Fernwärmenetz, zu über 80% auf fossilen Rohstoffen, wobei der Anteil an Gas im Jahr 2020, ungefähr 1000 GWh betrug. In Summe werden heute (2020) ca. 1350 GWh an Fernwärme im Großraum Graz den Kunden bereitgestellt. [4] Im Hinblick auf Klimaneutralität in der Grazer Fernwärmebereitstellung wurden bzw. werden diverse Speicherkonzepte in Verbindung mit Solarthermie und Biomasse diskutiert [5, 6]. Ein weiterer, aktuell diskutierter Ansatz besteht darin, eine Müllverbrennungsanlage zu errichten, die ebenfalls Wärme an das Fernwärmenetz liefern soll [7].

Ein anderer möglicher Ansatz wäre es Wärme über ein überregionales Fernwärmeverbundnetz bereitzustellen. Laut Moser et. al. [8] ist ein überregionales Fernwärmeverbundnetz ein Netz, das mehrere Wärmenetze miteinander verbinden und unabhängige Großverbraucher, Wärmesenken, Wärmequellen und/oder thermische Speicher einschließt. Um eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu gewährleisten, sollen die Wärmequellen dabei erneuerbar sein oder aus industrieller Abwärme stammen. Großflächige, überregionale Fernwärmeverbundnetze sind jedoch bis dato weltweit nicht Stand der Technik. Ein Netz das nahe an ein solches überregionales Fernwärmeverbundnetz herankommt ist das Wärmenetz in Kopenhagen. Dieses deckt über eine überregionale Fernwärmesammelschiene einen Wärmebedarf von ca. 10 TWh, verbindet ca. 20 Wärmenetze miteinander und ist bereits nahezu komplett CO₂ neutral. [8] Ein weiteres Netz, das ähnliche Strukturen nach der Definition eines überregionalen Fernwärmeverbundnetzes aufweist, ist das Wärmenetz TVIS. Dieses Wärmenetz, das ebenfalls in Dänemark liegt, speist über eine überregionale Fernwärmesammelschiene mehrere Wärmenetze mit Abwärme aus einer Müllverbrennungsanlage, der Abwärme einer Raffinerie und einer Kraftwärmekopplungsanlage basierend auf Erdgas. [9] In dieser Arbeit wird auf Basis der Definition des überregionalen Fernwärmeverbundnetzes ein Konzept erstellt. Kernpunkt dieses Ansatzes ist die Nutzung der Abwärme aus der energieintensiven Industrie in der Mur-Mürz-Furche über eine überregionale Fernwärmesammelschiene (Heat Highway). Diese kann es ermöglichen, nicht nur in Graz, sondern im ganzen Versorgungsgebiet, fossile Energieträger in der Wärmebereitstellung zu verdrängen. Durch die vermehrte Nutzung von Abwärme kann der Energiedarf am Gesamtsystem zur Fernwärmeversorgung im Mur-Mürztal (Heat Highway Region) drastisch gesenkt werden.

Im Rahmen des Projekts "Heat Highway" [10] der NEFI-Vorzeigeregion wird intensiv an dieser Idee geforscht, wobei bereits erste Umsetzungsvorschläge erarbeitet wurden.

2 Methode

Im Abwärmekataster der Steiermark [11] ist ersichtlich, das vor allem in der Mur-Mürz-Furche, eine große Menge an potenziell verfügbarer, industrieller Abwärme vorhanden ist. Um diese Abwärme umfangreich nutzen zu können, benötigt es Wärmetransportleitungen, die diese Wärmequellen mit vorhandenen Senken verbinden können. Der größte Wärmebedarf besteht dabei im Großraum Graz, aber auch die umliegende Netze entlang der Mur-Mürz-Achse bieten große Abnahmepotentiale für Wärme. Um ein überregionales Fernwärmeverbundnetz in dieser Region implementieren zu können, müssen zuerst diese vorhandenen Strukturen analysiert und Daten dazu generiert werden. Dabei müssen folgende prinzipiellen Daten bekannt sein:

- Ein Verständnis hinsichtlich der Topologien der bestehenden, an die überregionale Fernwärmesammelschiene anzuschließenden Wärmenetze.
- Die Temperaturen, Wärmeverluste und Rohrdurchmesser der jeweiligen Wärmenetze.
- Angaben zur Kapazität und den Standorten der installierten Wärmeerzeuger und Speicher innerhalb dieser Netze.
- Kenntnis der Anschlussleistungen der Wärmesenken innerhalb der bestehenden Wärmenetze.
- Daten über den jährlichen Energieverbrauch der Wärmesenken.

- Zeitlich aufgelöste Temperaturprofile der Außenluft an Verbraucherstandorten.
- Informationen über den zeitlich und räumlich aufgelösten Wärmebedarf der Wärmesenken.

Die Netztopologie und die Verbrauchs- und Erzeugerstrukturen wurden mittels Daten vom Land Steiermark [12], einer umfangreichen Internetrecherche und Rücksprachen mit Wärmenetzbetreibern generiert. Die Temperatur- und Wärmeprofile, wurden mithilfe des SigLinDe Profils [13] und den Daten von der Internetseite Renewables Ninjas [14-16] erstellt. Die jährlichen Energieverbräuche wurden über Heizgradtage und den Temperaturdaten von Renewables Ninja bestimmt. Die Wärmeverluste und die Durchmesser wurden anschließend mit der Lastflussrechnung von Steinegger et.al. [17] berechnet.

Der Stand 2022 in Abbildung 1, veranschaulicht die heute (2018-2022) existierenden Kapazitäten des Wärmeerzeugerparks, in der Heat Highway Region. Darüber hinaus wird in einem möglichen Szenario (Szenario 1) die zusätzliche Wärmeleistung aus den technischen Potenzialen für industrielle Abwärme von über 100°C, zusätzlich zu den bestehenden Leistungen aufaddiert. Diese zusätzliche Leistung beträgt ca. 75 MW. Ebenso werden die höchsten (Starklast) und geringsten (Schwachlast) Abnahmeleistungen sowie die Wärmeanschlussleistungen für das Jahr 2022 aller in der Region ansässigen Wärmenetze, die eine Abnahme größer als 1 GWh im Jahr 2022 verzeichneten, dargestellt.

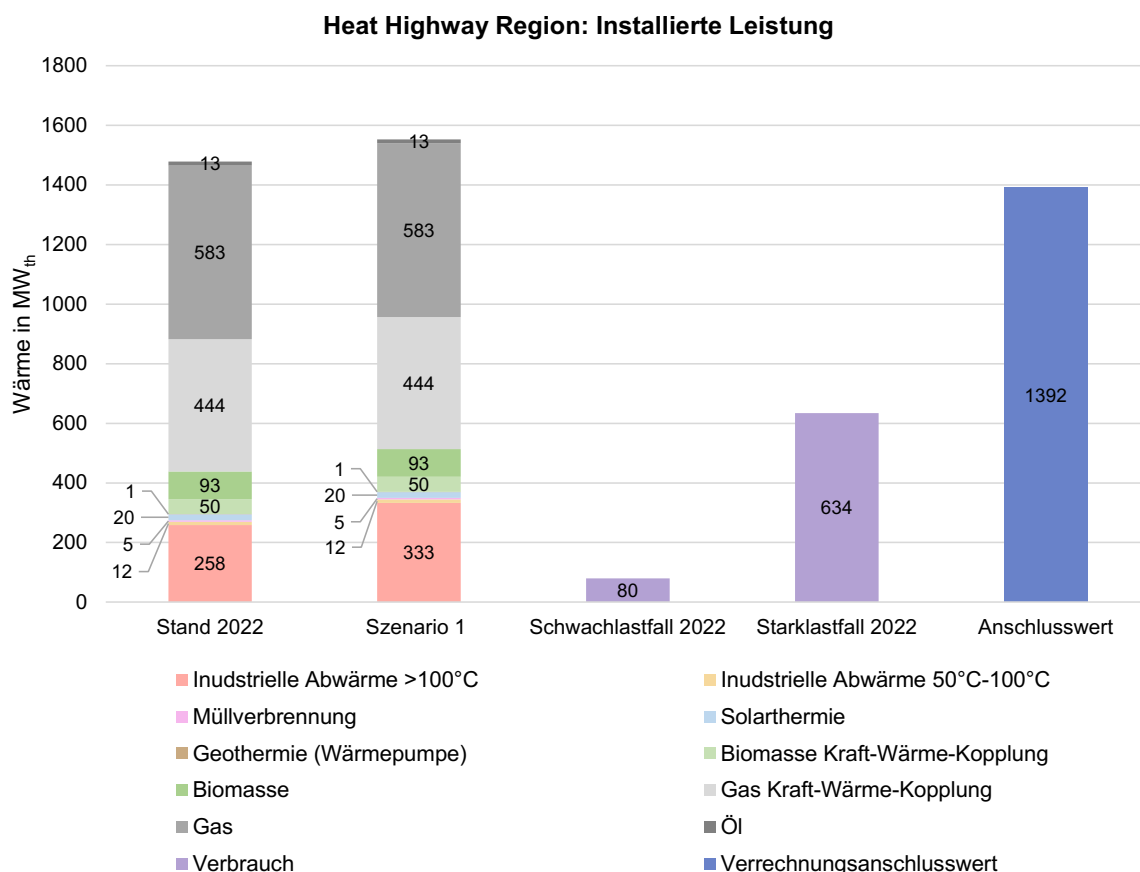


Abbildung 1 Heat Highway Region: Installierte Leistung

Mithilfe der in der Grafik enthaltenen Leistungsdaten ist es möglich auf die benötigte Wärmemenge und auf die darauf aufbauenden Wärmebedarfsprofile zu schließen. Dies erfolgt wie in den drei folgenden Schritten beschrieben.

Im ersten Schritt wird auf Basis der bekannten Datenlage (Leistungsanschlusswerte und keine Energieverbrauchswerte) vom Land Steiermark, auf den Energieverbrauch der jeweiligen Netze geschlossen. Ein Umschlüsselungsfaktor für tatsächliche Leistungsspitzen wurde mittels der Analyse von mehr als 13 Referenznetzen ermittelt, bei denen sowohl Leistungsanschlussmengen als auch Energieverbrauchsmengen bekannt sind. Dabei wird mithilfe von berechneten Heizgradtagen auf den Energieverbrauch bei gegebenen Anschlusswerten geschlossen. Dieser Energieverbrauch wird mit den tatsächlichen Verbräuchen verglichen und ein durchschnittlicher Faktor wird über alle 13 Netze ermittelt. Der Wert dieses Faktors entspricht aufgrund von Gleichzeitigkeiten und Überdimensionierung 0.49. Anschließend wird über diesen Faktor die tatsächlichen Spitzenleistungen aller Wärmenetze ermittelt und danach über die Heizgradtage die für das Jahr 2022 anfallenden Wärmeverbräuche berechnet.

Im Zweitem Schritt wird mithilfe der SigLinDe-Funktion [13] in Verbindung mit den stündlich aufgelösten Temperaturverläufen von Renewable Ninjas [14-16] auf ein zeitlich und räumlich aufgelöstes Wärmebedarfsprofil geschlossen.

Im letzten Schritt kann basierend auf den vorherigen Schritten, mithilfe der erweiterten Wärmelastflussrechnung von Steinegger et al. [17], Rückschlüsse auf bestehende Details des Wärmenetzes, sofern diese nicht bekannt sind, wie beispielsweise Durchmesser und Wärmeverluste, gezogen werden.

Daraus ergibt sich ein Wärmebedarf von 2289 GWh für das Jahr 2022 für die betrachtete Heat Highway Region. Das Wärmenetz im Großraum Graz hat mit etwa 58% den größten Anteil am Wärmebedarf. Das ergibt einen Wärmebedarf von rund 1334 GWh, wobei im speziellen der Wärmebedarf in den Fernwärmegebieten für Graz Umgebung, wegen mangelnder Datenlage, mittels einem Skalierungsfaktor auf Basis älterer Daten [18] ermittelt wurde und es daher leichte Abweichungen zu den tatsächlichen Werten geben kann. Abbildung 2 zeigt die Wärmeerzeugung für den Großraum Graz für das Jahr 2022. Die vorliegenden Daten basieren auf einer festgelegten Betriebseinsatz-Reihenfolge der Erzeugungseinheiten, die in dieser Arbeit für die Lastflussrechnung zur Berechnung von Wärme- und Temperaturverlusten herangezogen wurde und im Detail in der Tabelle 1 festgehalten ist.

Tabelle 1 Einsatzreihenfolge

Wärmeerzeugungseinheit	Rang
Solarthermie	1
Müllverbrennung	2
Industrielle Abwärme > 100°C	3
Biomasse Kraft-Wärme-Kopplung	4
Biomasse	5
Industrielle Abwärme 50°C - 100°C	6
Geothermie (Wärmepumpe)	7
Gas Kraft-Wärme-Kopplung	8
Gas	9
Öl	10

Wärmequellen mit niedriger Nummer werden vorrangig verwendet. Aufgrund der Nutzung dieser Einsatzreihenfolge können geringfügige Abweichungen zu der tatsächlichen

Bereitstellung im Jahr 2022 auftreten. Das Gas- und Dampfkraftwerk Mellach hat in der Wärmeversorgung im Großraum Graz aufgrund seiner Größe, eine Sonderstellung. Dies ist daher auch in der Wärmelastflussrechnung für den Ist-Zustand im Jahr 2022 berücksichtigt und führt dazu, dass dieses Kraftwerk nicht der in der Tabelle gezeigten Einsatzreihenfolge folgt. Stattdessen wird es zur Deckung von Verlusten, einer gewissen Menge an vorallokierter Wärme und zur Deckung unvorhergesehener Wärmespitzen herangezogen. Da laut [3] größere überjährige Unterschiede in der Aufbringungszusammensetzung vorhanden sind, ist die in Abbildung 2 (basierend auf den berechneten Ergebnissen der Lastflussrechnung) dargestellte Wärmeeufbringung als eine, die heutige Situation abbildende Referenz, für alle weitere Überlegungen zu verstehen und hat daher nicht den Anspruch auf absolute Korrektheit. Die errechneten Ergebnisse zeigen einen bedeutenden Anteil an fossiler Energie (ca. 900 GWh) in der Grazer Fernwärmeaufbringung.

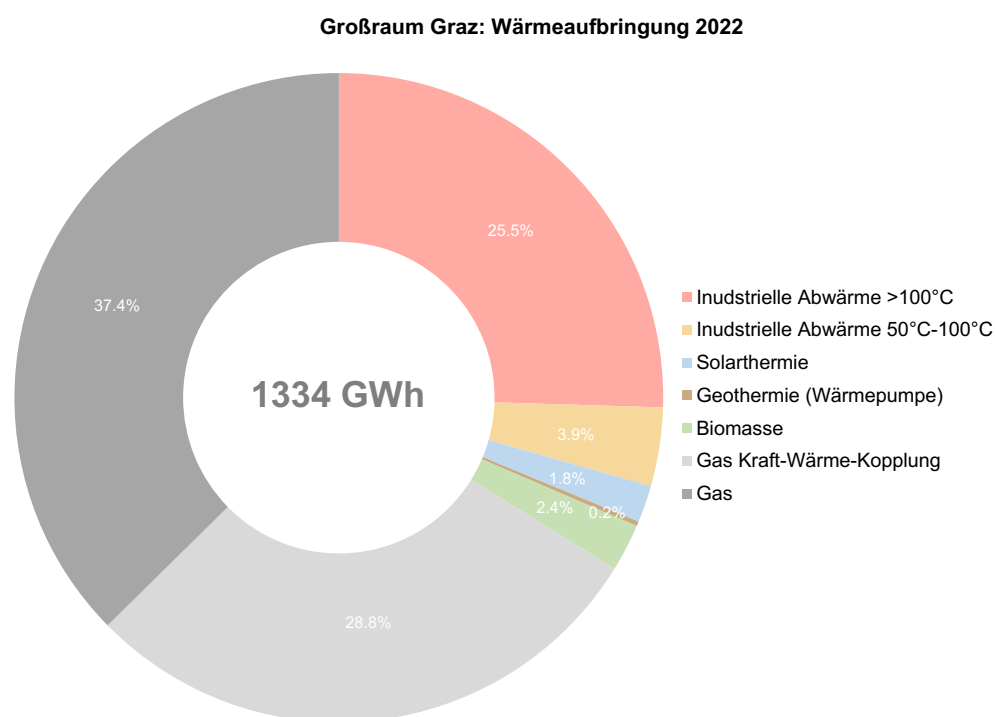


Abbildung 2 Wärmeeufbringung Großraum Graz 2022

Auf Basis der analysierten Wärmequellen und Wärmenetze in der Mur-Mürztal Region, wurde in einem letzten Schritt der Heat Highway ausgelegt und dessen Leitungsverlauf ermittelt. Wobei dabei darauf geachtet wurde den Leitungsverlauf mehrheitlich entlang von öffentlichen Straßen oder dem Schienennetz folgend zu verlegen mit dem Ziel teure Sonderbauwerke für Fluss-, Straßen- oder Bahnüberquerungen weitestgehend zu vermeiden. Ebenfalls sind die Anschlüsse des Heat Highways so ausgelegt, dass dieser jedes Wärmenetz im Notfall vollständig von außen (sprich über den Heat Highway) versorgen kann ohne Drucküberlastungen in den jeweiligen Netzen zu verursachen.

3 Ergebnisse

Auf Basis der beschriebenen Methodik ergibt sich der Heat Highway wie in Abbildung 3 dargestellt. Die Leitungsdurchmesser des Heat Highway wurden, wie bei den

anzuschließenden Wärmenetzen, mit der erweiterten Lastflussrechnung von Steinegger et. al. [17] berechnet.

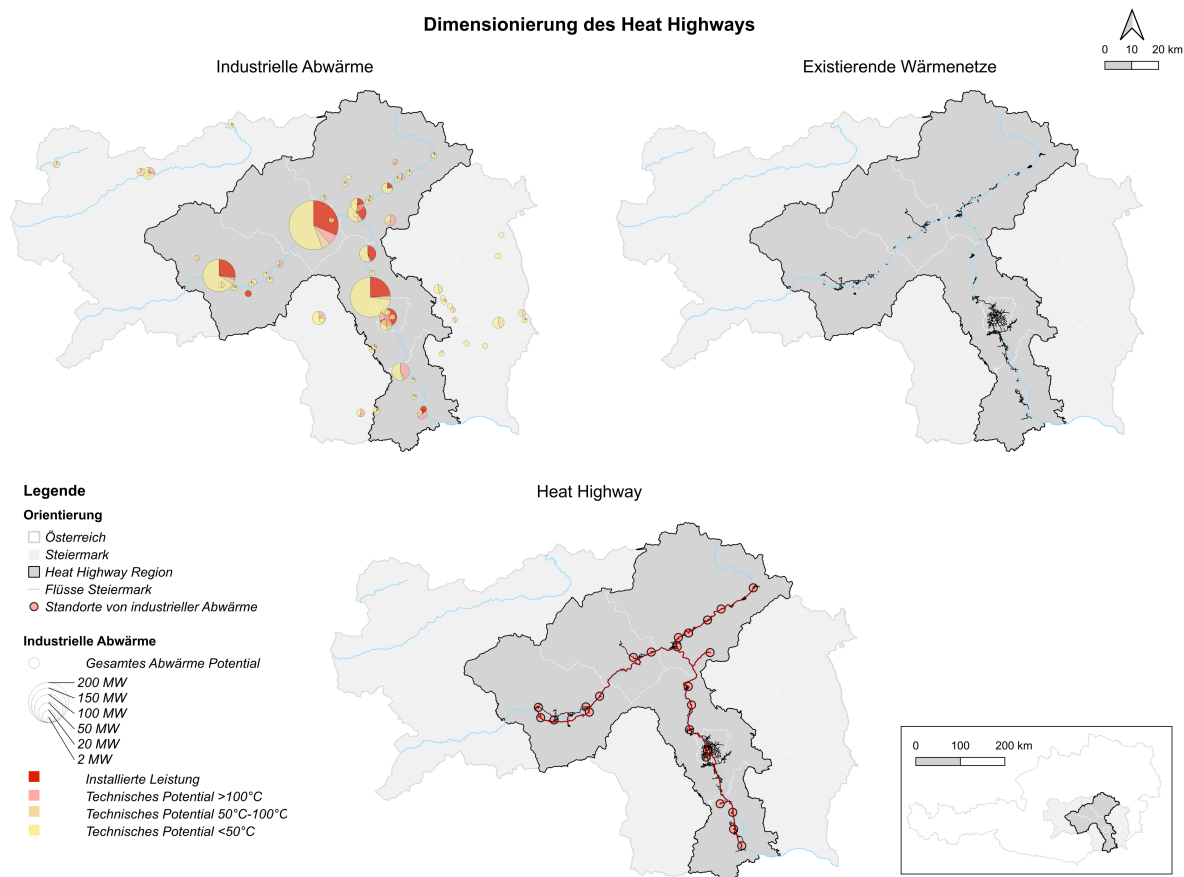


Abbildung 3 Heat Highway

Es ergibt sich eine Gesamtlänge von ungefähr 269 km für das Szenario 1 (Tabelle 2). Wobei der größte eingebaute Leitungsdurchmesser 750 mm (DN750) beträgt

Tabelle 2 Heat Highway: Trassenlänge Szenario 1

Nominaler Durchmesser in mm	Szenario 1 Leitungslänge in km
<DN200	18
DN200	51
DN250	31
DN300	24
DN350	45
DN500	13
DN550	9
DN600	16
DN650	45
DN700	4
DN750	13
Gesamtlänge	269

Zur Berechnung des Heat Highways wurden die Lastflüsse einmal für den maximalen und einmal für den minimalen Wärmebedarf im Jahr 2022 mittels einer statischen Lastflussrechnung, beschrieben in [17], berechnet. Dazu wurden die Abwärmepotentialtemperaturen (T) bereits bestehender Abwärmeauskopplungen, basierend auf den in der Tabelle 3 zitierten Literaturdaten, angenommen.

Tabelle 3 Temperaturen Wärmequellen

Wärmequelle	Ort	T in °C	Ref.
Voestalpine Donawitz	Donawitz	140	[19]
Sappi Gratkorn	Gratkorn	130	[20]
Zellstoff Pöls	Pöls	130	[20]
Mayr-Melnhof Holz Leoben	Leoben	105	[21]
Norske Skog	Bruck	130	[20]
Mayr-Melnhof Karton	Frohnleiten	110	[22]
Böhler Edelstahl	Kapfenberg	95	[23]
Energy and Waste Recycling (ENAGES)	Niklasdorf	130	[20]
Rio Tinto Minerals Naintsch	Weißkirchen	130	[20]
Andere industrielle Abwärme	-	130	-
Biomassekessel	-	130	[24]
Gas Kraft-Wärme-Kopplung	-	130	[25]

Die Temperaturen der über den Heat Highway zu erschließenden, technischen, industriellen Abwärmepotentiale für hohe Temperaturen ($>100^{\circ}\text{C}$), wurden auf 130°C festgelegt. Um die Funktionalität des Heat Highways entweder zu belegen oder zu widerlegen, wurden folgende Kriterien eingeführt:

- In der kalten Jahreszeit (vom 1. Oktober bis zum 30. April) muss die Temperatur an den lokalen Netzen angeschlossenen Übergabestationen in jedem Zeitschritt mindestens 100°C betragen (Kriterium für hohen Wärmebedarf). In der übrigen Zeit wird ein Mindestwert von 75°C benötigt (Kriterium für geringen Wärmebedarf).
- Eine spezielle Anforderung gilt für die Übergabestationen, die den Heat Highway mit Graz verbinden. In der Winterzeit muss die Temperatur dort in jedem Zeitschritt mindestens 120°C betragen, während in der übrigen Zeit ein Mindestwert von 75°C erforderlich ist.

Zur Berechnung der Leitungsverluste wurden die Isolationseigenschaften des Produkts „Mediumrohr Stahl mit einfach verstärkter Isolierung“ der Firma Isoplus [26] herangezogen und die leitungsumgebende Erdreichtemperatur mit 5°C festgelegt.

Auf Basis der zugrundeliegenden Annahmen können die vorausgesetzten Kriterien bei dem beschriebenen Aufbau des Heat Highways sowohl im Lastfall mit dem höchsten Wärmebedarf wie auch für den Lastfall mit dem geringsten Wärmebedarf erreicht werden. Beim Lastfall mit hohem Wärmebedarf ergeben sich Wärmeverluste von 14,9 MW und bei jenem mit geringem Wärmebedarf von 13,5 MW. Die Wärmeverluste sind in beiden Fällen ähnlich. Durch die hohen Volumenströme im Starklastfall, verweilt das Transportmedium nur geringe Zeit in den Leitungen, wodurch die Wärmeverluste im Verhältnis zur eingespeisten Wärmemenge sehr gering ausfallen. Bei geringem Wärmebedarf, benötigt das Wärmetransportmedium länger, um von der Quelle zur Senke zu gelangen, wodurch im Verhältnis zur eingespeisten

Wärmemenge erhöhte Verluste entstehen. Wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Wärmeverluste in den Fällen mit geringen Wärmebedarfen geringer ausfallen könnten, da diese vorwiegend in warmen Zeiten auftreten und somit auch die Umgebungstemperatur der Leitung in vielen Fällen höher als 5°C ist.

Die Investitionskosten für den Heat Highway wurden für das hier dargestellte Ausbauszenario 1 auf ca. 448 Mio. € bzw. ca. 493 Mio. € abgeschätzt. Wobei erstere Kosten die Option beinhalten, die bestehende Leitung zwischen Mellach und Graz in den Heat Highway zu integrieren. Die Kostenschätzungen wurden auf Basis, von auch in der netzplanerischen Praxis angewandten Kostensätzen, durchgeführt. Wobei 94% der Kosten auf die Installation des Leitungsnetzwerkes entfällt, 4% auf die Anschlussstationen, 1% auf zusätzliche Umwälzpumpen zur Druckerhaltung und die restlichen 1% auf die nötige hydraulische Trennung des Heat Highways an drei Stellen. Die Investitionskosten für den Anschluss beschränken sich dabei auf den netzseitigen Teil (Primärkreislauf). Das bedeutet, dass zum Beispiel die werkseitigen (Sekundärkreislauf) Kosten für die Generierung und Aufbereitung der Abwärme nicht mit einbezogen sind, lediglich die Übergabestationen sind berücksichtigt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Installationskosten des Leitungsnetzwerkes pro Trassenmeter. Einige Komponenten (Bögen, Muffen, etc.) wurden in der ursprünglichen Kalkulation nicht pro Trassenmeter, sondern pro Stück in Euro berücksichtigt. Um diese Kosten in der Tabelle zu integrieren, wurden sie gleichmäßig auf die Bodenbeschaffenheiten verteilt. Dasselbe Vorgehen wurde bei verschiedenen Regieleistungen angewendet, die gleichmäßig auf alle Durchmesser in der Tabelle verteilt wurden.

Tabelle 4 Investitionskosten zur Installation des Leitungsnetzwerkes

Nominaler Durchmesser in mm	Investitionskosten €/m		
	<i>Wiese</i>	<i>Schotter</i>	<i>Asphalt</i>
DN32	385	432	553
DN40	398	445	566
DN50	403	450	571
DN65	419	466	587
DN80	429	476	597
DN100	499	555	685
DN125	533	589	719
DN150	589	645	775
DN200	701	764	914
DN250	879	968	1142
DN300	1009	1108	1260
DN350	1146	1257	1428
DN500	1661	1828	2086
DN550	2002	2193	2486
DN600	2317	2544	2891
DN650	2574	2825	3222
DN700	2986	3237	3635
DN750	3287	3569	4015

4 Diskussion

Die Effizienz eines Wärmenetzes hängt von den Wärme- und Temperaturverlusten ab. Ein entscheidender Leistungsindikator dafür ist die Wärmebedarfsdichte. Zu deren Berechnung sind im Heat Highway zwei Ansätze betrachtet. Beim ersten Ansatz werden bestehende Wärmenetze miteinbezogen. Die Berechnung berücksichtigt also die Gesamtlänge aller Netze und führt zu einer Wärmebedarfsdichte von 1,7 MWh/(m*a). Der zweite Ansatz, bei dem die Verteilungsnetze als einzelne Verbraucher betrachtet werden, ergibt eine Wärmebedarfsdichte von 8,4 MWh/(m*a), basierend auf der Länge des Heat Highways im Ausbauszenario 1 (269 km). Die Wärmeverluste des Heat Highways belaufen sich im hier betrachteten Ausbauszenario ohne Miteinbeziehung der untergelagerten Verteilernetze auf etwa 124 GWh pro Jahr, was etwa 5% des gesamten Wärmebedarfs entspricht. Dieses Ergebnis bewegt sich im Üblichen, für moderne, gut betriebene Wärmenetze mit einer Wärmebedarfsdichte in der gegebenen Größenordnung [27]. Daraus lässt sich schließen, dass die Transportverluste bei überregionale Fernwärmeverbundschienen, die zur Verbindung von Fernwärmnetzen mit herkömmlichen Verbraucherstrukturen und Wärmebelegungsichten dienen, sehr gering ausfallen und somit kein Hindernis für die Integration darstellen.

Die Jahresverluste wurden bestimmt, indem die Verluste zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Bedarfsfall gemittelt und mit der Anzahl der Stunden im Jahr multipliziert wurden.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Verluste aus dem Heat Highway nicht direkt zum gesamten bestehenden Wärmeverbrauch addiert werden dürfen, da dieser einige bereits bestehende Übertragungsleitungen (z.B. Mellach Leitung) ersetzt. Es ergibt sich ein Bruttowärmebedarf von in etwa 2388 GWh pro Jahr im betrachteten Szenario. Durch den erhöhten Einsatz von industrieller Abwärme, kann ein erheblicher Teil an fossil produzierter Wärme ersetzt werden. Das führt zu stark reduzierten CO₂ Emissionen in der gesamten Heat Highway Region und somit auch für Graz. Die restliche noch eingesetzte fossile Wärme stammt aus dem hocheffizienten Gas- und Dampfkraftwerk Mellach und kann, basierend auf dem geringen Wert, in Zukunft, möglicherweise auf CO₂ neutrales Gas umgestellt werden. Die Wärmeaufbringung und die CO₂ Emissionen sind in der

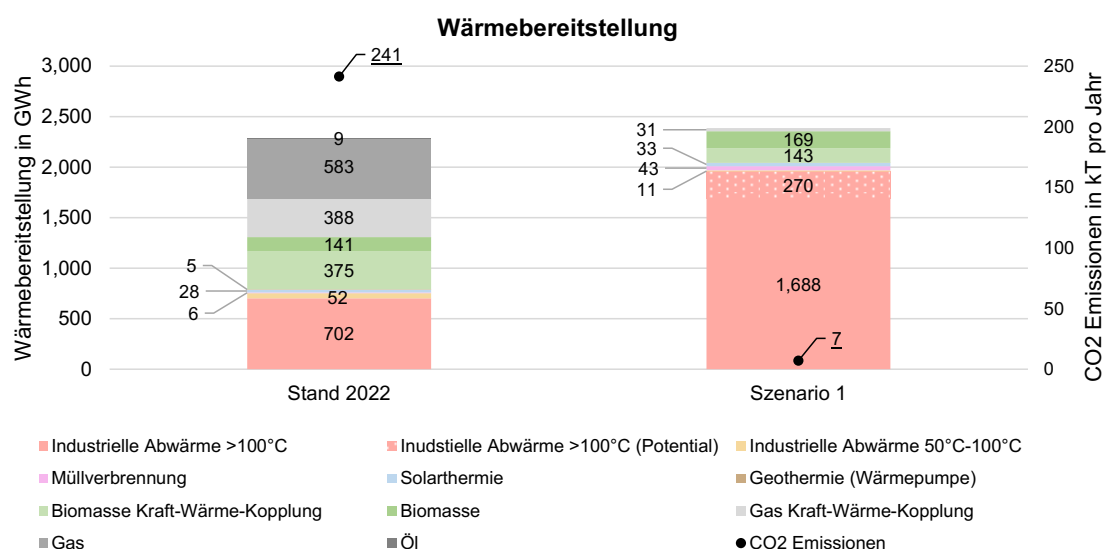


Abbildung 4, für den Ist-Zustand im Jahr 2022 und für das Szenario 1 im Detail dargestellt.

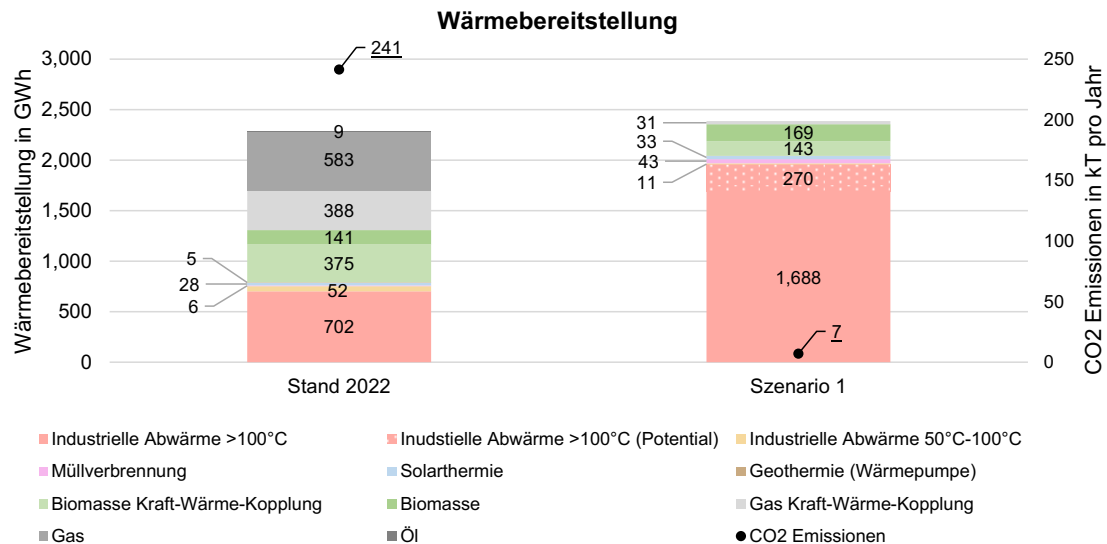


Abbildung 4 Wärmebereitstellung Stand 2022 vs. Szenario 1

Durch den hohen Anteil an industrieller Abwärme im Szenario 1, welche schon allein durch den Zusammenschluss der bereits heute existierenden Abwärmeauskopplungen rapide zunimmt, kann in Summe mit den noch zu erschließenden industriellen Abwärmepotentialen (Temperatur >100°C), eine erhebliche Menge (1094 GWh) an Energie im Gesamtsystem eingespart werden. Der Grund dafür ist, dass durch die Nutzung industrieller Abwärme kein zusätzlicher Energiebedarf besteht und somit Wärme, die davor mit zusätzlicher Energie erzeugt werden musste, ersetzt werden kann. Der Anteil an Abwärme, der zusätzlich genutzt werden kann, ist um einiges höher (1225 GWh) als der zusätzliche Energiebedarf, der durch zusätzliche Pumpleistung und den zusätzlichen Wärmeverlusten entsteht und sich auf ca. 136 GWh summiert. Der verbleibende Anteil an Wärme aus Gas Kraft-Wärme-Kopplungen ist in diesem Szenario sehr gering (31 GWh) und könnte in Zukunft, wie bereits erwähnt, auch durch erneuerbares Gas erzeugt werden.

5 Schlussfolgerung

Im Allgemeinen bietet der Heat Highway neben hoher Energieeffizienz weitere Vorteile: Zum Beispiel erlaubt dieser die Verwendung etablierter Technologien (Leitungsverlegung) und weist insbesondere im Vergleich mit den bereits erwähnten Speichern/Solarthermie Lösungen einen geringeren Flächenverbrauch auf. Die Einbindung regionaler Wärmebetreiber und unterschiedlicher Industrieunternehmen diversifiziert die Wärmeversorgung und erhöht damit die Versorgungssicherheit und Resilienz. Zusätzlich wird die Nutzung lokaler Ressourcen gefördert. Der Hauptvorteil liegt jedoch in der Reduktion fossiler Energieträger im Einzugsgebiet: Das Gesamteinsparpotenzial an CO₂ in der Heat Highway Region beträgt ca. 241 ktCO₂ pro Jahr. Dies entspricht einer möglichen Reduktion von etwa 0,3% der jährlichen CO₂-Emissionen in Österreich basierend auf dem Jahr 2022. Bereits im Szenario 1 können die CO₂ Emissionen auf bis zu 3% (7 ktCO₂ pro Jahr) des Ursprungwertes (241 ktCO₂ pro Jahr) gesenkt werden. Weitere Berechnungen zeigen, dass bei zusätzlicher Nutzung von Mitteltemperatur-Abwärme (mit nur gering erhöhten Investitionskosten), Wärme aus fossilen Rohstoffen nahezu vollkommen verdrängt werden können und somit die gesamte Region mit Fernwärme, die kaum bis keine CO₂ Emissionen aufweist, gedeckt werden kann. Die

Investitionskosten des Heat Highways sind etwas höher als bei ähnlichen Projekten, wobei jedoch keines dieser Projekte einen nur ansatzweise so hohen Anteil an nachhaltiger Energie liefern kann. Arbeiten im Rahmen dieses Projektes haben jedoch auch gezeigt, dass der tägliche Betrieb eines solchen überregionalen Fernwärmeverbundnetzes neue Betriebsstrategien erfordert, die in weiterer Folge noch untersucht werden müssen.

Für Graz würde der Heat Highway die Möglichkeit bieten, nachhaltige Wärme zu erhalten, die nur durch die Potentialgrenzen von erneuerbaren Energien und industrieller Abwärme, in der gesamten Mur-Mürztal Region begrenzt ist. So könnten zum Beispiel bei weiterem Anstieg des Grazer Fernwärmebedarfs, weitere Biomasseheizwerke entlang dieser Achse, in Zukunft, Graz ohne die logistischen Probleme der Biomassebeschaffung, mitversorgen. Aus dieser Arbeit geht eindeutig hervor, dass bereits mit den derzeitigen Wärmeerzeugungseinheiten inklusive der Potentialen der industriellen Abwärme, die Fernwärme im Großraum Graz und darüber hinaus in der gesamten Mur-Mürztal Furche über den Heat Highway nachhaltig bereitgestellt werden kann.

Die Ergebnisse zeigen die Machbarkeit der Integration eines Heat Highways für ein speziell ausgewähltes Szenario. Jedoch sollten in Zukunft noch genauere Untersuchungen mit unterschiedlichen Szenarien durchgeführt werden, um die Effizienz und die Umweltauswirkungen dieser Szenarien näher erforschen zu können. Ebenfalls bedarf es einer genauen wissenschaftlichen Betrachtung der angewandten Methodik, um diese besser für ähnliche Regionen bzw. Projekte replizierbar zu machen. Die Findung einer oder mehrere Betriebsstrategien für den täglichen Betrieb des Heat Highways sollte ebenso ein wichtiger Bestandteil zukünftiger wissenschaftlicher Untersuchungen sein. Betriebsstrategien würden auch detailliertere Erkenntnisse zu den laufenden Kosten des Heat Highways bieten. Dies würde auch eine detaillierte techno-ökonomische Analyse des Heat Highways ermöglichen. Zudem sollte die Integration des Heat Highways in Verbindung mit großen Speichern geprüft werden.

6 Referenzen

- [1] Bundesministerium, "Klimaneutral bis 2040: Außenministerium stärkt Standort Österreich und Klimaschutz durch grüne Wirtschaftsdiplomatie", Bundesministerium, Wien, 21. Oktober 2021, <https://www.bmeia.gv.at/ministerium/presse/aktuelles/2021/10/klimaneutral-bis-2040-aussenministerium-staerkt-standort-oesterreich-und-klimaschutz-durch-gruene-wirtschaftsdiplomatie> (Abgerufen 24.01.2024)
- [2] Bundesministerium, "Fernwärme", Bundesministerium, Wien, <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/fernwaerme.html> (Abgerufen 24.01.2024)
- [3] Stadtrechnungshof der Landeshauptstadt Graz, "Effizienz, Nutzen und Zukunftspotenzial von Fernwärmeanschlüssen, sowie Prüfung der Verwendung von Mitteln aus der Feinstaubrücklage", Stadtrechnungshof, Graz, März 2011, https://www.graz.at/cms/dokumente/10345994_7751115/4cfbeaaa/Fernw%C3%A4rme-Endbericht.pdf (Abgerufen 24.01.2024)
- [4] Stadt Graz Umwelt, "19. Grazer Energiegespräche - Zukunft der Wärmeversorgung im Großraum Graz", Graz, 13. Oktober 2022
- [5] Kleine Zeitung, W. Fischer, "Weitendorf und Dobl-Zwaring als Drehscheibe für Wärmeversorgung", 8. März 2023, https://www.meinbezirk.at/leibnitz/c-wirtschaft/weitendorf-und-dobl-zwaring-als-drehscheibe-fuer-waermeversorgung_a5910598

- [6] Kleine Zeitung, G. Winter-Pölser, "So könnten Mega-Boiler im Berg die Landeshauptstadt Graz beheizen", 6. April 2023, https://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/6271996/Waermespeicher_So-koennten-MegaBoiler-im-Berg-die-Landeshauptstadt
- [7] Kleine Zeitung, M. Saria, "260 Millionen für Müllverbrennung mitten in der Stadt und Abwärmenutzung", 6. April 2022, https://www.kleinezeitung.at/steiermark/graz/6121432/Grossprojekte-in-Graz_260-Millionen-Euro-fuer-Muellverbrennung-und
- [8] S. Moser, S. Puschnigg, "Supra-Regional District Heating Networks: A Missing Infrastructure for a Sustainable Energy System", *Energies*, 2021, 14:3380, doi.org/10.3390/en14123380
- [9] TVIS, "TVIS - Multicity District Heating", 2013, https://issuu.com/tonnekjaersvej11/docs/multicity_district_heating
- [10] NEFI, S. Moser, "Heat Highway", <https://www.nefi.at/en/project/heat-highway>
- [11] W. Gruber-Glatzl, R. Krainz, J. Fluch, F. Mauthner, A. Hammer, E. Lachner, T. Kienberger, M. Hummel, A. Müller, „Abwärmekataster III Steiermark: Öffentlicher Kurzbericht“, 2021, https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12776224_157067047/c2520903/AWK_Stmk_%C3%96ffentlicher_Kurzbericht_v1.0.pdf
- [12] Land Steiermark, „Hocheffiziente alternative Fern- und Nahwärmenetze in der Steiermark“, <https://www.technik.steiermark.at/cms/beitrag/12809578/161425384/>
- [13] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., "BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden: Abwicklung von Standardlastprofilen Gas", 2016, https://www.bdew.de/media/documents/Leitfaden_20160630_Abwicklung-Standardlastprofile-Gas.pdf
- [14] I. Staffell, S. Pfenninger, "Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output", *Energy*, 2016, 114:1224–39, doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068
- [15] S. Pfenninger, I. Staffell, "Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data", *Energy*, 2016, 114:1251–65, doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.060
- [16] S. Pfenninger, I. Staffell, "Renewable.ninjas", <https://www.renewables.ninja/>
- [17] J. Steinegger, S. Wallner, M. Greiml, T. Kienberger, "A new quasi-dynamic load flow calculation for district heating networks", *Energy*, 2023, 266:126410, doi.org/10.1016/j.energy.2022.126410
- [18] Energieagentur Steiermark, A. König, E. Stathopoulos, T. Urbanz, "Vorbereitung des Ausbaus und der Verdichtung des Fernwärmenetzes im Grazer Feld", April 2015
- [19] Stadtwärme Leoben, "Technische Daten Fernwärmeauskopplung: Stand 04.01.08", <https://www.stadtwerke-leoben.at/wp-content/uploads/2021/02/Stadtwaerme-Leoben-Technische-Details.pdf>
- [20] Papousek, Prutsch, Meißner, Moravi, Ressi, "Grazer Energiegespräche: Zukunft der Wärmeversorgung im Großraum Graz: Energiekrise / Chancen für die Wärmewende", 13. Oktober 2022, https://www.umweltservice.graz.at/infos/geg19/19_Grazer_Energiegespraeche_Praesentationen_gesamt.pdf
- [21] G. Kaufmann, "Biomasse Kraft-Wärmekopplung Leoben mit ORCProzess", <https://www.yumpu.com/de/document/read/24902482/biomasse-kraft-warmekopplung-leoben-mit-orc-prozess->
- [22] Stadtgemeinde Frohnleiten, "Smart City Frohnleiten: Blue Globe Report: SmartCities #14/2018", https://smartcities.at/wp-content/uploads/sites/3/BGR14_2018_Frohnleiten-Fertig-1.pdf
- [23] E. Wieland, "Integration alternativer Wärmequellen in ein bestehendes Fernwärmenetz am Beispiel Kapfenberg: Masterarbeit", 2021
- [24] URBAS energietechnik, "Energie aus Biomasse", <https://www.urbas.at/wp-content/uploads/2019/05/2019-URBAS-Broschüre-Energietechnik-DE.pdf>
- [25] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, "Erweiterung des thermischen Kraftwerks in Mellach durch ein Gas- und Dampfturbinen-Kombinationskraftwerk mit 1.613 MW: Kurzbeschreibung",

https://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/11085768_9176022/1d9c206c/Vorhabensbeschreibung_%20Mellach_.pdf

[26] Isoplus, "Produkte", <https://www.isoplus.de/produkte.html>

[27] A. Hammer, C. Sejkora, T. Kienberger, "Increasing district heating networks efficiency by means of temperature-flexible operation", Sustainable Energy, Grids and Networks, 2018, 16:393–404, doi.org/10.1016/j.segan.2018.11.001