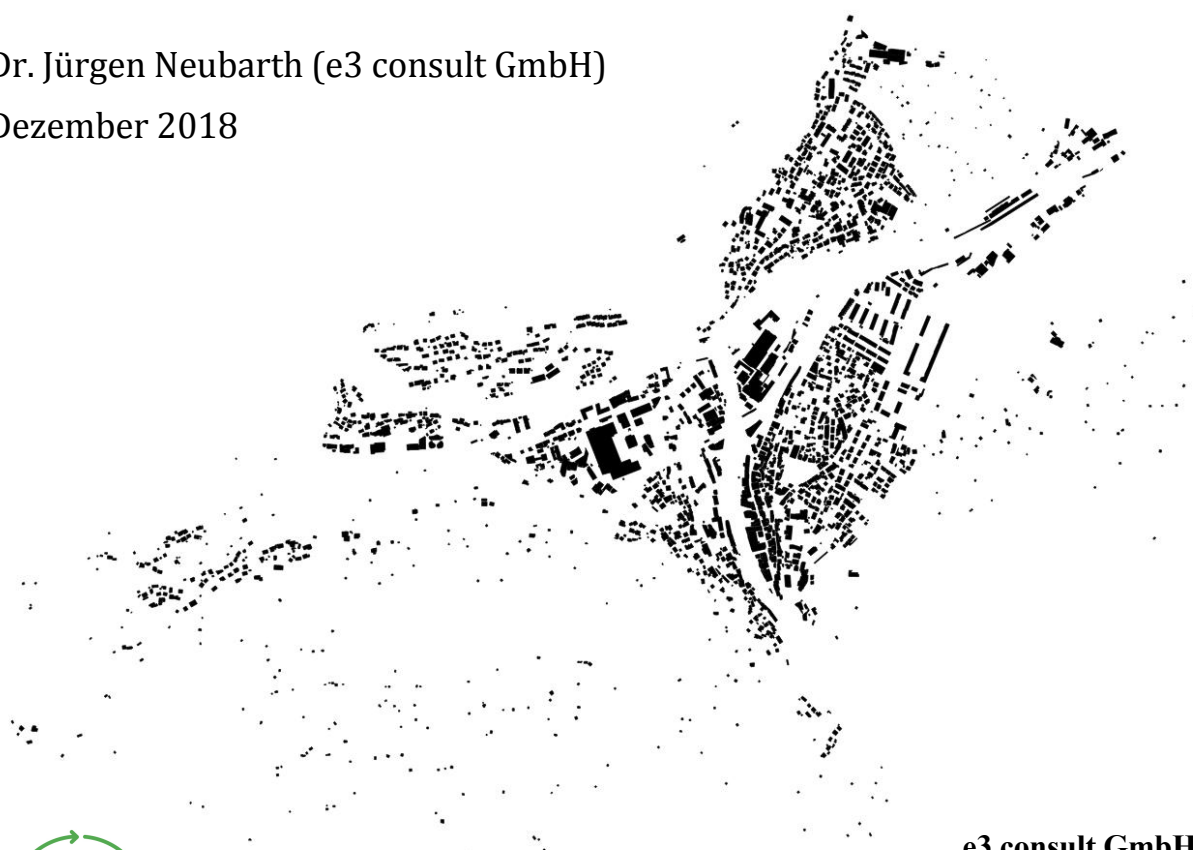


Potenzialanalyse: Industrielle Abwärme für eine Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck

Ein Beitrag zu *Tirol2050 energieautonom*

Dr. Jürgen Neubarth (e3 consult GmbH)

Dezember 2018



e3 consult GmbH

Perjenerweg 7

6500 Landeck

www.e3-consult.at

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Abkürzungen.....	2
Kurzfassung.....	3
1 Hintergrund und Zielsetzung	5
2 Heizenergiebedarf Stadt Landeck	8
2.1 Vorgehensweise und Randbedingungen.....	8
2.1.1 Übersicht Gebäudebestand Stadt Landeck.....	8
2.1.2 Kennzahlbasierte Ermittlung Heizenergiebedarf	9
2.1.3 Heizenergiebedarf aus Energieausweisen und Verbrauchsdaten	11
2.2 Ergebnis bottom-up Analyse	12
2.3 Mittel- und langfristige Entwicklung.....	15
3 Industrielle Abwärmepotenziale	17
3.1 Kalziumkarbid-Werk Landeck der Donau Chemie AG	17
3.2 Spinnerei Landeck der Linz Textil GmbH	19
4 Energiewirtschaftliche Randbedingungen Fernwärmesystem Landeck	21
4.1 Technisches Nachfragepotenzial für industrielle Abwärme	21
4.2 Technisch-wirtschaftliche Aspekte.....	24
4.2.1 Anschlussdichte Fernwärmenetz	24
4.2.2 Mögliche Synergiepotenziale mit Ortswärme Zams	27
4.2.3 Versorgungssicherheit.....	28
4.2.4 Wirtschaftliche Randbedingungen	30
5 Fazit und mögliche weitere Vorgehensweise	33
6 Literaturverzeichnis	35
Anhang: Detailkarten	36

Abkürzungen

AGWR	Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister
COP	Coefficient of Performance (engl. Leistungszahl von Wärmepumpen)
EFH	Einfamilienhaus
FW	Fernwärme
GWh	Gigawattstunden
GWRG	Gebäude- und Wohnungsregistergesetz
HEB	Heizenergiebedarf
HGT	Heizgradtagzahl
HWB	Heizwärmebedarf
JAZ	Jahresarbeitszahl
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MFH	Mehrfamilienhaus
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
ORC	Organic Rankine Cycle
PtG	Power-to-Gas
PtH	Power-to-Heat
QGIS	Geoinformationssystem (ehemals Quantum GIS)
RH	Reihenhaus
TBO	Tiroler Bauordnung
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Kurzfassung

Mit *Tirol2050 energieautonom* wurden die Weichen für die zukünftige Entwicklung der Energieversorgung in Tirol hin zu einem klimaneutralen Energiesystem geschaffen. Als ein wesentlicher Hebel zur Umsetzung der hierfür notwendigen „Wärmewende“ in urbanen Siedlungsgebieten wird dabei u. a. auch der Auf- und Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien und Abwärme gesehen.

In der Stadt Landeck ist bisher noch keine Fernwärmeversorgung vorhanden, jedoch befinden sich mit der Donau Chemie Landeck und der Spinnerei Landeck zwei Industriebetriebe im unmittelbaren Stadtgebiet, die grundsätzlich ein Abwärmepotenzial haben. Gleichzeitig bietet die städtische Siedlungsstruktur den Vorteil einer hohen Wärmeabnahmedichte, die eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau einer zentralen, leitungsgebunden Wärmeversorgung darstellt. Vor diesem Hintergrund soll mit der vorliegenden Potenzialanalyse ein Anstoß zur möglichen Entwicklung eines auf industrieller Abwärme und erneuerbaren Energien basierenden Fernwärmesystems gegeben werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Heizenergiebedarf bei knapp 90 GWh/a

Zur Abschätzung der gebäudebezogenen Wärmeverbrauchsdaten wurden sämtliche Gebäude der Stadt in einer Datenbank erfasst und der Heizenergiebedarf über eine Kombination aus einem kennzahlbasierten und einem auf realen Daten basierenden Ansatz ermittelt. Im Ergebnis liegt der jährliche Heizenergiebedarf der Stadt Landeck bei knapp 90 GWh/a. Dies entspricht 9 Mio. Liter Heizöl oder einem Güterzug mit 100 Kesselwagons und 1,5 km Länge. Langfristig wird sich der Heizenergiebedarf bei Umsetzung der Effizienzziele im Gebäudebereich jedoch um 30 bis 50% reduzieren.

Öffentliche Gebäude und Mehrfamilienhäuser werden zu 90% fossil beheizt

Die Auswertung der verfügbaren Ist-Daten zeigt, dass die fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas in der Stadt Landeck einen im Gesamttiroler Vergleich überdurchschnittlich hohen Anteil haben. Beispielsweise werden öffentliche Gebäude zu 95% und mehrgeschoßige Wohngebäude zu fast 90% mit fossilen Energieträgern beheizt. Unabhängig von einer möglichen Erschließung industrieller Abwärmepotenziale besteht also ein Handlungsbedarf zur Entwicklung und Umsetzung einer nachhaltigen Wärmestrategie in der Stadt Landeck.

Wärmenetz mit hoher Anschlussdichte möglich

Zur Erschließung von sieben beispielhaft identifizierten Gebäude-Clustern mit hoher Wärmebedarfsdichte wäre ein ca. 9,8 km langes Fernwärmenetz erforderlich. Bei einem Wärmebedarf der Großverbraucher in diesen Clustern von in Summe rd. 30 GWh/a ergibt sich eine theoretische Anschlussdichte von 3,1 MWh/m, die nicht nur deutlich über dem Zielwert von 2 MWh/m sondern auch über den Anschlussdichten vergleichbarer Fernwärmesysteme liegt.

Attraktive Abwärmepotenziale vorhanden

Die Abwärme der Donau Chemie Landeck und der Spinnerei Landeck ist auf unterschiedlichen Temperaturniveaus zwischen ca. 30 und 200°C vorhanden, sodass die energiewirtschaftliche Nutzung zum Teil nur über Hochtemperaturwärmepumpen möglich wäre. Einem technischen Angebotspotenzial an Abwärme von bis zu 75 GWh/a steht dabei ein tatsächlich in einem Fernwärmesystem nutzbares Nachfragepotenzial von etwa 30 GWh/a entgegen, d. h. es könnte heute etwa ein Drittel und langfristig etwa die Hälfte des Heizenergiebedarfs der Stadt Landeck durch industrielle Abwärme gedeckt werden.

Fernwärme kann für Umsetzung der energiepolitischen Ziele Kostenvorteile liefern

Für ein Fernwärmesystem mit einer Trassenlänge von knapp 10 km und einem Wärmeabsatz von etwa 30 GWh/a können die Investitionskosten in einer Größenordnung von etwa 20 bis 25 Mio. € liegen, wobei hiervon etwa 30% gefördert werden. Trotz der hohen Anfangsinvestitionen kann ein Fernwärmesystem jedoch wirtschaftliche Vorteile bei der Umsetzung der energiepolitischen Zielvorgaben liefern, weil dadurch u. a. auch jene Gebäude relativ kostengünstig auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung umgestellt werden können, die sich für eine dezentrale erneuerbare Wärmeversorgung wenig bzw. nicht eignen.

Eine zukunftsfähige Wärmestrategie baut auf verschiedenen Säulen auf

Ein zukunftsfähiges Energiesystem berücksichtigt primär regional verfügbare klimaneutrale Ressourcen und ist in der Lage, den Energiebedarf langfristig sicher und kostengünstig zu decken. Fossile Energieträger können diese Anforderung nicht erfüllen, so dass auf Grund des heute sehr hohen Anteils von Heizöl und Erdgas an der Wärmeversorgung in Landeck ein Handlungsbedarf besteht. Industrielle Abwärme kann eine Differenzierung der Wärmeversorgung aus unterschiedlichen CO₂-freien Energieträ-

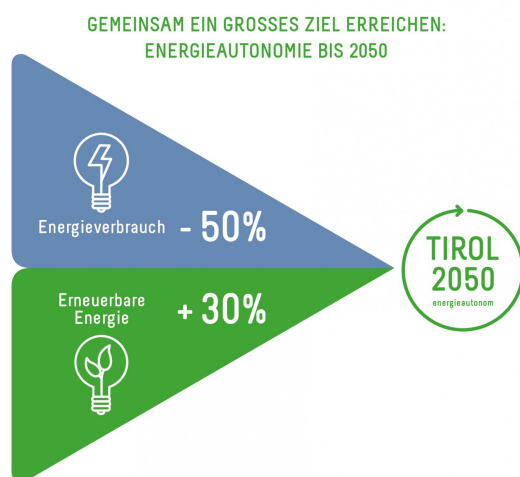
gern unterstützen und Landeck damit ein Stück unabhängiger von der alternativen Wärmeerzeugung aus Biomasse und dezentralen Wärmepumpen machen. Allerdings erfordert die Abhängigkeit der Wärmelieferung von einem Produktionsbetrieb, der grundsätzlich einem Insolvenz- bzw. Betriebsschließungsrisiko unterliegt, eine sorgfältige Bewertung unterschiedlicher Ausfallsszenarien.

Nächste Schritte mit Stakeholdern abstimmen

Die vorliegende Potenzialanalyse stellt einen ersten Schritt auf einem möglichen Weg zum Aufbau einer Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck dar. Die Ergebnisse werden relevanten Stakeholdern vorgestellt, um gemeinsam mögliche weitere Schritte festzulegen. U. a. wären die Erstellung einer Konzeptstudie zur Bewertung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen zur Auskopplung der Abwärmepotenziale sowie die Entwicklung einer geeigneten Organisationsform bzw. eines Betreibermodells als nächste konkrete Schritte denkbar. Zusätzlich sollte die Tiroler Politik dahingehend sensibilisiert werden, dass eine punktuelle Verbesserung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingung – wie bspw. die Übernahme von Ausfallsrisiken – die politisch gewollte Nutzung industrieller Abwärmequellen unterstützen könnte.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Mit *Tirol2050 energieautonom* [1] und ihrem Bekenntnis zur Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bis zum Jahr 2050 hat die Tiroler Landesregierung die Grundlagen für die zukünftige Entwicklung der Energieversorgung in Tirol geschaffen. Erreicht werden soll die Energieautonomie durch eine Senkung des Energieverbrauchs um 50% und eine Steigerung der Energieproduktion aus erneuerbaren Energieträgern um 30%. Für die Gemeinden und Bezirke Tirols bedeutet dies entsprechend, dass auch sie eine vollständige Umstellung der Strom- und Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien bis zum Jahr 2050 erreichen müssen.

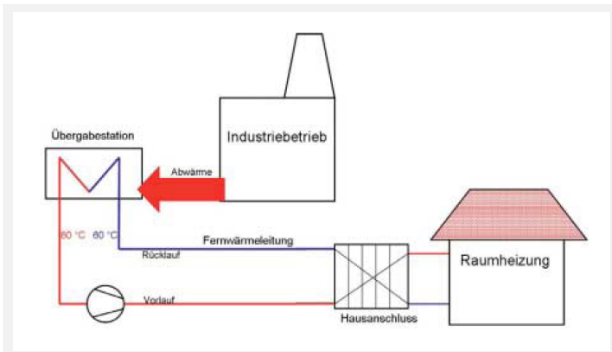


Auf Grund der sehr guten Voraussetzungen zur Nutzung der Wasserkraft nimmt der Bezirk Landeck bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bereits heute eine österreichweit führende Position ein – die Erzeugung der Wasserkraftwerke im Jahresverlauf übersteigt den Stromverbrauch im Bezirk Landeck um mehr als das Doppelte. Damit hat der Bezirk Landeck das in seiner Entwicklungsstrategie *Energieleitbild 2008 – 2020* [2] gesteckte Ziel einer „Abdeckung des Energiebedarfes im Bereich Strom- und Wärmeversorgung zu 100 % mit erneuerbaren Energieträgern“ im Strombereich umgesetzt.

Im Gebäudebereich gibt es demgegenüber trotz der bezirksweiten Fortschritte in den vergangenen

Jahren noch eine erhebliche Notwendigkeit zur weiteren Senkung des Verbrauchs durch energetische Sanierungen sowie zum Umstieg der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien und Abwärme. Dies gilt vor allem auch für die Stadt Landeck, wo eine vollständige Wärmeversorgung mit Biomasse, Solarwärme und/oder Wärmepumpen auf Grund der vergleichsweise dichten Bebauung jedoch eine besondere Herausforderung darstellt. Gleichzeitig bietet die städtische Siedlungsstruktur Landecks aber auch den Vorteil einer grundsätzlich hohen Wärmeabnahmedichte, die neben der Verfügbarkeit lokaler Energieressourcen die wesentliche Voraussetzung für den Aufbau einer zentralen, leitungsgebunden Wärmeversorgung darstellt.

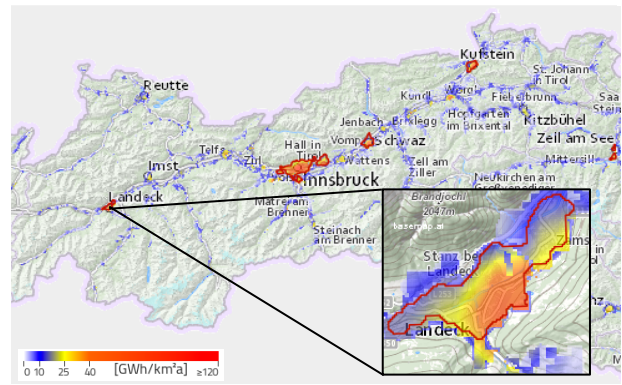
Der Auf- und Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung wird dabei sowohl auf Bundes- als auch Landesebene als ein wesentlicher Hebel zur Umsetzung der „Wärmewende“ in urbanen Siedlungsgebieten gesehen, weil dadurch auch außerhalb des ländlichen Raums eine nachhaltige Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien und Abwärme umgesetzt werden kann. Vor allem die Nutzung von Abwärme aus industriellen und gewerblichen Produktionsprozessen durch Auskopplung in ein Fernwärmesystem (Abb. 1.1) rückt nicht zuletzt auf Grund der nur mehr eingeschränkt verfügbaren Biomassepotenziale zunehmend in den Fokus der energiepolitischen Programme. So kommt etwa in der aktuellen österreichischen Klima- und Energiestrategie *#mission2030* [4] der Nutzung von Abwärme aus Produktionsbetrieben eine wesentliche Bedeutung bei der Wärmeversorgung von Ballungsräumen über Fernwärmesysteme zu. Aber auch im Tiroler Regierungsprogramm 2018-2023 ist die Erarbeitung und Umsetzung zukunftsfähiger Wärme- und Kälteversorgungskonzepte durch u. a. die verstärkte Nutzung von Abwärme vorgesehen [5].

Abb. 1.1: Prinzip der industriellen Abwärmee-nutzung durch ein Fernwärmesystem

Quelle: Amt der Oö. Landesregierung [3]

Industrielle Abwärmepotenziale rücken jedoch nicht nur zunehmend in den energiepolitischen Fokus, sondern werden zunehmen auch in der Praxis erschlossen. Beispiele hierfür sind etwa das Brauwärmeprojekt in Schwechat, das Brauquartier Puntigam in Graz, die Fernwärmeversorgung von Leoben und Trofaiach aus dem voestalpine Stahlwerk Donawitz oder das Abwärmeprojekt im Zementwerk Gmunden. Aber auch in Tirol gibt es mit der Auskopplung von Abwärme aus dem Produktionsprozess der Tiroler Rohre GmbH in Hall in Tirol ein erfolgreiches Best Practice Beispiel zur industriellen Abwärmee-nutzung.

In der Stadt Landeck ist bisher zwar kein Fernwärmesystem vorhanden, jedoch befinden sich mit der Donau Chemie Landeck und der Spinnerei Landeck zwei Industriebetriebe im unmittelbaren Stadtgebiet, die zumindest theoretisch über ein sehr hohes Potenzial an industrieller Abwärme verfügen und sich damit für den Aufbau eines nachhaltigen Fernwärmesystems eignen könnten. Auch zeigt bspw. eine Studie der TU Wien zu den Potenzialen der Fernwärme- und Fernkälteversorgung in Österreich [6] für die Stadt Landeck eine im Vergleich mit anderen Regionen in Tirol attraktive Wärmebedarfsdichte und damit grundsätzliche Eignung für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung. Abb. 1.2 zeigt hierzu einen Ausschnitt aus der im Rahmen der TU Wien-Studie erstellen sog. Austrian Heatmap.

Abb. 1.2: Wärmebedarfsdichte Tirol 2012

Quelle: www.austrian-heatmap.gv.at [6]

Bisher hat es jedoch noch keine weitergehenden Bestrebungen gegeben, diese Abwärmepotenziale energiewirtschaftlich zu bewerten, um damit bspw. den Anstoß für eine öffentliche Diskussion über den Aufbau eines abwärmee-basierten Fernwärmesystems in der Bezirkshauptstadt geben zu können.

Einen solchen Anstoß möchte die e3 consult GmbH mit der vorliegenden Potenzialanalyse „Industrielle Abwärme für eine Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck“ geben. Die Studie soll eine Ersteinschätzung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit eines auf industrieller Abwärme und ggf. zusätzlich erneuerbaren Energien basierenden Fernwärmesystems in der Stadt Landeck ermöglichen, um darauf aufbauend mögliche weitere Schritte setzen zu können. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass diese Potenzialanalyse keine abschließende Aussage zur tatsächlichen Umsetzbarkeit einer Fernwärmeversorgung für die Stadt Landeck liefern kann. Die Analyse kann jedoch aufzeigen, ob die Weiterverfolgung der Projektidee aus energiewirtschaftlicher Sicht sinnvoll wäre und stellt damit einen ersten Input für die notwendigen weitergehenden Diskussionen und detaillierten Machbarkeitsstudien dar.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Potenzialanalyse insbesondere eine Aussage zu den folgenden Punkten und damit Anstoß zur Weiterverfolgung der Entwicklung einer möglichen

Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck liefern zu können:

- Wärmenachfrage in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden der Stadt Landeck (Kapitel 2)
- Potenziale industrieller Abwärme in der Stadt Landeck (Kapitel 3)
- Erstbewertung eines Fernwärmesystem inkl. Indikation relevanter energiewirtschaftlicher Parameter (Kapitel 4)
- Mögliche weitere Vorgehensweise (Kapitel 5).

Die Potenzialanalyse wurde auf Initiative von e3 consult als Beitrag zu *Tirol2050 energieautonom* erstellt. Unterstützt wurde e3 consult dabei von Ing. DI(FH) Dirk Jäger, weiteren Experten aus dem e3-

Netzwerk sowie insbesondere durch die Donau Chemie Landeck, die Spinnerei Landeck und die Ortswärme Zams, die Informationen und Daten zu den vorhandenen Wärmepotenzialen bereitgestellt haben und als kritische Diskussionspartner zur Verfügung standen.

Zusätzlich wurde die Studie von einer Reihe von Unternehmen, privaten und öffentlichen Wohnbauträgern sowie öffentlichen Einrichtungen und Institutionen durch die Bereitstellung von gebäudebezogenen Wärmeverbrauchsdaten unterstützt. e3 consult möchte sich an dieser Stelle bei allen Personen und Institutionen für die wertvolle Unterstützung herzlich bedanken!

2 Heizenergiebedarf Stadt Landeck

2.1 Vorgehensweise und Randbedingungen

Die Ermittlung des Heizenergiebedarfs für Raumheizung und Warmwasser in einem definierten Siedlungsraum stellt meist eine große Herausforderung dar, da gebäudebezogene Energieverbrauchsdaten i. Allg. nicht vollständig vorhanden bzw. nicht in einer konsistenten Datenqualität verfügbar sind. Dies trifft auch auf die Stadt Landeck zu, wo bisher keine zentrale Datenbank mit gebäudebezogenen Energieverbrauchsdaten existiert. Daher wird zur Abschätzung der Wärmenachfrage in der Stadt Landeck im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse eine bottom-up Systematik entwickelt, die einen kennzahlbasierten mit einem auf realen Daten der Gebäude basierenden Ansatz kombiniert.

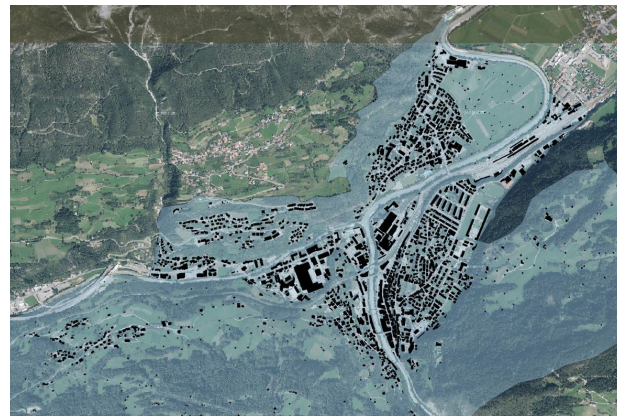
Hinweis zum Datenschutz gemäß Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO): Im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse werden keine personenbezogenen und/oder personenbeziehbare Daten erhoben oder verarbeitet. Es werden damit auch keine AGWR-Daten¹ und/oder von Energieversorgungsunternehmen gemessenen realen Energieverbrauchsdaten für die Abschätzung der Wärmenachfrage in der Stadt Landeck herangezogen.

2.1.1 Übersicht Gebäudebestand Stadt Landeck

Ausgangspunkt der Analysen sind die vom Land Tirol über *tiris*, dem geografischen Informationssystem des Landes Tirol, aus Fernerkundungsdaten zur Verfügung gestellte Dachflächen des Gebäudebestands in Landeck.² Diese Daten werden mit den

Adressdaten von der Stadt Landeck³ verknüpft und bilden damit den Gebäudebestand in der Stadt Landeck im Jahr 2015 ab. Zusätzlich werden fehlende Gebäude (Errichtungsjahr nach 2015) ergänzt und Gebäude ohne Adresspunkt einer Adresse zugeordnet. Abb. 2.1 zeigt den berücksichtigten Gebäudebestand innerhalb der Gemeindegrenze der Stadt Landeck (für eine höhere Auflösung siehe Anhang A-1, Seite 37).

Abb. 2.1: Gemeindegrenze und Gebäudebestand Stadt Landeck



Quelle: *tiris*, QGIS, e3 consult

In einem ersten Bearbeitungsschritt werden Gebäude ohne Wärmeverbrauch (bspw. landwirtschaftlich genutzte Schuppen und Stadel, Garagen, Werkstätten und Anbauten an Wohngebäuden) sowie abgelegene Hütten und Wochenendhäuser ausgeschieden. Damit verbleiben von den insgesamt erfassten 3.130 Gebäuden 1.447 Gebäude mit Heizenergiebedarf für die weitergehende Datenerhebung und Analyse des Wärmeverbrauchs in Landeck, die unter Verwendung des Geoinformationssystems QGIS (Version 2.18.23)⁴ durchgeführt werden. Von diesen 1.447 Gebäuden werden 60% als Einfamilien- und Reihenhäuser mit bis zu zwei Wohnungen und

¹ Gemäß §1 Abs. 3 des Bundesgesetzes über das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR-Gesetz) hat die Bundesanstalt Statistik Österreich für die Gemeinden die Daten des Adress-, Gebäude-

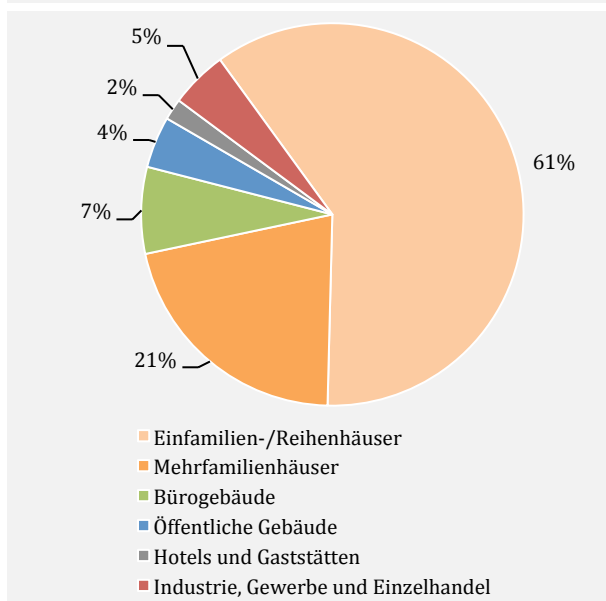
² https://www.data.gv.at/katalog/dataset/land-tirol_gebudetirol

³ <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/d8beefc9-cf72-4e2c-9a78-fa1532dee407>

⁴ QGIS ist unter <https://www.qgis.org/de/site/> frei verfügbar.

21% als Mehrfamilienhäuser eingestuft. In Summe haben diese 1.182 Wohngebäude rd. 3.500 Wohnungen; dies entspricht etwa 90% des gesamten Bestandes an Wohnungen mit bzw. ohne Hauptwohnsitz im Gemeindegebiet der Stadt Landeck⁵. Im Weiteren können 7% der Gebäude einer vorwiegenden Nutzung als Bürogebäude, 4% als öffentliche Gebäude (bspw. Schulen, Behörden, Kaserne, Altersheim, etc.), 2% als Hotels und Gaststätten und 5% als Gebäude für Industrie, Gewerbe und Einzelhandel zugeordnet werden. Abb. 2.2 zeigt die zusammenfassende Einstufung des Gebäudebestandes mit Heizenergiebedarf in der Stadt Landeck nach unterschiedlichen Gebäudetypen.

Abb. 2.2: Einstufung von Gebäuden mit Heizenergiebedarf nach Gebäudetyp



Quelle: Analyse e3 consult

Soweit möglich werden die gebäudebezogenen Wärmeverbrauchsdaten aus den Energieausweisen übernommen bzw. daraus abgeleitet. Dies ist in der Regel allerdings nur für größere Gebäude, also Mehrfamilienhäuser und Nicht-Wohngebäude, sinnvoll

darstellbar, da der Aufwand für eine individuelle Datenerhebung vor allem bei Einfamilienhäusern auf Grund der großen Anzahl zu hoch wäre. Im Rahmen dieser Studie konnten dabei für 178 oder 12% der 1.447 Gebäude Ist-Daten und/oder Daten aus den Energieausweisen zur Abschätzung des Heizenergiebedarfs herangezogen werden. Diese Gebäude repräsentieren 28% des gesamten Heizenergiebedarfs bzw. 41% des gesamten Wohnungsbestandes in der Stadt Landeck (vgl. Abschnitt 2.1.3).

Für Einfamilienhäuser sowie für Gebäude, bei denen der Heizenergiebedarf nicht aus dem Energieausweis bzw. realen Verbrauchsdaten abgeleitet werden kann, wird dieser hingegen über einen kennzahlbasierten Ansatz abgeschätzt.

2.1.2 Kennzahlbasierte Ermittlung Heizenergiebedarf

Energiebilanzen auf Gemeinde- und Stadtebene werden sehr häufig auf Basis von spezifischen Kennzahlenmodellen erstellt. Dabei werden bspw. Endenergiebedarfskennzahlen durchschnittlicher österreichischer Wohnungen für unterschiedliche Gebäudekategorien und Gebäudebaualtersklasse ermittelt und auf den Gebäudebestand einer Gemeinde oder Stadt angewendet. Ein Nachteil dieser Methodik ist jedoch, dass Sanierungsmaßnahmen und das tatsächliche Nutzerverhalten innerhalb der zu bewertenden Gemeinde unberücksichtigt bleiben. Daher wurden bspw. zur Ermittlung des Gesamtenergieeinsatzes von Innsbruck in einer umfassenden Studie der Universität Innsbruck spezifische Wärmebedarfskennzahlen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Verbrauchs- und Gebäudestrukturen abgeleitet [11]. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden im Folgenden zur Abschätzung des Heizenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser in der Stadt Landeck herangezogen, wobei auf Grund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen die in [11] für Innsbruck ausgewiesenen spezifischen Wärme-

⁵ Die aktuellste frei verfügbare Statistik weist für die Stadt Landeck im Jahr 2011 3.623 Wohnungen mit bzw. ohne Hauptwohnsitz aus. Tirolweit ist die Anzahl der Wohnungen gemäß der statistischen Daten des Landes Tirols zwischen 2011 und 2017 um etwa 7% gestiegen. Wird dieser Zuwachs vereinfachend auch für Landeck unterstellt, liegt der aktuelle Wohnungsbestand in der Stadt bei etwa 3.900 Wohnungen.

bedarfskennzahlen pauschal um 10% erhöht werden⁶.

Die Arbeit der Universität Innsbruck differenziert dabei nach Einfamilienhaus (EFH) und Reihenhaus (RH) mit 1 oder 2 Wohnungen, Mehrfamilienhaus-Klein (MFH-K) mit 2-4 Wohnungen, Mehrfamilienhaus-Mittel (MFH-M) mit 5 bis 10 Wohnungen und Mehrfamilienhaus-Groß (MFH-G) mit 11 und mehr Wohnungen. Für diese Gebäudetypen werden in Abhängigkeit von der Bauperiode die spezifischen Wärmebedarfskennzahlen ermittelt, d.h. der Heizenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser inkl. der Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste im Gebäude bezogen auf die beheizte Brutto-Gesamtfläche des Gebäudes.

Tabelle 2.1: Spezifische Wärmebedarfskennzahlen für Wohngebäude in der Stadt Landeck in Abhängigkeit von der Bauperiode (in kWh/m²/a)

	EFH	RH	MFH-K	MFH-M	MFH-G
vor 1919	272	191	190	132	93
1919-1944	214	177	142	83	69
1945-1960	171	138	150	78	75
1961-1970	157	160	150	83	158
1971-1980	201	211	190	109	236
1981-1990	161	122	145	142	170
1991-2000	133	201	128	161	179
2001-2010	104	145	109	122	110
ab 2011	102	135	114	123	115
gew. Mittel	171	163	154	114	139

Quelle: nach Pfeifer, D. [11]

Tabelle 2.1 zeigt die für die weiteren Analysen des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden in der Stadt Landeck herangezogenen spezifischen Wär-

mebedarfskennzahlen in Abhängigkeit von der Bauperiode der Gebäude. Neben den spezifischen Wärmebedarfskennzahlen für die insgesamt neun verschiedenen Bauperioden ist in Tabelle 2.1 zusätzlich auch der über die in [11] erfasste Anzahl der Gebäude gewichtete Mittelwert berücksichtigt, der zur Bewertung von Gebäuden verwendet wird, bei denen keine Vor-Ort-Einstufung der Bauperiode vorgenommen werden kann.

Für Nicht-Wohngebäude werden die spezifischen Wärmebedarfskennzahlen aus der ÖGUT-Studie „Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden“ [12] abgeleitet. Die in der Studie auf Netto-Geschoßflächen bezogenen Kennzahlen werden über den Faktor 80% auf die Brutto-Geschoßfläche sowie über den Faktor 110% auf die in Landeck vom österreichischen Durchschnitt abweichenden klimatischen Bedingungen umgerechnet. Zusätzlich werden für industrielle und gewerblich genutzte Hallengebäude die spezifischen Wärmebedarfskennzahlen aus einer Studie des Instituts für Technische Gebäudeausrüstung Dresden [13] abgeleitet, so dass sich die in Tabelle 2.2 dargestellten Kennzahlen für den im Rahmen dieser Potenzialanalyse unterstellten Heizenergiebedarf von Nicht-Wohngebäuden ergeben.

Tabelle 2.2: Spezifische Wärmebedarfskennzahlen für Nicht-Wohngebäude (in kWh/m²/a)

Büro	124	Hotels 1-2 Sterne)	165
Einzelhandel Lebensmittel	88	Hotels (3-4 Sterne)	122
Einzelhandel ohne Lebensmittel	81	Hotels (5 Sterne)	153
Großhandel Lebensmittel	92	Restaurants und Gaststätten	180
Großhandel ohne Lebensmittel	108	Öffentliche Gebäude	105
Hallengebäude (Industrie und Gewerbe)	200	-	-

Quelle: nach [12], [13]

Zur Abschätzung des Heizenergiebedarfs eines Gebäudes wird neben der spezifischen Wärmebedarfskennzahl noch die beheizte Brutto-

⁶ Laut Klimadatenrechner des Bundesministeriums für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (BMDW) liegen die mittleren Heizgradtage in Landeck mit 3.673 K*d etwa 15% über den mittleren Heizgradtagen in Innsbruck (3.200 K*d; vgl. <https://www.bmdw.gv.at/EnergieUndBergbau/klimadatenrechner/Seiten/zurBerechnung.aspx>). Da der Warmwasserbedarf und zum Teil auch die Wärmeverluste jedoch weitgehend unabhängig von der Klimaregion sind, wird für Landeck ein um 10% höherer spezifischer Heizwärmebedarf unterstellt, als er in [11] für Innsbruck ermittelt wird.

Gesamtfläche benötigt. Diese wird dabei aus den über tiris verfügbaren Fernerkundungsdaten entsprechend dem folgenden Ansatz abgeleitet:

- In QGIS lassen sich aus den von tiris bereitgestellten Daten die auf eine Ebene projizierten Dachflächen der Gebäude ermitteln.
- Zur Ermittlung der Gebäudefläche wird die projizierte Dachfläche um den Dachüberstand bereinigt. Als Dachüberstand wird standardmäßig 1 m unterstellt, wobei dieser im Zuge einer Vor-Ort-Begehung angepasst werden kann.
- Vereinfachend werden für Einfamilien- und Reihenhäuser pauschal zwei beheizte Stockwerke unterstellt, d. h. die beheizte Brutto-Gebäudefläche entspricht dem Doppelten der um den Dachüberstand bereinigten Dachfläche. Damit bestimmt sich für die so bewerteten 874 Einfamilien- und Reihenhäusern eine beheizte Brutto-Gesamtfläche von 207.000 m². Dies entspricht bei einem durchschnittlichen Verhältnis zwischen Wohnnutzfläche und Brutto-Gesamtfläche von etwa 80%⁷ einer mittleren beheizten Wohnnutzfläche je EFH/RH von rd. 190m², was für Landeck einen durchaus plausiblen Wert.
- Für alle anderen Gebäudetypen wird der Dachüberstand sowie die Bauperiode und thermischer Qualität der Gebäude im Zuge einer Vor-Ort-Begehung abgeschätzt.

Insgesamt kann damit der Heizwärmebedarf für jene Gebäude, bei denen keine Daten aus einem Energieausweis bzw. reale Verbrauchsdaten zur Verfügung stehen, mit 64,5 GWh/a abgeschätzt werden (Aufteilung auf einzelnen Gebäudetypen vgl. Abschnitt 2.2). Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass dieser Ansatz für einzelne Gebäude durchaus zu hohen Abweichungen im Vergleich zum tatsächlichen Heizenergiebedarf führen kann. Trotzdem lassen sich im Mittel über alle Gebäude gute Ergebnisse

der Wärmeabnahmedichte mit einem vergleichsweise geringen Aufwand erzielen, was letztendlich auch Ziel dieser Potenzialanalyse ist.

2.1.3 Heizenergiebedarf aus Energieausweisen und Verbrauchsdaten

Da für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung grundsätzlich Gebäude mit einem hohen Wärmeverbrauch interessant sind, wurden im Rahmen dieser Studie ausgewählte Eigentümer bzw. Objektverantwortliche von mehrgeschoßigen Gebäuden (im Wesentlichen Mehrfamilienhäuser und Nicht-Wohngebäude) mit der Bitte um Bereitstellung von Ist-Daten und/oder Daten aus den Energieausweisen angesprochen. Von den folgenden Institution und Unternehmen wurden der mittlere Heizwärmebedarf und die eingesetzten Energieträger für in Summe 167 Gebäude zur Verfügung gestellt: Stadtgemeinde Landeck, Land Tirol, Bundesimmobiliengesellschaft (BIG), Militärisches Immobilienmanagementzentrum, Alpenländische Heimstädte, Gemeinnützige Hauptgenossenschaft des Siedlerbundes (GHS), Neue Heimat Tirol, TIGEWOSI, Wohnungseigentum Tirol (WE), Hotel Mozart, Lantech Innovationszentrum, M-Preis, Thöni Industriebetriebe und Volksbank Tirol. Zusätzlich konnte der Heizenergiebedarf von 11 Einfamilienhäusern auf Basis realer Energieverbrauchsdaten abgeschätzt werden, so dass insgesamt von 178 der 1.348 Gebäuden Daten zur reale Verfügung stehen. Diese 178 Gebäude zeigen dabei einen jährlichen Heizwärmebedarf von in Summe rd. 25,5 GWh/a. Hiervon entfallen 14,9 GWh/a auf Wohngebäude, 8,0 GWh/a auf öffentliche Gebäude und 2,6 GWh/a auf sonstige Gebäude (vgl. Tabelle 2.3).

Aus den realen Verbrauchsdaten bzw. Energieausweisen lassen sich u. a. auch die Ergebnisse des im vorherigen Abschnitt 2.1.2 vorgestellte kennzahlbasierten Ansatzes validieren. Beispielsweise liefert die Analyse aus den Fernerkundungsdaten, Vor-Ort-Begehungen und spezifischen Wärmebedarfskennzahlen für die 99 Wohngebäude einen Heizwärme-

⁷ Die Umrechnung der Nettofläche in die Bruttofläche erfolgt entsprechend der ÖNORM B8110-6, 2014 mit dem Flächenfaktor von 0,8.

verbrauch von 16,4 GWh/a, also etwa 9% mehr als die Summe der realen Verbrauchsdaten und Daten aus den Energieausweisen von 14,9 GWh/a. Dieses Ergebnis bestätigt die Qualität und damit grundsätzliche Anwendbarkeit eines kennzahlbasierten Ansatzes, zumal auch die Daten der Energieausweise gewisse Unsicherheiten in Bezug auf den tatsächlichen Heizwärmebedarf eines Gebäudes haben.

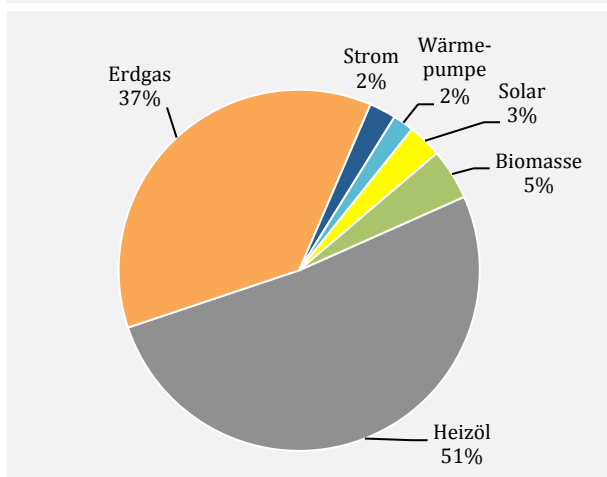
Tabelle 2.3: Heizenergiebedarf von Gebäuden mit Ist-Daten und/oder Energieausweisen

	Anzahl	Heizwärmebedarf
Wohngebäude	99	14,9 GWh/a
Öffentliche Gebäude	57	8,0 GWh/a
Sonstige Gebäude	22	2,6 GWh/a
Gesamt	171	25,5 GWh/a

Quelle: Analyse e3 consult

Von den 172 Gebäuden mit verfügbaren Ist-Daten bzw. Daten aus Energieausweisen werden 28 Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von in Summe 5,1 GWh/a über Einzelöfen oder Etagenheizungen beheizt. Diese Gebäude würden sich nicht unbedingt für den Anschluss an ein Fernwärmenetz in einem ersten Ausbauschritt eignen, da die hierfür notwendigen bautechnischen Adaptierungen in den Gebäuden gegenüber Gebäuden mit bestehender Zentralheizung sehr umfassend wären.

Abb. 2.3: Energieträgerverteilung von Gebäuden mit Ist-Daten oder Energieausweis



Quelle: Analyse e3 consult

Demgegenüber zeigt die Energieträgerverteilung der 172 Gebäude einen dringenden Handlungsbedarf in Bezug auf die Notwendigkeit einer Umstellung auf eine klimaverträglichere Wärmeerzeugung, da 154 Gebäude als Hauptenergieträger Erdgas oder Heizöl nutzen. Dadurch liegt der Anteil fossiler Energieträger an der Wärmebereitstellung in den 172 Gebäuden bei rd. 88% – 2% des Heizwärmebedarfs stammt aus Stromdirektheizungen und nur 10% aus erneuerbaren Energien (Abb. 2.3).

2.2 Ergebnis bottom-up Analyse

Insgesamt liegt damit der im Rahmen dieser Potenzialanalyse für die Stadt Landeck abgeschätzt Heizenergiebedarf zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung bei knapp 90 GWh/a, wobei 25,5 GWh/a (28,4%) über Ist-Daten bzw. Daten aus Energieausweisen und 65,5 GWh/a (71,6%) über eine kennzahlbasierte Abschätzung abgeleitet werden können. Dieser Heizenergiebedarf entspricht dabei 9 Mio. Liter Heizöl oder einem Güterzug mit 100 Kesselwagons und 1,5 km Länge.

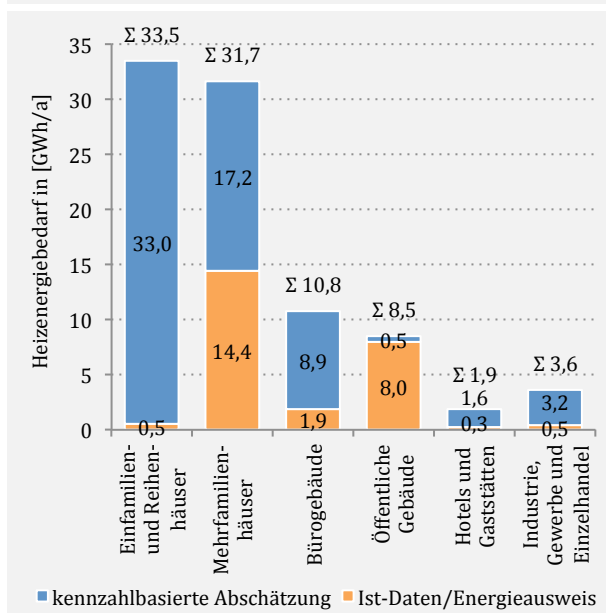
Um einschätzen zu können, in wie weit das Gesamtergebnis von 90 GWh/a Heizenergiebedarf für Landeck realistisch ist, wird im Folgenden beispielhaft der im Monitoringbericht 2016 für das gesamte Bundesland Tirol ausgewiesenen Endenergiebedarf zur Warmwasser und Raumheizung von 9.950 GWh/a [7] herangezogen. Wird dieser Gesamtösterreicher Heizenergiebedarf über den Anteil an der Tiroler Bevölkerung von rd. 1,0%⁸ auf die Stadt Landeck heruntergebrochen, ergibt sich für Landeck ein Bedarf von etwa 100 GWh/a – also eine sehr ähnliche Größenordnung wie die Ergebnisse der bottom-up Analyse in dieser Studie. Wird zusätzlich berücksichtigt, dass auf Grund des Fehlens von bspw. großen wärmeintensiven Freizeit- und Tourismuseinrichtungen der Heizenergiebedarf in der Stadt Landeck im Vergleich zu anderen Gemeinden in Tirol tendenziell unterdurchschnittlich ist, kann

⁸ <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/statistik/wohnbevoelkerung/>

davon ausgegangen werden, dass der in dieser Studie abgeleitete Heizenergiebedarf von 90 GWh/a eine hinreichende Genauigkeit aufweist.

Ein wichtiger Aspekt der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Analysen ist der gebäudescharf vorliegende Heizenergiebedarf. Durch diese gebäudescharfe Abschätzung des Heizenergiebedarfs können für Landeck weitergehende Auswertungen durchgeführt werden. Abb. 2.4 zeigt hierzu den Heizenergiebedarf für die einzelnen Gebäudetypen differenziert nach kennzahlbasierter Abschätzung und Erhebung aus Ist-Daten bzw. Energieausweisen.

Abb. 2.4: Heizenergiebedarf nach Gebäudetyp differenziert nach kennzahlbasierter Abschätzung und Erhebung aus Ist-Daten bzw. Energieausweisen



Quelle: Analyse e3 consult

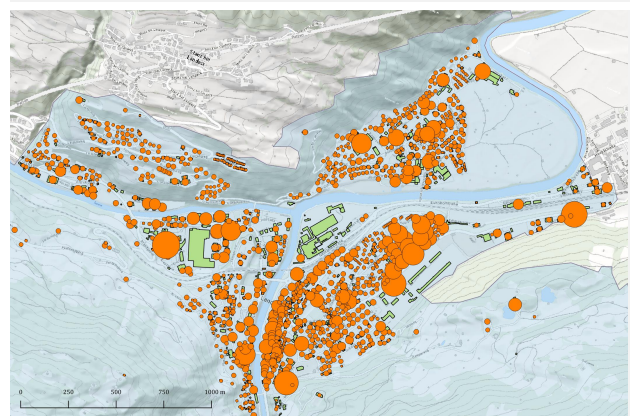
- **Einfamilien- und Reihenhäuser** verbrauchen in Summe 33,5 GWh/a bzw. 37% des gesamten Heizenergiebedarfs. Auf Grund der großen Anzahl an Gebäuden dieses Typs wurden die Verbrauchsdaten fast vollständig aus Kennzahlen abgeleitet.
- **Mehrfamilienhäuser** benötigen 31,7 GWh/a bzw. 35% des gesamten Heizenergiebedarfs. Hiervon können 14,7 GWh/a aus Ist-Daten bzw. Energieausweisen abgeleitet werden. Zusammen mit Einfamilien-/Reihenhäuser entfallen damit

etwa 72% oder 65,2 GWh/a des Heizenergiebedarfs auf Wohngebäude.

- **Bürogebäude** verbrauchen 10,8 GWh/a oder 2% des gesamten Heizenergiebedarfs. Knapp 10% hiervon sind aus Ist-Daten bzw. Energieausweisen abgeleitet.
- **Öffentliche Gebäude** benötigen 8,5 GWh/a oder 9% des gesamten Heizenergiebedarfs, wobei für fast alle Gebäude Ist-Daten bzw. Daten aus Energieausweisen vorliegen.
- **Hotels und Gaststätten** bzw. Gebäude, die diesem Typ zugeordnet sind, verbrauchen in Summe 1,9 GWh/a bzw. 2% des gesamten Heizwärmebedarfs. Der überwiegende Anteil des Heizwärmebedarfs von Hotels und Gaststätten basiert dabei auf eine kennzahlbasierte Abschätzung.
- **Gebäude für Industrie, Gewerbe und Einzelhandel** (Hallengebäude) 3,6 GWh/a bzw. 4% des gesamten Heizenergiebedarfs. Auch für diesen Gebäudetyp ist nur ein geringer Anteil des Heizwärmebedarfs über Ist-Daten abgeschätzt.

Entsprechend der Größe, Nutzung und thermischen Qualität der einzelnen Gebäude variiert der Heizenergiebedarf je Gebäude bzw. gemeinsam versorgten Gebäuden (bspw. HAK und Berufsschule) deutlich zwischen nahezu 0 und 1.150 MWh/a. Abb. 2.5 zeigt hierzu eine Darstellung des Heizenergiebedarfs je Gebäude bzw. gemeinsam beheizten Gebäudekomplex (siehe auch Anhang A-2, Seite 38).

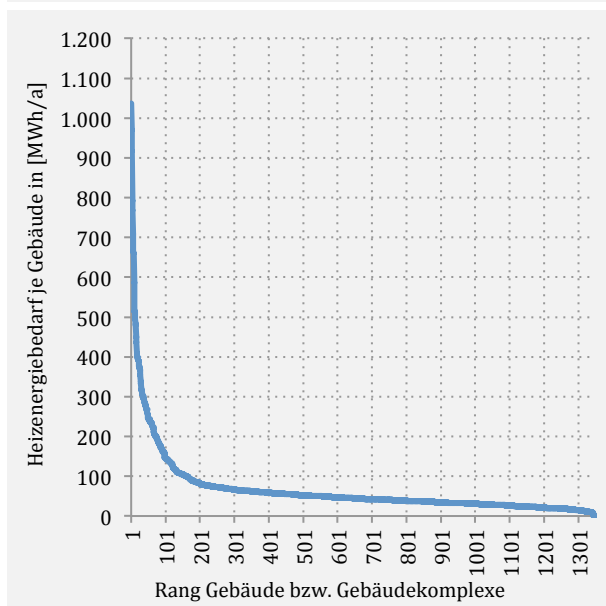
Abb. 2.5: Heizenergiebedarf je Gebäude



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult

Gebäude mit hohem Heizenergiebedarf sind in Abb. 2.5 durch einen großen Kreis und Gebäude mit geringem Heizenergiebedarf durch einen entsprechend kleineren Kreis dargestellt (siehe auch Anhang A-2, Seite 38). Große Wärmeverbraucher sind vor allem mehrstöckige Wohn- und Bürogebäude sowie insbesondere öffentliche Gebäude, wobei es relativ wenige Gebäude bzw. Gebäudekomplexe mit einem sehr hohen Heizenergiebedarf, jedoch eine große Anzahl an Gebäuden (im Wesentlichen Einfamilienhäuser) mit einem vergleichsweise geringen Heizenergiebedarf gibt. Abb. 2.6 zeigt dies anhand des absteigend sortierten Heizenergiebedarfs je Gebäude, beginnend mit dem Gebäude/Gebäudekomplex mit dem höchsten Bedarf von 1.150 GWh/a.

Abb. 2.6: Absteigend sortierter Heizenergiebedarf je Gebäude

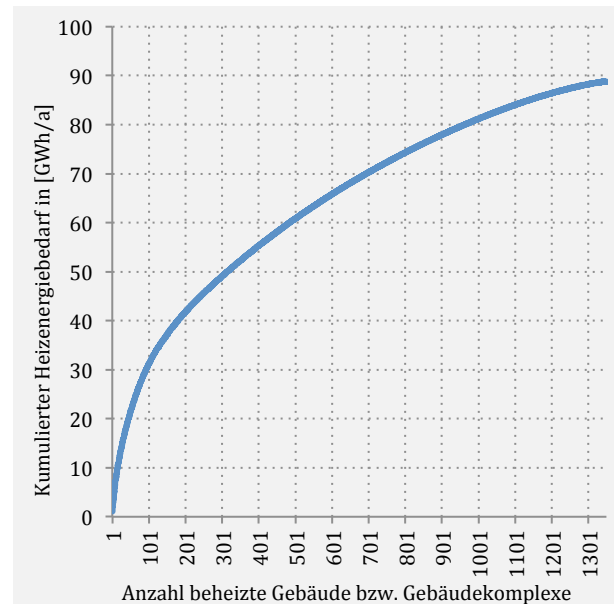


Quelle: Analyse e3 consult

Bspw. haben rd. 160 Gebäude einen Heizwärmebedarf von mehr als 100 MWh/a (100.000 kWh/a), bei knapp 800 Gebäuden liegt der Bedarf unter 50 MWh/a. Durch diese für städtische Siedlungsgebiete durchaus normale gebäudeabhängige Verteilung des Heizenergiebedarfs konzentriert sich auch in Landeck der Heizenergiebedarf auf einzelne Gebäude bzw. gemeinsam beheizte Gebäudekomplexe.

Abb. 2.7 zeigt hierzu den kumulierten Heizenergiebedarf aller beheizten Gebäude in Landeck. Ergänzend ist in Tabelle 2.4 die Summe des Heizenergiebedarfs der 10, 25, 50, 100 und 200 Gebäude mit dem größten Heizenergiebedarf dargestellt.

Abb. 2.7: Kumulierter Heizenergiebedarf



Quelle: Analyse e3 consult

Nach einem relativ steilen Anstieg am Beginn der Kurve, beginnt diese bereits ab der Summe des Heizenergiebedarfs der 200 verbrauchsstärksten Gebäude deutlich abzufachen, da die hinzukommenden Gebäude einen kontinuierlich abnehmenden Wärmeverbrauch haben. Dadurch benötigen bspw. die 10 Gebäude bzw. gemeinsam beheizten Gebäudekomplexe mit dem größten Wärmebedarf in Summe rd. 7,6 GWh/a Wärmeenergie und damit etwa 8% des gesamten Heizenergiebedarfs von Landeck. Die 100 verbrauchsintensivsten Gebäude zeigen demgegenüber in Summe einen Verbrauch von 31,1 GWh/a oder 35% des gesamten Heizenergiebedarfs. Demgegenüber liegt der Wärmebedarf der folgenden 100 Gebäude „nur“ bei knapp 10 GWh/a, so dass die 200 verbrauchsintensivsten Gebäude mit 41,8 GWh/a in Summe für knapp die Hälfte des Heizwärmebedarfs von Landeck verantwortlich sind.

Für den möglichen Aufbau einer abwärmebasier- ten Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck ist

dieser umgekehrt proportionale Zusammenhang zwischen Anzahl an Gebäuden und kumuliertem Heizenergiebedarf von besonderer Bedeutung, da mit einer überschaubaren Anzahl an Hausanschlüssen ein vergleichsweise hoher Anteil der gesamten Wärmenachfrage erreicht werden könnte. Diese Informationen sowie die räumliche Verteilung der verbrauchsintensiven Gebäude stellt dabei einen wesentlichen Input für die in Abschnitt 4.2 skizzierte mögliche Auslegung eines Fernwärmesystems in Landeck dar.

Tabelle 2.4: Kumulierter Heizenergiebedarf der 200 größten Wärmeverbraucher in Landeck

Anzahl Gebäude / Gebäudekomplexe	kumulierter Heizenergiebedarf [GWh/a]	Anteil am gesamten Heizenergiebedarf Stadt Landeck
10	7,6	8%
25	14,0	16%
50	21,3	24%
100	31,1	35%
200	41,8	47%

Quelle: Analyse e3 consult

2.3 Mittel- und langfristige Entwicklung

Für die weitergehende Bewertung eines möglichen Aufbaus einer abwärmebasierten Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck stellt der aktuelle Heizenergiebedarf eine erste Planungsgröße dar. Allerdings müssen auch längerfristige Tendenzen in Bezug auf die übergeordneten energiepolitischen Randbedingungen und die damit zusammenhängende weitere Entwicklung des Heizenergiebedarfs berücksichtigt werden. Während die strategischen Klima- und Energieziele auf Bundes- und Landesebene die Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme und damit den Auf- und Ausbau einer leitungsbundenen Wärmeversorgung grundsätzlich stützen, sinkt durch die ebenfalls als strategisches Ziel definierte energetische Sanierung der Gebäude der Wärmebedarf und damit der Wärmeabsatz eines möglichen Fernwärmesystems. Dieser Rückgang kann zwar durch die Zunahme des Gebäudebestands

etwas gedämpft werden, insgesamt ist jedoch von einer deutlichen Reduzierung des Wärmebedarfs auszugehen, da andernfalls die energiepolitischen Ziele nicht zu erreichen wären.

Entsprechend sieht auch die Tiroler Energiestrategie *Tirol2050 energieautonom* eine Reduktion des Endenergieverbrauchs im Gebäudebereich um 50% bis 2050 vor [1]. In wie weit diese ambitionierte Zielsetzung erreicht werden kann, wird nicht zuletzt davon abhängen, ob die aktuell niedrigen Sanierungsraten von unter 1% (d. h. ein von 100 Gebäuden wird jedes Jahr umfassend thermisch saniert) in den kommenden Jahren auf 2-3% erhöht werden kann. Insofern ist die mittel- und langfristige Entwicklung des Heizenergiebedarfs von gewissen Unsicherheiten gekennzeichnet, die bspw. in einer aktuellen Studie der TU Wien bei der Szenariobildung der zukünftigen Entwicklung des Heizenergiebedarfs berücksichtigt wurde [14]. In Abb. 2.8 ist als zusammenfassendes Ergebnis der TU Wien-Studie die Bandbreite der möglichen Entwicklung des Endenergieeinsatzes zur Wärmeversorgung der Kleinverbraucher in Österreich dargestellt, die gegenüber 2015 eine Reduktion zwischen 30 und 50% bis 2050 zeigt.⁹

Auf die Stadt Landeck bezogen würde diese österreichweite Entwicklung einen Rückgang des Heizenergiebedarfs von derzeit 90 GWh/a auf 45 bis 63 GWh/a im Jahr 2050 bedeuten. Diese für eine Fernwärmeversorgung grundsätzlich ungünstige Entwicklung kann jedoch vor dem Hintergrund der de facto bis zum Jahr 2050 erforderlichen vollständigen Substitution fossiler Energieträger im Wärmesektor durch erneuerbare Energien und Abwärme insofern relativiert werden, als dass eine leitungsge-

⁹ Das Szenario „with existing measures“ (WEM 2017 Szenario) berücksichtigt bereits (mit Stand Mai 2016) implementierte Maßnahmen. Das zweite Szenario „with additional measures plus“ (WAMplus 2017 Szenario) enthält darüber hinausgehende Maßnahmen. Ziel des letzteren Szenarios ist es, eine Entwicklung des Endenergiebedarfes und des Endenergieeinsatzes (EE-E) im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden darzustellen, in welcher eine Sektor übergreifend konsistente Gesamtreaktion der österreichischen CO₂-Emissionen bis 2050 von -80% gegenüber 1990 erreicht wird.

bundene Wärmeversorgung zukünftig nicht mehr im Wettbewerb mit den fossilen Energieträgern Erdgas und Heizöl, sondern einer dezentralen Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien steht. Die hierfür zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energieträger bzw. Technologien zeigen jedoch zum Teil systemimmanente Nachteile, die bei einer langfristigen Entwicklung des Energiesystems der Stadt Landeck berücksichtigt werden sollten.

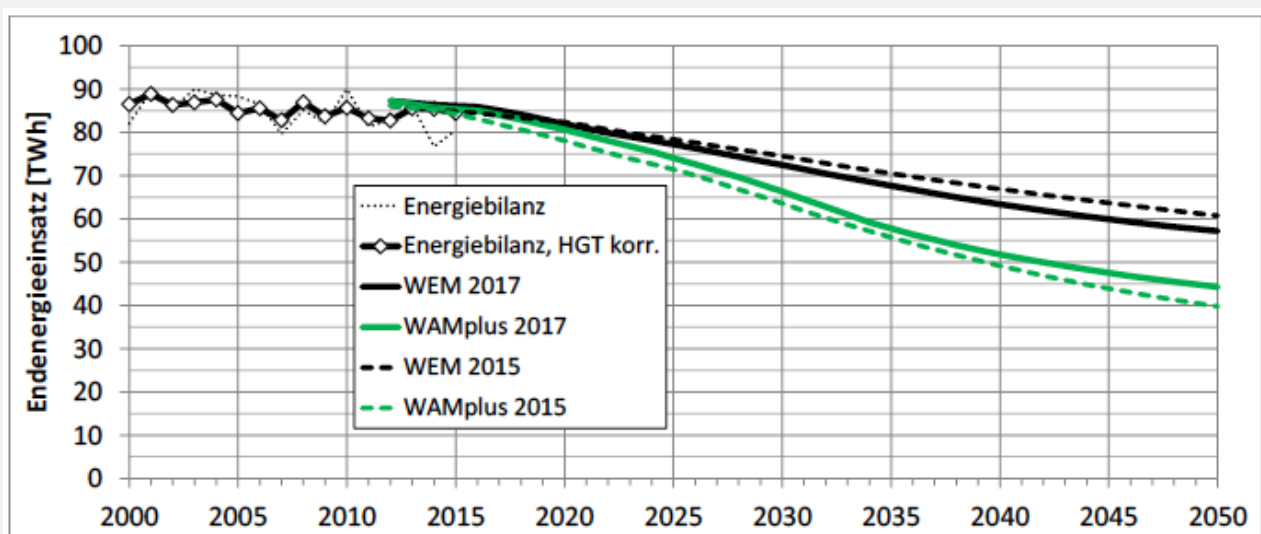
- **Pellets und Hackschnitzel** stehen in Österreich bzw. Europa auf Grund der begrenzten Biomassepotenziale nur eingeschränkt zur Verfügung und sollten langfristig daher nur dort zum Einsatz kommen, wo keine alternative Wärmeversorgung möglich ist. Auch kann der Ausbau der Biomassenutzung die lokale Immissionssituation ungünstig beeinflussen.
- **Wärmepumpen** können zumindest als Luftwärmepumpen grundsätzlich in einem Großteil der Gebäude nachgerüstet werden. Allerdings sind Wärmepumpensysteme aus energetischer Sicht nur dann sinnvoll, wenn die Heizungssysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen betrieben wer-

den können und die Wärmequelle mit einer möglichst konstanten Temperatur zur Verfügung steht – was bei Luftwärmepumpen gerade nicht der Fall ist. Auch müssen für den benötigten Wärmepumpenstrom zusätzliche Kraftwerkskapazitäten gebaut werden.

- **Solarthermie** lässt sich im städtischen Bereich baulich häufig nicht in bestehende Gebäude integrieren. Auch zeigt die Solarthermie eine zum Raumwärmebedarf umgekehrte saisonale Erzeugungscharakteristik, so dass ohne saisonale Speicher immer nur ein gewisser Anteil des gesamten Heizenergiebedarfs durch solare Wärme abgedeckt werden kann.

Die Erschließung wirtschaftlich verfügbarer industrieller Abwärmepotenziale kann damit auch bei einer langfristig deutlichen Reduzierung des Heizwärmebedarfs Vorteile sowohl auf lokaler als auch überregionaler Ebene liefern. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der ambitionierten Klima- und Energieziele, die auch für die Stadt Landeck einen vollständigen Ausstieg aus Öl- und Erdgasheizungen bedeuten werden.

Abb. 2.8: Szenarios der Entwicklung des Endenergieeinsatzes zur Wärmeversorgung der Kleinverbraucher in Österreich



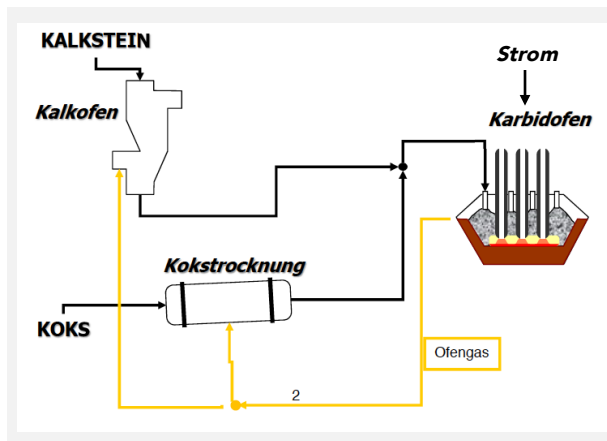
Quelle: TU Wien [14]

3 Industrielle Abwärmepotenziale

3.1 Kalziumkarbid-Werk Landeck der Donau Chemie AG

Die Donau Chemie AG betreibt am Standort Landeck ein 1901 gegründetes Werk zur Herstellung von Kalziumkarbid für die Gas- und Stahlindustrie. Kalziumkarbid wird in einem Elektrolichtbogenofen aus Kalk und Koks hergestellt. Abb. 3.1 zeigt hierzu den schematischen Produktionsprozess.

Abb. 3.1: Schematischer Produktionsprozess Kalziumkarbid



Quelle: Donau Chemie AG [8]

Im Kalkofen wird mit dem im Karbidofen anfallenden Ofengas bei 1.200°C Kalk gebrannt. Der Kalk wird anschließend mit dem getrockneten Koks im Karbidofen zu flüssigem Kalziumkarbid umgesetzt. Die 2.200 Grad heiße Schmelze rinnt nach dem Abstich in den sog. Abstichwagen (Muldenwagen) und erstarrt dort zu festen Blöcken. Die Karbidblöcke werden nach ca. 45 Minuten aus dem Abstichwagen mit einem Kran herausgenommen und für ca. 22 Stunden in der Kühlhalle auf Umgebungstemperatur abgekühlt und abschließend auf die gewünschte Körnung zerkleinert.

Bei einer Jahresproduktion von knapp 40.000 t Kalziumkarbid beträgt der Energieeinsatz am Standort Landeck etwa 170 GWh/a – davon etwa 70% Strom und 30% Koks. Der benötigte Strom wird

Großteils im werkseigenen Wasserkraftwerk Wiesberg erzeugt, die restlichen Strommengen werden am Markt zugekauft. Prozessbedingt fallen bei der Produktion von Kalziumkarbid vergleichsweise hohe Abwärmemengen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus an, die grundsätzlich für eine Auskoppelung in ein Fernwärmesystem zur Verfügung stehen mit Ausnahme der Abwärme der Druckluft-Kompressoren für die betriebseigene Heizung bisher jedoch ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden. Diese ggf. nutzbaren Abwärmeströme hat die Donau Chemie AG erfasst und in einem internen Arbeitspapier exemplarisch für mittlere Jahreslaststunden von 7.200 h/a quantifiziert [8]:

- **Abwärme Karbidblöcke:** Die erstarrten Karbidblöcke werden von einer Ausgangstemperatur von rd. 1.800 °C auf Umgebungstemperatur abgekühlt und liefern dabei eine theoretische Wärmemenge von ca. 21 GWh/a bzw. eine Abwärmeleistung von 2,9 MW. Die Abwärme könnte entweder durch Absaugen der heißen Abluft in der Halle oder eine direkt Kühlung durch bspw. einen mit Thermoöl durchflossenen „Kühlkanal“, durch welchen die Muldenwagen mit dem abzukühlenden Karbidblöcken durchgeführt werden, genutzt werden. Das Verfahren zur Abwärmenutzung hat dabei unmittelbar Einfluss auf das Temperaturniveau der Abwärme. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die Abwärme zumindest mit einem Temperaturniveau über 100°C zur Verfügung steht und damit grundsätzlich die Voraussetzungen für eine direkte Abwärmenutzung über einen Luft-/Wasserwärmetauscher ohne Hochtemperatur-Wärmepumpe bestehen.

Alternativ könnte die Abwärme nach einer systemtechnisch notwendigen vorherigen Reduzierung des Temperaturniveaus auf 50-60 °C über eine Wärmepumpe auf eine für ein Fern-

wärmenetz übliche Vorlauftemperatur von 80-90 °C angehoben werden. Eine elektrische Wärmepumpe würde dabei etwa einen COP von ca. 6,0 und eine JAZ von ca. 5,5 erreichen, so dass die erforderliche elektrische Antriebsleistung der Wärmepumpe bei rd. 0,6 MW liegen würde. In Summe würde damit eine thermische Leistung von ca. 3,5 MW mit einem Anteil an industrieller Abwärme von rd. 80% zur Verfügung stehen.

- **Abwärme Karbidofen:** Die Kühlung der Anlagenteile erfolgt mit Wasser. Bei einem mittleren Temperaturniveau von rd. 55°C wird eine verfügbare Abwärmemenge von ca. 13 GWh/a erwartet. Auf Grund des verfügbaren Temperaturniveaus wäre für eine weitergehende Nutzung der Abwärme in einem Fernwärmesystem eine Hochtemperatur-Wärmepumpe erforderlich. Diese würde etwa einen COP von ca. 6,0 und eine JAZ von ca. 5,5 erreichen können, so dass die erforderliche elektrische Antriebsleistung der Wärmepumpe bei rd. 0,4 MW liegen würde. In Summe würde damit eine thermische Leistung von ca. 2,2 MW mit einem Anteil an industrieller Abwärme von rd. 80% zur Verfügung stehen.
- **Abgasabwärme Kalkofen:** Die Abgase des Kalkofens werden im oberen Teil des Ofens abgesaugt und über eine Trockenfilteranlage gereinigt. Die Temperatur des Rohgases liegt zwischen 190 und 270°C und des Reingases bei ca. 110°C. Bei einem Rohgasvolumenstrom von etwa 10.000 Bm³/h leitet sich ein direkt über einen Wärmetauscher nutzbares Abwärmepotenzial von ca. 7 GWh/a ab. Dieses Abwärmepotenzial kann grundsätzlich sowohl auf der staubbelasteten Rohgas- als auch der gereinigten Reingasseite genutzt werden.
- **Ofengasabwärme Karbidofen:** Das Ofengas wird über ein wassergekühltes Austrittsrohr bei etwa 400-800°C gesammelt und zur nachfolgenden Reinigung transportiert. Bei einem mittleren Volumenstrom von 3.200 Nm³/h ermittelt sich ein über einen Wärmetauscher nutzbares Abwärmepotenzial von ca. 4 GWh. Diese Potenzial

steht auf einem Temperaturniveau von etwa 60°C zur Verfügung, d. h. für eine weitergehende Nutzung wäre eine Hochtemperatur-Wärmepumpe (COP ca. 6,0 und JAZ ca. 5,5) mit einer elektrischen Antriebsleistung von rd. 0,15 MW erforderlich. In Summe würde damit eine thermische Leistung von ca. 0,7 MW mit ebenfalls einem Anteil an industrieller Abwärme von rd. 80% zur Verfügung stehen.

Tabelle 3.1 zeigt eine Zusammenfassung der technischen Abwärmepotenziale am Standort der Donau Chemie Landeck. Insgesamt liegt das Potenzial an industrieller Abwärme bei 6,3 MW. Für die Nutzung dieses Abwärmepotenzials wäre jedoch bei zwei bzw. ggf. auch drei der insgesamt vier Prozesse mit Abwärmepotenzialen eine Hochtemperatur-Wärmepumpe erforderlich, die in Summe eine elektrische Antriebsleistung von rd. 1,1 MW aufweisen würden.

Tabelle 3.1: Übersicht technisches Abwärmepotenzial Donau Chemie Landeck

		Abwärme Karbidlöcke	Abwärme Karbidofen	Abgaswärme Kalkofen	Ofengaswärme Karbidofen	Gesamt
Technisches Abwärmepotenzial	[GWh/a]	21	13	7	4	45
	[MW]	2,9	1,8	1,0	0,6	6,3
Temperaturniveau Abwärme	[°C]	ca. 100	55	110-270	60	-
Wärmepumpe erforderlich	[-]	vielleicht	ja	nein	ja	-
JAZ Wärmepumpe	[-]	5,5	5,5	-	5,5	-
Antrieb Wärmepumpe	[GWh/a]	4,3	2,9	-	0,9	8,1
	[MW]	0,6	0,4	-	0,1	1,1
Technisches Endenergiepotenzial	[GWh/a]	25	16	7	5	53
	[MW]	3,5	2,2	1,0	0,7	7,4

Quelle: Donau Chemie AG, e3 consult

Bei unterstellten mittleren Jahresvolllaststunden von 7.200 h/a entsprechen diese Leistungswerte einem technischen Abwärmepotenzial von insgesamt 45 GWh/a, für dessen Nutzung eine Antriebsenergie von 8,1 GWh/a erforderlich wäre. Das

technische Endenergiepotenzial am Standort liegt damit bei rd. 53 GWh/a, wobei produktionstechnisch grundsätzlich auch höhere Ausnutzungsdauern als 7.200 h/a möglich wären. Allerdings wird das hier von in der Stadt Landeck nutzbare Potenzial (sog. Nachfragepotenzial) deutlich unter dem verfügbaren Angebot liegen, da die Wärmenachfrage im Gegensatz zum Abwärmeeinfall eine ausgeprägte saisonale Schwankung zeigt und damit nur ein gewisser Anteil des Angebots auch tatsächlich nutzbar wäre (vgl. Abschnitt 4.1).

Im Zusammenhang mit der zeitlichen Verfügbarkeit des Abwärmepotenzials in der Donau Chemie Landeck ist anzumerken, dass derzeit die alljährliche Revision der Ofenanlagen auf Grund der reduzierten Eigenstromversorgung aus dem Kraftwerk Wiesberg in den Monaten Jänner und Februar stattfindet. Damit stünde für etwa 4 bis 6 Wochen keine Abwärme während einer Zeit mit an sich hoher Heizwärmenachfrage zur Verfügung. Allerdings muss die Revision der Ofenanlage aus technischen oder produktionsbedingten Gründen nicht zwingend in den beiden Wintermonaten erfolgen. Bei einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung von Karbidproduktion und einer möglichen Abwärmeauskopplung könnte der Revisionszeitraum jedoch verkürzt und/oder verschoben werden, so dass Abwärmeangebot und Heizwärmenachfrage besser korrelieren. Eine Bewertung dieser Option könnte im Rahmen einer weitergehenden Detailanalyse gemeinsam mit den Verantwortlichen der Donau Chemie Landeck erfolgen.

3.2 Spinnerei Landeck der Linz Textil GmbH

Die Linz Textil GmbH produziert am Standort Landeck in dem 1901 gegründeten Textilbetrieb in der modernsten und größten Spinnereianlage Europas Extralangstapel-Kammgarne für die Herstellung hochwertiger Gewebe (Abb. 3.2). Die Herstellung von Garnen benötigt vergleichsweise viel elektrische Energie für mechanische Antriebe, Druckluftherzeug-

ung sowie für Klima- und Lüftungsanlagen. Dabei variiert die Stromintensität für die Herstellung verschiedener Garne je nach Art und Prozess zwischen 1,4 kWh/kg für grobe Strickgarne (z. B. 37 g/km) und 7 kWh/kg für sehr feine Garne (z. B. 12 g/km) [10]. Bei noch feineren und sehr hochwertigen Garnen, wie sie bspw. in der Spinnerei Landeck hergestellt werden, kann der spezifische Stromverbrauch auch höher liegen. In der Spinnerei Landeck liegt der jährliche Stromverbrauch bei etwa 27-28 GWh/a; dies entspricht bei einer mittleren Jahresproduktion von rd. 2.400 t etwa 11 kWh/kg.

Abb. 3.2: Garnspulen Spinnerei Landeck



Foto: Otmar Kolb [9]

Da eine gleichbleibende Raumtemperatur entscheidend für die Qualität der Garne ist, wird die Maschinenabwärme kontinuierlich über Absaugungen erfasst und an vier Stellen (Spinnerei 1 und 2 sowie Vorwerk 1 und 2) über das Hallendach an die Umgebung abgegeben. In Summe beträgt der maximale Abluftstrom 1.128.000 m³/h, die Temperatur der Abluft liegt bei 30-35°C. Der maximale Abluftstrom wird jedoch nur an warmen Tagen während der Sommermonate erreicht. Im Winter liegen die Abluftströme bei durchschnittlich 30-35% der maximalen Abluftmengen. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen können diese in einzelnen Stunden sogar unter 10% sinken. Für die weiteren Abschätzungen einer möglichen Abwärmenutzung wird daher exemplarisch eine Auslegung auf 30% der maximalen Abluftmengen sowie eine mögliche Abkühlung der Abluft um 15° unterstellt, da sich dies

mit einem vergleichsweise überschaubaren technischen Aufwand für Wärmepumpe und Wärmetauscher realisieren ließe. Aus diesen Randbedingungen leitet sich das in Tabelle 3.2 dargestellte technische thermische Potenzial auf der Abluftseite von 1,6 MW bzw. 14,2 GWh/a ab.

Tabelle 3.2: Technisches Abwärmepotenzial Spinnerei Landeck

		Spinnerei Werk 1	Vorwerk Werk 1	Spinnerei Werk 2	Vorwerk Werk 2	Gesamt
Maximaler Abluftstrom	[1.000 m³/h]	516	284	212	116	1.128
Technisch nutzbarer Abluftstrom	[1.000 m³/h]	155	85	64	35	338
Technisches Abwärmepotenzial	[GWh/a]	6,5	3,6	2,7	1,5	14,3
	[MW]	0,7	0,4	0,3	0,2	1,6
	[%]	46%	25%	19%	10%	100%
Antrieb Wärmepumpe	[GWh/a]	7,0 - 11,4				-
	[MW]	0,8 - 1,3				-
Technisches Endenergiepotenzial	[GWh/a]	21,0 - 25,7				-
	[MW]	2,4 - 2,9				-

Quelle: Linz Textil GmbH, e3 consult

Auf Grund des vergleichsweise niedrigen Temperaturniveaus kann dieses Abwärmepotenzial jedoch nur in Kombination mit einer Hochtemperatur-Wärmepumpe für ein Fernwärmesystem genutzt werden.¹⁰ Die Effizienz einer Hochtemperatur-Wärmepumpe ist dabei stark abhängig von der notwendigen Spreizung zwischen dem Temperaturniveau der Abwärme (hier 30°C) und der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes. Exemplarisch werden an dieser Stelle daher zwei Auslegungsvarianten für eine Hochtemperatur-Wärmepumpe betrachtet –

standardmäßig eine Vorlauftemperatur von 90°C und als Variante von 70°C:

- Bei einer **Vorlauftemperatur von 90°C** erreicht eine elektrische Wärmepumpe einen COP von ca. 2,4 und eine JAZ von ca. 2,2.
- Bei einer **Vorlauftemperatur 70°C** erreicht eine elektrische Wärmepumpe einen COP von ca. 3,4 und eine JAZ von ca. 3,1.

Für diese beiden Optionen leitet sich die erforderliche Antriebsleistung der Wärmepumpe mit 1,3 bzw. 0,8 MW ab, sodass als Summe von Abwärme und elektrischer Antriebsleistung die bereitstellbare thermische Leistung bei 2,9 MW (90°C) bzw. 2,4 MW (70°C) liegen würde. Der Anteil der industriellen Abwärme beträgt dabei 55% bzw. 68%.

Grundsätzlich steht die Abwärme aus der Spinnerei Landeck das gesamte Jahr zur Verfügung, so dass sich ein vergleichsweise hohes technisches Endenergiepotenzial zwischen 21,0 und 25,7 GWh/a ableiten lässt. In wie weit dieses Angebotspotenzial auf der Nachfrageseite jedoch auch tatsächlich nutzbar wäre, wird in Abschnitt 4.1 näher analysiert.

¹⁰ Alternative wäre zumindest technisch auch ein sog. kaltes Fernwärmenetz möglich, bei dem nach dem Wärmetauscher das 30°C warme Wasser über ein sog. kaltes Wärmenetz zu den Verbrauchern transportiert wird und dort dezentral über Wärmepumpen auf die gewünschte Temperatur gebracht wird. Dem Vorteile geringerer Leistungsverluste steht dabei der Nachteil eines höheren technischen Aufwandes durch die Vielzahl einzelner Wärmepumpen gegenüber. Auf die Möglichkeit eines kalten Fernwärmesystems wird an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen.

4 Energiewirtschaftliche Randbedingungen Fernwärmesystem Landeck

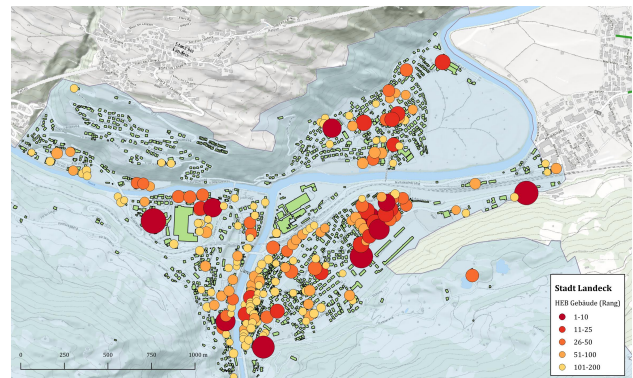
4.1 Technisches Nachfragepotenzial für industrielle Abwärme

Ausgehend vom grundsätzlich zur Verfügung stehenden technischen Angebotspotenzial an industrieller Abwärme kann unter Berücksichtigung der zeitlichen und räumlichen Charakteristik des Heizenergiebedarfs in der Stadt Landeck das technische Nachfragepotenzial und damit der Anteil an tatsächlich im Energiesystem Landeck nutzbaren industriellen Abwärme abgeschätzt werden. Dabei werden zum einen saisonale Unterschiede zwischen Angebot und Nachfrage sowie zum anderen die technisch-wirtschaftliche Erschließbarkeit von Gebäuden für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung berücksichtigt. Weitere mögliche Restriktionen wie bspw. fehlende Akzeptanz für notwendige Grabungsarbeiten oder genehmigungsrechtliche Einschränkungen werden an dieser Stelle bei der Ableitung des technischen Nachfragepotenzials für industrielle Abwärme nicht berücksichtigt.

Als ersten Schritt werden Gebäude mit einem vergleichsweise niedrigen Wärmebedarf „aussortiert“, da sich diese aus Kostengründen häufig nur eingeschränkt für den Anschluss an ein Fernwärmenetz eignen bzw. nur einen geringen Beitrag zur wirtschaftlich erforderlichen Leistungsdichte eines Fernwärmenetzes haben. Beispielhaft werden daher nur die 200 Gebäude bzw. gemeinsam versorgte Gebäudekomplexe mit dem höchsten Heizenergiebedarf für die weiteren Betrachtungen berücksichtigt („Top 200“). Diese „Top 200“ Gebäude haben einen jährlichen Heizenergiebedarf von jeweils zumindest 80 MWh/a und sind in Summe für knapp 42 GWh/a oder 47% des gesamten Heizenergiebedarfs in Landeck verantwortlich. Abb. 4.1 zeigt die räumliche Verteilung der 200 Gebäude mit dem höchsten Heizenergiebedarf Anhang A-3: Die 200

Gebäude mit dem höchsten Heizenergiebedarf („Top 200“)(siehe auch Anhang A-3, Seite 39).

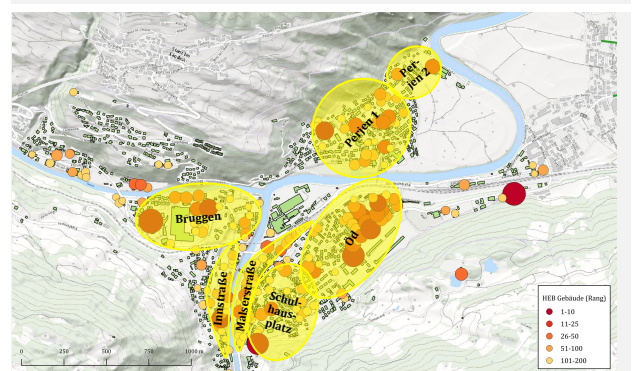
Abb. 4.1: Die 200 Gebäude mit dem höchsten Heizenergiebedarf („Top 200“)



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult

Allerdings wird nicht jeder Ortsteil oder Straßenzug und damit nicht jedes dieser 200 Gebäude mit einem Fernwärmenetz erschlossen werden können, so dass in einem zweiten Schritt attraktive Wärme-Cluster bzw. potenzielle Eignungsgebiete für ein Fernwärmenetz identifiziert werden. In Abb. 4.2 sind diese in Summe sieben Cluster mit einer vergleichsweise hohen Dichte an Gebäuden mit hohem Heizenergiebedarf dargestellt (siehe auch Anhang A-4, Seite 40).

Abb. 4.2: Cluster mit potenziell hoher Wärmebedarfsdichte



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult

Innerhalb dieser sieben Cluster liegt der Heizenergiebedarf bei rd. 59 GWh/a, wovon 34 GWh/a den 156 Gebäuden aus der Gruppe „Top 200“ Gebäuden zugeordnet werden können. Tabelle 4.1 zeigt den Heizenergiebedarf zusätzlich für den jeweiligen Cluster, wobei neben dem Wärmebedarf des gesamten Gebäudebestandes im jeweiligen Cluster und dem Wärmebedarf der Gebäude aus der Gruppe „Top 200“ auch der Heizenergiebedarf der Gebäude aus der Gruppe „Top 100“ (in Summe 83 Gebäude mit einem Heizenergiebedarf von 26 GWh/a) dargestellt ist.

Tabelle 4.1: Heizenergiebedarf in ausgewählten Clustern mit hoher Wärmebedarfsdichte

Cluster	Alle Gebäude	Gruppe „Top 100“	Gruppe „Top 200“
	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Öd	24,2	10,7	12,5
Perjen 1	12,1	4,8	5,4
Malsersstraße	8,8	3,2	6,2
Bruggen	8,0	3,6	5,2
Innstraße	2,6	1,6	2,1
Schulhausplatz	2,2	1,6	1,9
Perjen 2	1,1	0,8	0,8
Gesamt	58,8	26,2	34,0

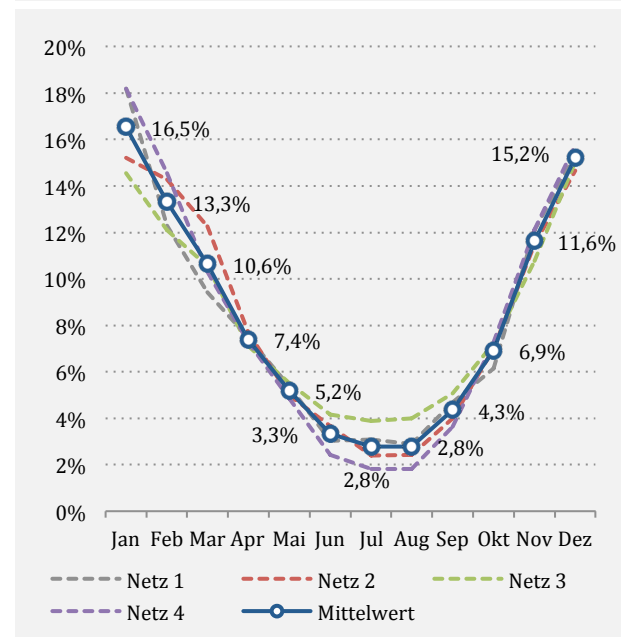
Quelle: Analyse e3 consult

Auf Grund der vielen mehrgeschoßigen Wohnbauten hat der Cluster „Öd“ den mit Abstand höchsten Heizenergiebedarf. Dahinter folgen die Cluster „Perjen 1“, „Malsersstraße“ und „Bruggen“ sowie die Cluster „Innstraße“ und „Schulhausplatz“. Der Cluster „Perjen 2“ liegt am Ende der beispielhaften Gruppierung von Gebäuden mit einem vergleichsweise hohen Heizenergiebedarf. Da sich von den für einen Anschluss an ein Fernwärmenetz primär geeigneten bzw. attraktiven Gebäuden in der Praxis nur ein Teil für einen solchen Anschluss entscheidet, wird für die weiteren Analysen der Mittelwert des Heizenergiebedarfs der „Top 100“ und „Top 200“ Gebäude in den jeweiligen Clustern herangezogen. Dadurch kann ein technisches Nachfragepotenzial

für Fernwärme aus industrieller Abwärme bzw. grundsätzlich für Fernwärme von rd. 30 GWh/a abgeleitet werden. Werden zusätzlich noch die unvermeidlichen Verluste in einem Fernwärmenetz von beispielhaft 15% berücksichtigt [16], leitet sich ein Nachfragepotenzial für Fernwärme aus industrieller Abwärme von knapp 35 GWh/a ab.

Neben den räumlichen Restriktionen in Bezug auf die grundsätzliche Erschließbarkeit der Gebäude mit einem Fernwärmenetz kann auf Grund der ausgeprägten saisonalen Charakteristik des Heizenergiebedarfs das häufig konstant verfügbare Abwärmepotenzial nur zu einem gewissen Teil genutzt werden. Abb. 4.3 zeigt hierzu die saisonale Verteilung des Heizwärmebedarfs von vier exemplarischen Nah- und Fernwärmesystemen in Tirol.

Abb. 4.3: Saisonale Verteilung des Wärmeabsatzes von vier exemplarischen Nah- und Fernwärmesystemen in Tirol



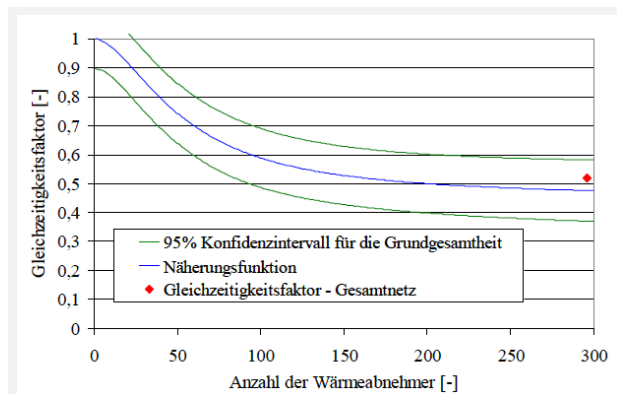
Quelle: e3 consult, MOSER Energie & Umwelt

Während in den Wintermonaten der monatliche Wärmeabsatz zwischen 10 und 18% des Jahresabsatzes liegt, kann dieser in den Sommermonaten auf unter 2 bis 3% sinken. Dadurch könnte vor allem in den Sommermonaten nur ein vergleichsweise kleiner Teil des verfügbaren Abwärmepotenzials in Landeck genutzt werden. Erfahrungswerte zeigen dabei,

dass Heizungsanlagen einzelner Gebäude mittlere Volllastbenutzungsstunden zwischen ca. 1.500 und 1.800 h/a aufweisen, d. h. das technische Nachfragepotenzial von 30 GWh/a entspricht einer Anschlussleistung der Gebäude von in Summe etwa 18 MW.

Mit zunehmender Anzahl von Abnehmern sinkt auf Grund des unterschiedlichen Nutzer- und Gebäudeverhaltens jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass bei allen Abnehmer gleichzeitig die (Einzel-) Lastspitze auftritt. Der Zusammenhang zwischen dem Verhältnis der (zeitgleichen) Spitzenlast des Fernwärmenetzes und der Summe der (nicht-zeitgleichen) Einzelspitzen aller Abnehmer eines Netzes wird dabei durch den sog. Gleichzeitigkeitsfaktor ausgedrückt (vgl. u. a. [17], [20]). Grundsätzlich sinkt der Gleichzeitigkeitsfaktor in einem Wärmenetz mit zunehmender Anzahl an angeschlossenen Gebäuden. In Abb. 4.4 ist dies beispielhaft für das Wärmenetz Tamsweg mit einer Nennwärmeleistung der Wärmeerzeuger von 10,5 MW dargestellt.

Abb. 4.4: Näherungsfunktion für den Gleichzeitigkeitsfaktor für das Wärmenetz Tamsweg mit 10,5 MW Nennwärmeleistung



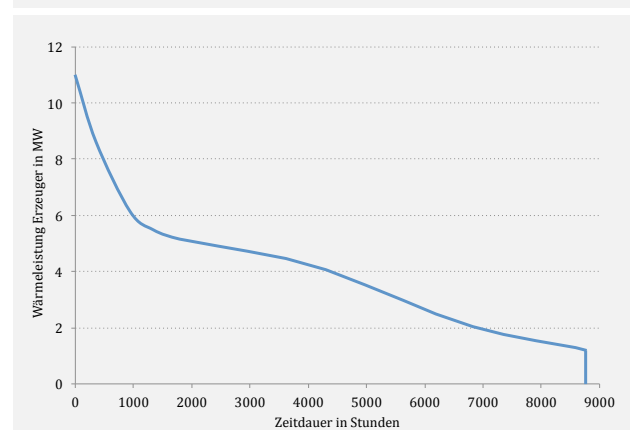
Quelle: Winter et al. [20]

Beispielsweise liegt der Gleichzeitigkeitsfaktor für 100 Wärmeabnehmer bei etwa 60% und für 200 Wärmeabnehmer bei 50%. Überträgt man diese Erfahrungswerte auf ein mögliches Fernwärmesystem in Landeck, würde bei einer Wärmeanschlussleistung der Gebäude von 18 MW eine Wärmeleistung auf der Erzeugerseite von knapp 10 MW bzw.

unter zusätzlicher Berücksichtigung der Netzverluste von näherungsweise 11 MW erforderlich sein.

Dieser erforderlichen Wärmeleistung steht ein Angebot an Abwärmeleistung von maximal 7,4 MW bei der Donau Chemie AG und von 2,4-2,9 MW bei der Spinnerei Landeck – in Summe also knapp 10 MW – entgegen. Unabhängig von der Frage, ob die verfügbaren Abwärmequellen wirtschaftlich erschlossen werden können, wäre demnach keine vollständige Deckung des im Rahmen dieser Studie abgeschätzten Fernwärme-Nachfragepotenzials von 30 bzw. inkl. Netzverlusten 35 GWh/a durch die in Landeck grundsätzlich verfügbare industrielle Abwärme möglich. Da hohe Wärmeleistungen in einem Fernwärmesystem jedoch nur in relativ wenigen Stunden eines Jahres abgerufen werden, lassen sich jedoch auch mit den verfügbaren abwärmeseitigen Wärmeleistungen vergleichsweise hohe Deckungsraten erzielen. Abb. 4.5 zeigt diesen Zusammenhang anhand der Jahresdauerlinie eines mit den Randbedingungen in Landeck vergleichbaren Wärmenetzes, wobei die maximal erforderliche erzeugungsseitige Wärmeleistung auf 11 MW skaliert wurde.

Abb. 4.5: Beispielhafte Jahresdauerlinie der Wärmeleistung für ein Fernwärmesystem in Landeck



Quelle: nach Winter & Obernberger [21]

Grundsätzlich könnten zwar mehr als 95% des nachfrageseitigen Wärmebedarfs (Wärmeabnehmer und Netzverluste) aus industrieller Abwärme gedeckt werden. Allerdings wird das auf vergleichs-

weise niedrigem Temperaturniveau vorliegende Abwärmepotenzial der Spinnerei Landeck aus wirtschaftlicher Sicht mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht in ein ortsteilübergreifendes Fernwärmesystem integriert werden können. Mit der am Standort der Donau Chemie Landeck verfügbaren Abwärmeleistung von 7,4 MW könnte jedoch immer noch ein Deckungsgrad von etwa 80-90% erreicht werden. Damit könnten zwischen 28 und 31 GWh/a an industrieller Abwärme energiewirtschaftlich genutzt werden, wovon nach Abzug der Netzverluste etwa 24-27 GWh/a zur Wärmeversorgung der Gebäude zur Verfügung stünden.

Der nicht aus industrieller Abwärme abdeckbare Teil der Wärmenachfrage (sog. Spitzenlast) kann bspw. durch einen Gaskessel bereitgestellt werden, der gleichzeitig als Ausfallsicherung dient. Der Vorteil von gasbefeuerten Spitzenlastkesseln sind die relativ niedrigen spezifischen Investitionskosten bei gleichzeitig moderaten variablen Wärmegestehungskosten. Nachteilig sind jedoch die mit dem fossilen Brennstoff Erdgas zusammenhängenden CO₂-Emissionen, so dass Gaskessel aus energiepolitischer Sicht keine langfristige Option zur Spitzenlastabdeckung darstellen. Alternative zu einem Erdgaskessel könnte die Spitzenlastabdeckung grundsätzlich auch über einen ausreichend dimensionierten Wärmespeicher erfolgen, der optional mit elektrischen Heizelementen ausgeführt werden kann (sog. Power-to-Heat). Eine weitere Option zur zumindest teilweisen Abdeckung der Lastspitzen könnte der Zusammenschluss eines Fernwärmesystems in Landeck mit dem bestehenden Ortswärmenetz in Zams darstellen (vgl. hierzu Abschnitt 4.2.2 Mögliche Synergiepotenziale mit Ortswärme Zams).

Abschließend sei jedoch erwähnt, dass das technische Nachfragepotenzial für Fernwärme aus industrieller Abwärme von rd. 30 GWh/a nicht gleichzeitig, sondern über einen bestimmten Zeitraum erschlossen werden würde. Dadurch bestünde nicht unmittelbar ein Handlungsdruck im Zusammenhang mit einer ggf. nicht vollständigen Deckung der Wär-

menachfrage durch industrielle Abwärme, da zumindest in den ersten Phasen eines möglichen Aufbaus einer Fernwärmeversorgung in Landeck ausreichend industrielle Abwärmepotenziale verfügbar sein sollten.

4.2 Technisch-wirtschaftliche Aspekte

Aus energiewirtschaftlicher Sicht zeichnet sich ein zukunftsfähiges Fernwärmekonzept neben geringen Umwelteffekten vor allem auch durch eine kalkulierbare Kostenstruktur bei gleichzeitig hoher Versorgungssicherheit aus. Daher wäre eine Weiterverfolgung der Idee einer abwärmebasierten Fernwärmeversorgung in Landeck nur dann sinnvoll, wenn diese nicht nur aus klimapolitischer Sicht sondern auch aus technisch-wirtschaftlicher Sicht eine Alternative zur dezentralen Wärmeversorgung auf Basis fossiler bzw. langfristig erneuerbarer Energien darstellen kann. Im Folgenden werden daher die mögliche Anschlussdichte eines Fernwärmesystems in Landeck inkl. der Variante eines Mikronetzes in Bruggen, mögliche Synergiepotenziale mit der Ortswärme Zams sowie die Aspekte Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit beleuchtet.

4.2.1 Anschlussdichte Fernwärmenetz

Ein wichtiger Indikator zur Abschätzung, ob ein Fernwärmenetz wirtschaftlich sein kann, ist die sog. Anschlussdichte. Die Anschlussdichte ist das Verhältnis zwischen der jährlich abgesetzten Wärmemenge bzw. der Anschlussleistung aller Abnehmer und der gesamten Trassenlänge von Haupt-, Zweig- und Hausanschlussleitungen. Zur Minimierung der Trassenlänge ist dabei ein Fokus auf große Wärmeverbraucher (sog. Schlüssellkunden) und weniger auf Kleinverbraucher zielführend, wobei der Anschluss von Kleinverbrauchern in der Nähe oder entlang einer Trasse in der Regel keine negativen Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmesystems hat.

Grundsätzlich hängt die für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Fernwärmesystems erforderliche

Anschlussdichte sehr stark von den spezifischen Gegebenheiten vor Ort ab (bspw. Bodenbeschaffenheit, Hindernisse wie Verkehrswege und Gewässer, Naturschutz, etc.). Für eine Grobbeurteilung ohne genauere Kenntnis der spezifischen Randbedingungen vor Ort werden dabei Anschlussdichten für Wärmeversorgungsgebiete von zumindest 2 MWh/a pro Trassenmeter im Endausbau als Zielwert genannt [18]. Bei genauerer Kenntnis der Randbedingungen können diese Zielwerte für kostengünstige Trassen auch niedriger liegen (vgl. Tabelle 4.2).

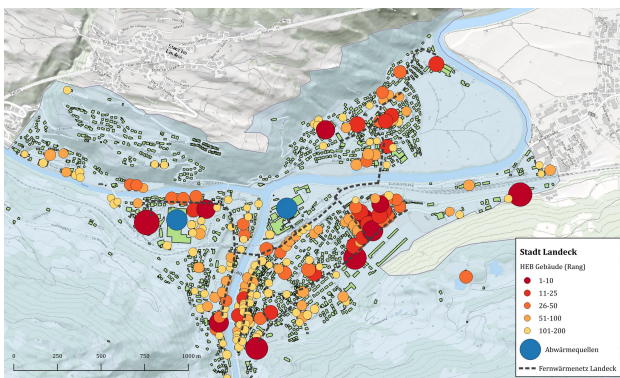
Tabelle 4.2: Empfohlene Anschlussdichten der Wärmeverteilung

	Anschlussdichte Wärmeverteilung	
	Günstige Bedingungen	Ungünstige Bedingungen
	[MWh/m]	[MWh/m]
Erste Ausbaustufe	> 0,7	> 1,4
Endausbau	> 1,2	> 2,0

Quelle: Energie Schweiz [18] nach C.A.R.M.E.N. e.V [19]

Da für Landeck keine weitergehenden Informationen über die für eine Fernwärmetrasse relevanten Randbedingungen vorliegen, wird zur Beurteilung der möglichen Anschlussdichte der empirische Zielwert von >2 MWh/m herangezogen. Eine Validierung dieses Zielwerts erfolgt über die ebenfalls empirische Faustformel, dass pro Kilometer Leitungslänge zumindest ein MW Anschlussleistung vorhanden sein sollte [15].

Abb. 4.6: Beispielhafte Trassenführung für ein Fernwärmenetz in der Stadt Landeck



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult

Wie sieht nun die mögliche Anschlussdichte für ein Fernwärmesystem in der Stadt Landeck aus, wenn als Basis für eine erste Planung der möglichen Leitungsführung die räumliche Verteilung der Gebäude mit dem höchsten Heizenergiebedarf herangezogen wird? Abb. 4.6 zeigt hierzu eine beispielhafte Trassenführung der Hauptleitungen zum Anschluss der Gebäude, die innerhalb der in Abschnitt 4.1 identifizierten Cluster mit hoher Wärmebedarfsdichte liegen (siehe auch Anhang A-5, Seite 41).

In Summe haben die Hauptleitungen eine Länge von rd. 6,4 km. Wird zusätzlich ein pauschaler (empirischer) Aufschlag für Zweig- und Hausanschlussleitungen von 50% unterstellt, ergibt sich eine gesamte Trassenlänge von 9,6 km. Für einen möglichen Wärmeabsatz von 30 GWh/a und einer möglichen Anschlussleistung von knapp 18 MW würde sich damit eine Anschlussdichte von 3,1 MWh/m bzw. 2,8 MW/km ergeben.

Tabelle 4.3: Anschlussdichte für Cluster mit hoher Wärmebedarfsdichte

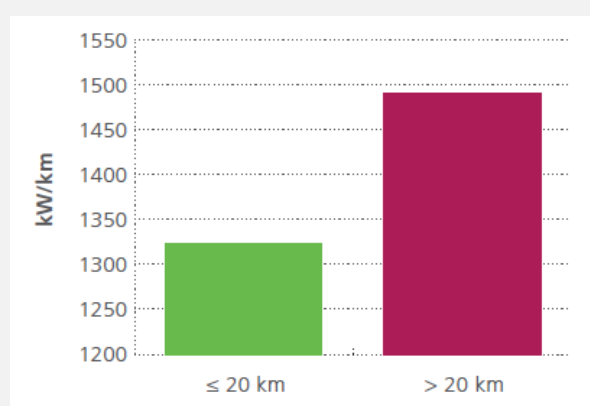
Cluster	Wärmeabsatz	Anschlussleistung	Trassenlänge Wärmenetz	Anschlussdichte	
	[GWh/a]	[MW]	[km]	[MWh/m]	[MW/km]
Öd	11,6	6,8	2,9	4,0	3,5
Perjen 1	5,1	3,0	1,8	2,8	2,5
Malserstraße	4,7	2,8	0,8	5,7	5,0
Bruggen	4,4	2,6	2,3	1,9	1,7
Innstraße	1,8	1,1	0,6	3,0	2,7
Schulhausplatz	1,8	1,0	0,8	2,3	2,1
Perjen 2	0,8	0,4	0,4	2,0	1,7
Gesamt	30,1	17,7	9,6	3,1	2,8

Quelle: Analyse e3 consult

Diese arbeitsbezogene Anschlussdichte würde dabei relativ deutlich über den empirischen Zielwerten für eine Grobbeurteilung der wirtschaftlichen Machbarkeit eines Fernwärmesystems von 2 MWh/a bzw. 1 MW/km liegen. In Abhängigkeit vom Wärmeabsatz und der benötigten Trassenlänge liegt die Anschlussdichte der einzelnen beispielhaft definier-

ten Wärme-Cluster zwischen 1,9 und 5,7 MWh/a. Tabelle 4.3 zeigt die Anschlussdichte auf Ebene der einzelnen Cluster. Während die Cluster Bruggen und Perjen 2 mit einer Anschlussdichte von knapp 2 MWh/m für sich betrachtet tendenziell ungünstigere Randbedingungen haben, zeigen die anderen Cluster mit möglichen Anschlussdichten von bis zu 5,7 MWh/m (Cluster Malserstraße) ein grundsätzlich vielversprechendes Potenzial zur Umsetzung eines Fernwärmesystems. Dieses Potenzial zeigt sich dabei auch im Vergleich mit bestehenden Fernwärmesystemen. In Abb. 4.7 sind hierzu die Ergebnisse des Fernwärme-Benchmarks 2017 von Rödl & Partner dargestellt, an dem sich ca. 12% der deutschen Fernwärmeversorger beteiligt haben [22].

Abb. 4.7: Anschlussdichte für Clustergruppen mit Netzlänge bis zu 20 km über 20 km“



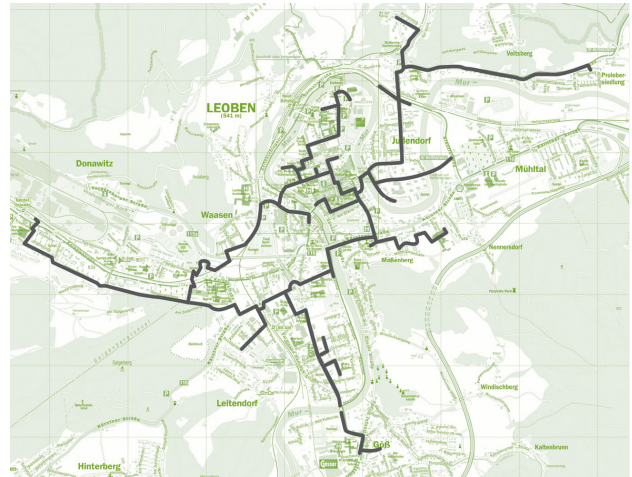
Quelle: Rödl & Partner [22]

Mit rd. 2.800 kW/km wäre die abgeschätzte leistungsbezogene Anschlussdichte in den sieben Clustern mehr als doppelt so hoch wie die relevante Vergleichsgruppe „Netzlänge bis zu 20 km“ des Fernwärme-Benchmarks mit 1.325 kW/km.

Ein mit den Randbedingungen in Landeck vergleichbares Projekt im Bereich der industriellen Abwärmenutzung stellt die „Stadtwärme Leoben“ zur Nutzung der Abwärme des Stahlwerks Donawitz der voestalpine dar. 2009 von den Stadtwerke Leoben gemeinsam mit der voestalpine begonnen, wurden bisher bereits 22 Trassenkilometer (vgl. Abb. 4.8) mit einer Anschlussleistung von fast

36 MW und einer Wärmeabgabe von 48 GWh/a verlegt [24]. Dies entspricht einer Anschlussdichte von aktuell 2,2 MWh/m bzw. 1,6 MW/km.

Abb. 4.8: Leitungsplan der Stadtwärme Leoben zur Nutzung industrieller Abwärme aus dem Stahlwerk Donawitz



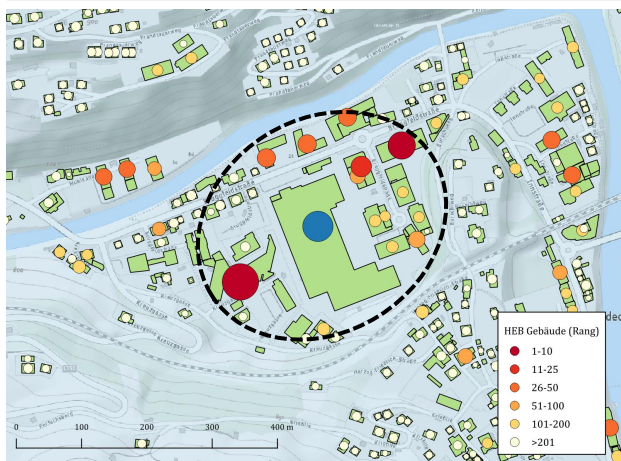
Quelle: Stadtwerke Leoben [24]

Insgesamt liegen die möglichen Anschlussdichten eines Fernwärmesystems in der Stadt Landeck damit nicht nur im Vergleich mit den empirischen Zielgrößen einer Grobplanung sondern auch im Benchmark mit bestehenden Fernwärmenetzen in einem attraktiven Bereich. Allerdings müsste zur Erreichung der Zielwerte von 2 MWh/m bzw. 1 MW/km zumindest die Hälfte der Gebäude mit hohem Wärmebedarf innerhalb der Cluster an ein Fernwärmesystem angeschlossen werden.

Die bisherigen Analysen haben gezeigt, dass der Ortsteil Bruggen auf Grund der notwendigen Trassenlänge trotz der größeren Wärmeverbraucher tendenziell ungünstig für den Anschluss an ein ortsteilübergreifendes Fernwärmesystem liegt. Gleichzeitig verfügt der Ortsteil jedoch mit der Spinnerei Landeck über ein „eigenes“ Abwärmepotenzial. Allerdings ist das Abwärmepotenzial der Spinnerei nur auf einem vergleichsweise niedrigen Temperaturniveau von etwa 30° C verfügbar, so dass sich die Nutzung über eine Hochtemperaturwärmepumpe in einem Fernwärmesystem mit Vorlauftemperaturen zwischen 80 und 90°C mit hoher Wahrscheinlichkeit

wirtschaftlich nicht darstellen lässt. Grundsätzlich besteht jedoch die Möglichkeit, das Abwärmepotenzial der Spinnerei über ein Mikronetz¹¹ zu erschließen, wenn dadurch niedrigere Vorlauftemperaturen und eine deutlich höhere Effizienz des notwendigen Wärmepumpenprozesses erreicht werden kann. Auf Grund der räumlichen Nähe zur Spinnerei Landeck würden sich hierzu bspw. die unmittelbar angrenzenden Gebäude der HAK bzw. Berufsschule, Teile des Gewerbegebiets Bruggen sowie einzelne Mehrfamilienhäuser der gemeinnützigen Wohnbauträger grundsätzlich eignen (Abb. 4.9).

Abb. 4.9: Ortsteil Bruggen mit Wärmeverbrauchern und Spinnerei Landeck als mögliche Abwärmequelle für ein Mikronetz



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult

Voraussetzung für ein Niedertemperatur-Mikronetz wäre jedoch, dass die Gebäude mit niedrigeren Vorlauftemperaturen versorgt werden können bzw. im Zuge einer umfassenden thermischen Sanierung der Gebäudehülle die Möglichkeit hierzu besteht.

Alternativ zu einem Niedertemperaturnetz wäre technisch auch ein sog. kaltes Nahwärmenetz möglich, bei dem nach dem Wärmetauscher das 30°C warme Wasser zu den Verbrauchern transportiert und dort dezentral über Wärmepumpen auf die gewünschte Temperatur gebracht wird. Dem Vorteil

geringerer Leistungsverluste steht dabei der Nachteil eines höheren technischen Aufwandes durch die Vielzahl einzelner dezentraler Wärmepumpen gegenüber. Ein kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Wärmepumpen wird derzeit bspw. in der deutschen Marktgemeinde Meitingen realisiert, wo zukünftig industrielle Abwärme der SGL Carbon GmbH auf einem Temperaturniveau von 31° C ausgekoppelt und zur Beheizung von Wohngebäuden verwendet wird [23].

4.2.2 Mögliche Synergiepotenziale mit Ortswärme Zams

Die Ortswärme Zams versorgt seit Ende 2009 über ein rd. 5 km langes Fernwärmenetz 25 Abnehmer mit Wärme (u. a. Krankenhaus Zams, Mutterhaus und alle öffentlichen Gebäude der Gemeinde Zams). Die Heizzentrale (Abb. 4.10) verfügt über zwei Biomassekessel mit 3,3 und 1,4 MW Wärmeleistung sowie einen Gaskessel für die Reserve- und Spitzenlastabdeckung. Bei einem Wärmeabsatz von etwa 8,0 GWh/a werden 15.000 Schüttraummeter Biomasse pro Jahr benötigt, die zur Gänze aus der umliegenden Region bezogen werden [25].

Abb. 4.10: Heizzentrale der Ortswärme Zams



Foto: Ortswärme Zams GmbH

Das Fernwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von 90°C führt vom Heizwerk im äußersten Osten von Zams bis ins Ortszentrum und von dort entlang der Hauptstraße nach Westen bis zur Fa. Grüner bzw. in östliche Richtung bis zur Fa. Luzian Bouvier

¹¹ Unter Mikronetz versteht man die Wärmeversorgung eines kleineren Gebietes (Dorf, Siedlung, Ortsteil, etc.) durch eine zentrale Heizungsanlage.

und weiter bis zur Neuen Mittelschule Zams-Schönwies.

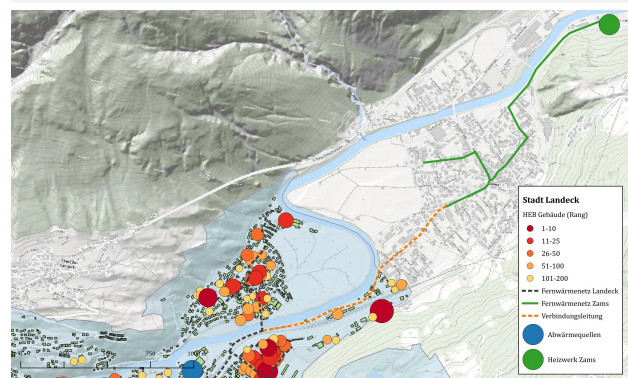
Grundsätzlich bestehen im Heizwerk der Ortswärme Zams noch freie Kapazitäten, da beide Biomassekessel gleichzeitig nur im Winter während etwa 2 bis 3 Monate in Betrieb sind und nur bei sehr niedrigen Außentemperaturen die maximal verfügbare Kesselleistung im Einsatz ist. Gleichzeitig werden während der Sommermonate nur etwa 10-15% der Wärmeleistung der Biomassekessel für die Versorgung der angeschlossenen Gebäude benötigt. Insofern stellt eine mögliche Verbindung des bestehenden Fernwärmenetzes in Zams mit einem Fernwärmenetz in Landeck eine denkbare Variante dar, um über einen Wärmeverbund wechselseitige Synergien heben zu können. Allerdings wäre eine solche Verbindungs- oder Transportleitung durch die Endstückdimension der bestehenden Fernwärmeleitung von DN 100 im Bereich der Fa. Grüner wärmeleistungsmäßig ca. auf 1,5 MW limitiert. Trotz dieser Restriktion könnten sich folgende Vorteile aus einem Wärmeverbund im Talkessel ergeben:

- Industrielle Abwärme könnte bspw. in den Monaten April bis September den Betrieb der Biomassekessel weitgehend ersetzen und in diesen Monaten ca. 2,5 GWh/a in Zams abdecken.
- Die zwischen April und September „eingesparte“ Biomasse könnte dazu genutzt werden, um ein Fernwärmesystem in Landeck während der Heizperiode nach Können und Vermögen zu unterstützen.
- Entlang der Verbindungsleitung zwischen den beiden Wärmenetzen könnten weitere Kunden angeschlossen und dadurch der Wärmeabsatz insgesamt gesteigert werden.
- Der Gleichzeitigkeitsfaktor der angeschlossenen Wärmeabnehmer wäre in einem Verbundnetz geringer als in zwei getrennten Netzen, d. h. es könnten bei gleicher Wärmeleistung auf der Erzeugungsseite mehr Abnehmer angeschlossen werden.

- In begrenztem Ausmaß könnte über die Verbindungsleitung eine gegenseitige Ausfallsicherung bereitgestellt und dadurch die Versorgungssicherheit erhöht werden.

Nachteilig wäre jedoch die vergleichsweise große Länge der Verbindungsleitung zwischen den beiden Wärmenetzen von knapp 2 km, die sich aus dem in Abb. 4.11 beispielhaft dargestellten Trassenverlauf ergibt (siehe auch Anhang A-6, Seite 42).

Abb. 4.11: Beispielhafte Verbindungsleitung zwischen bestehendem Fernwärmenetz Zams und möglichem Fernwärmenetz Landeck



Quelle: tiris, QGIS, Ortswärme Zams, Analyse e3 consult

In wie weit ein möglicher Wärmeverbund zwischen dem bestehenden Wärmenetz in Zams und einem möglichen Wärmenetz in Landeck wirtschaftlich sinnvoll wäre und aus operativer bzw. organisatorischer Sicht tatsächlich Vorteile bringen könnte, müsste daher im Rahmen einer weitergehenden Vorstudie in enger Kooperation mit der Ortswärme Zams bewertet werden.

4.2.3 Versorgungssicherheit

Unter Versorgungssicherheit kann im Kontext Wärmeversorgung eines Gebäudes grundsätzlich (a) die langfristige Verfügbarkeit des eingesetzten Energieträgers bzw. Abhängigkeit von politisch instabilen Lieferländern sowie (b) das systemtechnische Ausfallsrisiko der Wärmeversorgungsanlage verstanden werden. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern Erdgas und Heizöl besteht bei einer Nutzung industrieller Abwärme keine unmittelbare Abhängigkeit der Wärmeversorgung von politisch instabi-

len Lieferländern und damit kein entsprechendes Risiko in der Versorgungssicherheit. Allerdings erfordert die Abhängigkeit der Wärmelieferung von einem Produktionsbetrieb, der grundsätzlich einem Insolvenz- bzw. Betriebsschließungsrisiko unterliegt, eine sorgfältige Bewertung des Aspekts der langfristigen Versorgungssicherheit durch Berücksichtigung von Ausfallsszenarien. Dabei besteht neben dem Risiko eines dauerhaften Ausfalls auch das Risiko von Produktionsunterbrechungen durch bspw. Störungen oder Revision und damit einhergehend der Ausfall der Wärmebereitstellung. Diese Risiken müssten bei einer möglichen weitergehenden Bewertung eines Fernwärmesystems in Landeck vertiefend evaluiert und in einer umfassenden technischen und wirtschaftlichen Bewertung berücksichtigt werden. Grundsätzlich könnten dabei zur kurzfristigen Ausfallssicherung der Wärmelieferung aus den industriellen Abwärmequellen in Landeck bspw. die folgenden Möglichkeiten genutzt werden:

- Ein **Erdgaskessel** kann neben der Spitzenlastabdeckung auch als Reservekessel dienen. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht stellt diese Variante zwar eine attraktive und in vielen Fern- und Nahwärmenetzen genutzte Option dar, ist in letzter Konsequenz jedoch nicht konform mit den langfristigen Zielen von *Tirol energieautonom2050*.
- **Wärmespeicher** eignen sich zur Überbrückung kurzfristiger Ausfälle der Wärmelieferung sowie zur Abdeckung von Verbrauchsspitzen. Allerdings wäre das benötigte Volumen für eine hinreichende Ausfallsicherung relativ groß, so dass Wärmespeicher allenfalls eine Ergänzung für eine längerfristige Ausfallssicherung darstellen können.
- Elektrische Heizelemente (**Power-to-Heat, PtH**) könnten bei einer längeren Unterbrechung des Produktionsprozesses den von der Donau Chemie eigenerzeugten Strom aus dem Kraftwerk Wiesberg solange nutzen, bis aus dem Produktionsprozess wieder ausreichend Abwärme zur Verfü-

gung steht. Ergänzend könnte eine PtH-Anlage im Regelreservemarkt zur Bereitstellung negativer Regelleistung genutzt werden und dadurch zusätzliche Erlöse erwirtschaften.

- Über einen möglichen **Wärmeverbund mit der Ortswärme Zams** könnte eine eingeschränkte bzw. ergänzende Ausfallssicherung bereitgestellt werden. Da aus Sicht der Ortswärme Zams die Versorgung der eigenen Kunden Priorität besitzt und ein Wärmeaustausch durch die bestehenden Leistungsdimensionen im Wärmenetz der Ortswärme Zams limitiert wäre, könnte eine solche Ausfallsicherung jedoch nur in der Übergangszeit und den Sommermonaten die notwendige Versorgungssicherheit gewährleisten.

Die Ausfallrisiken industrieller Abwärmequellen stellen jedoch keine spezifischen Herausforderungen für ein mögliches abwärmebasiertes Fernwärmesystem in Landeck dar, sondern treffen grundsätzlich auf alle Fernwärmesysteme mit Nutzung industrieller Abwärme zu. Allerdings wäre die überwiegende Abhängigkeit eines Fernwärmesystems in Landeck von nur einem Wärmelieferanten (d. h. Donau Chemie Landeck) eine besondere Situation, die in einer umfassenden Machbarkeitsstudie eine weitergehende Bewertung erfordern würde, um ein langfristig robustes Fernwärmesystem aufbauen zu können. Insbesondere bei einem dauerhaften Ausfall der industriellen Abwärmebereitstellung müssten bereits vorab entsprechende Szenarien zur Erschließung alternativer Wärmequellen ausgearbeitet und bewertet werden. Hierbei wäre vor allem der Ersatz durch ein Biomasseheizwerk zu prüfen, da mit dem vorhandenen Bahnanschluss Zugang zu den nationalen und internationalen Biomassemärkten besteht sowie bei einer Schließung der Donau Chemie Landeck grundsätzlich ausreichend Platz für die Biomasselogistik und ein Biomasseheizwerk zur Verfügung stehen würde.

Unabhängig von betrieblichen Risiken, bestünden durch den möglichen Ausfall der industriellen Abwärmequelle(n) erhebliche finanzielle Risiken auf

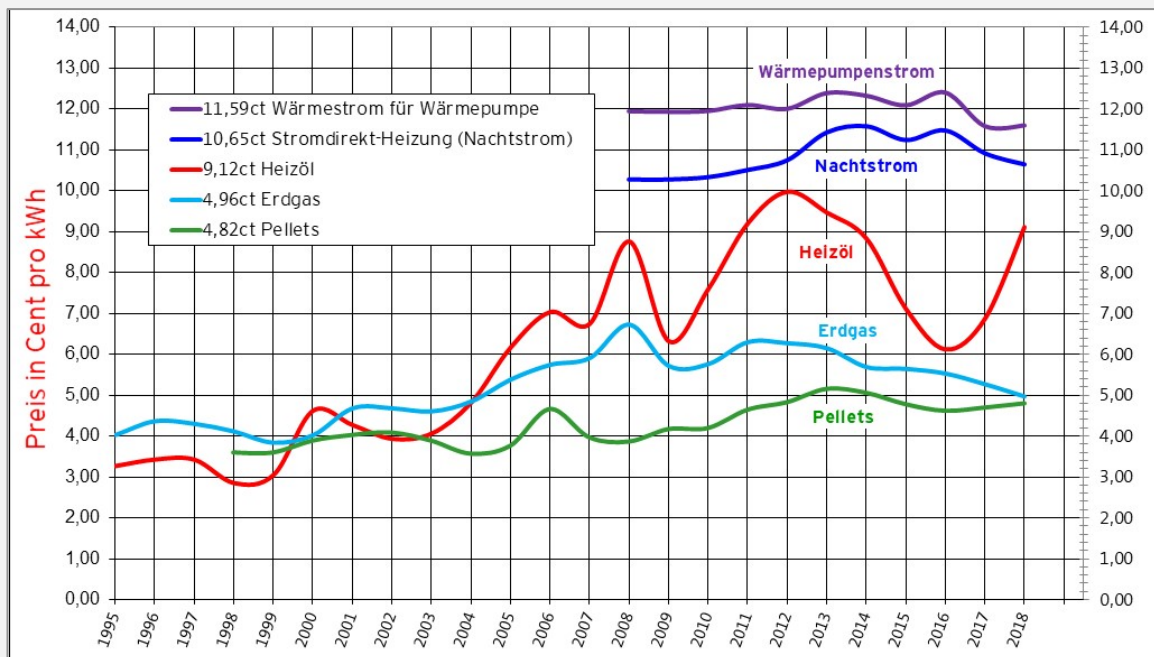
Grund der hohen Anfangsinvestitionen in ein Fernwärmesystem. Gerade dieser Aspekt würde daher eine sorgfältige Bewertung im Rahmen einer vertiefenden Machbarkeitsstudie für ein Fernwärmesystem in der Stadt Landeck unter Einbeziehung aller Beteiligten erfordern, um geeignete Instrumente zur Absicherung des finanziellen Risikos entwickeln zu können. Da diese Anforderung jedoch keine Landeck-spezifische, sondern eine grundsätzliche Herausforderung bei der Nutzung industrieller Abwärme darstellt, wäre hier vor allem auch die Politik auf Tiroler und österreichischer Ebene gefordert, den energiepolitischen Grundsatzbeschlüssen zur verstärkten Nutzung von Abwärmepotenzialen die entsprechende Unterstützung zur Umsetzung einzelner Projekte folgen zu lassen. Mögliche Ansätze zur Abfederung des erhöhten Risikos einer industriellen Abwärmenutzung wären z. B. die Haftungsübernahme durch die öffentliche Hand, der Aufbau eines Risikofonds für innovative Projekte oder auch die Vorab-Zusage einer erhöhten Förderungen für notwendige Ersatzinvestitionen bei einem dauerhaften Ausfall der industriellen Abwärmelieferungen.

4.2.4 Wirtschaftliche Randbedingungen

Eine wesentliche Voraussetzung für den möglichen Aufbau einer abwärmebasierten Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck stellen langfristig gegenüber einer konkurrierenden dezentralen Wärmeversorgung wettbewerbsfähige Wärmepreise dar. In mit den Gegebenheiten in Landeck vergleichbaren Fernwärmesystemen liegen dabei die Wärmepreise für Endkunden als Summe von Leistungs- und Arbeitspreis in einem Bereich zwischen etwa 70 und 90 €/MWh inkl. MwSt. – in Einzelfällen auch darunter – und damit in etwa auf dem Niveau einer gebäudespezifischen Wärmeerzeugung über bspw. Heizöl-, Erdgas- und Pelletskessel oder Wärmepumpen. Ein Vergleich der wirtschaftlichen Randbedingungen zwischen einer möglichen Fernwärmeversorgung und den dezentralen Varianten sollte jedoch nicht nur die heutige bzw. kurzfristig zu erwartende Kos-

tenstruktur der Wärmeerzeugung, sondern bspw. auch die Robustheit gegenüber mittel- und langfristigen Energiepreisschwankungen sowie die kostenoptimale Umsetzung energiepolitischer Vorgaben berücksichtigen – also die Ziele von *Tirol energieautonom2050* sowie der österreichischen Klima- und Energiestrategie *#mission2030*.

- **Robustheit gegenüber Energiepreisschwankungen:** Die Kosten der industriellen Abwärmenutzung sind an sich unabhängig von den Preisentwicklungen an den internationalen Energiemärkten, wodurch im Vergleich mit fossilen Energieträgern und eingeschränkt auch Holzpellets (vgl. Abb. 4.12) stabile Wärmegegestehungskosten möglich sind. Durch den fehlenden Wettbewerb innerhalb eines Fernwärmesystems müssen die Konditionen der Wärmelieferung von einer Abwärmequelle jedoch langfristig abgesichert werden, um diese Preisstabilität auch tatsächlich gewährleisten zu können.
- **Kostenoptimale Umsetzung energiepolitischer Vorgaben:** Aus volks- bzw. gesamtwirtschaftlicher Sicht kann der Aufbau eines Fernwärmesystems auch dann Vorteile liefern, wenn dies auf Ebene der einzelnen Gebäude nicht eindeutig der Fall wäre. Die Umsetzung der übergeordneten energiepolitischen Zielvorgaben in Bezug auf einen Ausstieg aus der fossilen Wärmeerzeugung wird vor allem in urbanen Siedlungsbereichen häufig nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand möglich sein, da in Bestandsgebäuden die Nachrüstung mit Wärmepumpen oder Biomassekesseln bspw. aus Platzgründen oder auf Grund der hohen Vorlauftemperaturen der Heizungsanlage zu hohen Investitions- und Betriebskosten führen würde. Allerdings müssen im Sinne der energiepolitischen Zielvorgaben auch solche Gebäude vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt werden, d. h. entweder würden die EigentümerInnen finanziell stark belastet oder es müssten entsprechende Förderprogramme mit hohen Zuschüssen aufgelegt werden.

Abb. 4.12: Preisentwicklung Heizöl, Erdgas, Pellets und Strom auf Haushaltsebene in Vorarlberg

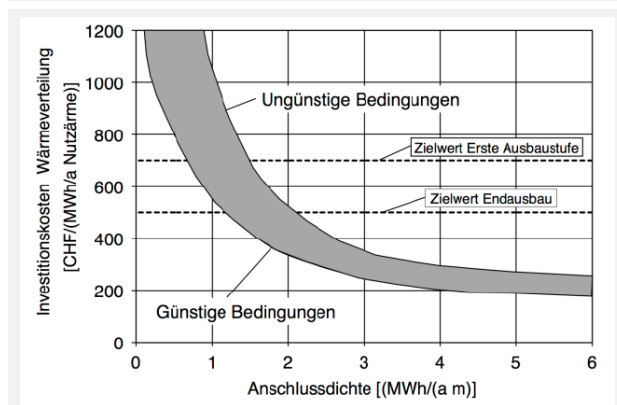
Quelle: Energieinstitut Vorarlberg [26]

Ein Fernwärmesystem kann aus Sicht eines gesamten Ortsteils oder einer Gemeinde jedoch wirtschaftliche Vorteile bei der Umsetzung der energiepolitischen Zielvorgaben liefern, weil dadurch auch jene Gebäude relativ kostengünstig auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung umgestellt werden können, die sich für eine dezentrale erneuerbare Wärmeversorgung an sich wenig bzw. gar nicht eignen. Zusätzlich können durch die Nutzung von industriellen Abwärmepotenzialen in einem Fernwärmesystem auch aus Sicht des gesamten Tioler Energiesystems Vorteile gegenüber einer dezentralen erneuerbaren Wärmeerzeugung entstehen, da die beschränkten Biomasseressourcen „geschont“ bzw. der zusätzliche Ausbaubedarf der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien für den Antrieb von Wärmepumpen verringert wird. Allerdings werden solche systemrelevanten Effekte eines abwärmebasierten Fernwärmesystems heute in der Regel ebenso wie gesamt- und/oder volkswirtschaftliche Effekte bei einer Investitionsentscheidung nicht berücksichtigt.

Eine Indikation der Wirtschaftlichkeit für ein mögliches abwärmebasiertes Fernwärmesystem in

der Stadt Landeck kann im Rahmen der vorliegenden Potenzialanalyse nicht durchgeführt werden, da hierzu u. a. in Bezug auf die technischen Anforderungen für eine Auskopplung der industriellen Abwärme die notwendigen Grundlagen noch fehlen. Als grober Orientierungswert kann jedoch davon ausgegangen werden, dass für ein Fernwärmesystem mit einer Trassenlänge von knapp 10 km und einem Wärmeabsatz von etwa 30 GWh/a die Investitionskosten ohne Berücksichtigung von Förderungen in etwa zwischen 20 und 25 Mio. € liegen dürften. Hiervon wird jeweils etwa die Hälfte für das Wärmenetz und die Heizzentrale mit Wärmeauskopplung erforderlich sein. Allerdings sind die Unsicherheiten bei dieser Abschätzung sowohl für den Kostenblock Heizzentrale als auch den Kostenblock Wärmenetz hoch, da die tatsächlichen Investitionskosten von einer Reihe noch zu erhebender Parameter bestimmt werden. Dies lässt sich bspw. anhand der Bandbreite der spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung erkennen, die in Abb. 4.13 in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen (u. a. Bodenbeschaffenheit) und der Anschlussdichte dargestellt sind.

Abb. 4.13: Exemplarische Bandbreite der spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung in Abhängigkeit von der Anschlussdichte



Quelle: Energie Schweiz [18] nach C.A.R.M.E.N. e.V [27] (Kosten für Fernleitungsgruppen in Wärmezentrale, Fernleitungsnetz bis Übergabestationen aber ohne Hauszentrale; 1 CHF = 0,88 Euro)

Mit einer möglichen Anschlussdichte von bis zu 3 MWh/m in den sieben identifizierten Clustern hoher Wärmenachfragedichte (vgl. Abschnitt 4.2.1) könnten demnach bei sehr günstigen Bedingungen die Investitionskosten bei etwa 7 Mio. € und damit nur etwa bei der Hälfte der Investitionskosten eines Fernwärmenetzes mit geringerer Anschlussdichte und ungünstigen Bedingungen liegen.

Trotz der an sich energiewirtschaftlich attraktiven Anschlussdichte eines möglichen Fernwärmesystems in Landeck, würde ohne Förderungen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden können. In Österreich gibt es dabei unterschiedliche Förderschienen sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene. So wird die Errichtung von Nah- und Fernwärmenetzen sowie Fernwärmespeichern nach dem Wärme- und Kälteleitungsausbaugesetz (WKLG) mit Investitionszuschüssen von bis zu 30% gefördert. Daneben werden über die Kommunalkredit Public Consulting Anlagen zur Auskopplung und Einspeisung von Abwärme aus Industrie- und Gewerbetrieben sowie die Wärmeverteilung zu den Abnehmern und die Nutzbarmachung der Abwärme durch Wärmepumpen gefördert. Die Förderhöhe beträgt in Abhängigkeit von der Art der Anlage auch hier bis zu 30 % der förderungsfähigen Investitionsmehrkosten, wobei keine Doppelförde-

rung durch das WKLG möglich ist. Zusätzlich werden von der Kommunalkredit Public Consulting auch Fernwärmeanschlüsse öffentlicher, gewerblicher und privater Gebäude über unterschiedliche Programme gefördert. Ergänzend fördert auch das Land Tirol den Anschluss an ein Nah- oder Fernwärmenetz im Zuge der Sanierungsförderung mit 30% der Investitionskosten. Insgesamt ließen sich damit durch die verschiedenen Förderungen die aufzubringenden Investitionsmittel für das beispielhaft betrachtete Fernwärmesystem in der Stadt Landeck mit 10 km Trassenlänge und 30 GWh/a Wärmeab-satz um etwa 30% auf 15 bis 20 Mio. € reduzieren.

Neben den Förderungen kann auch eine zusätzliche Wärmeabnahme außerhalb der Höchstlastzeiten die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmesystems positiv beeinflussen. Denkbar wären bspw. eine Stromerzeugung mit einer ORC-Anlage, Gewächshäuser in der Landwirtschaft oder ein mobiler Wärmetransport per Container zu Wärmeverbrauchern außerhalb des Wärmenetzes (vgl. Abb. 4.14).

Abb. 4.14: Beispiel für einen mobilen Wärmetransport im Container

Quelle: AVA Augsburg [28]

Unabhängig davon müssten in einer weitergehenden Machbarkeits- bzw. Vorstudie die wirtschaftlichen Randbedingungen für ein abwärmebasiertes Fernwärmesystem in Landeck detaillierter betrachtet und eine erste konkrete Abschätzung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden.

5 Fazit und mögliche weitere Vorgehensweise

Die Ergebnisse der vorliegenden Potenzialanalyse „Industrielle Abwärme für eine Fernwärmeversorgung in der Stadt Landeck“ zeigen, dass die Randbedingungen zum Aufbau eines Fernwärmesystems in Landeck grundsätzlich attraktiv sind und damit eine Weiterverfolgung der Projektidee zu empfehlen ist.

Auf Grund der insgesamt tendenziell einseitigen Ausrichtung der Wärmeerzeugung in Landeck auf fossile Energieträger kann ein Fernwärmesystem dabei unabhängig von der Nutzung industrieller Abwärme einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Stadt im Sinne der Tiroler, österreichischen und europäischen Klima- und Energieziele leisten. Da die Analysen aber gezeigt haben, dass die in der Stadt vorhandenen Abwärmequellen für eine energiewirtschaftliche Nutzung prinzipiell geeignet sind, sollte jedoch gerade diese Option als initiale Chance für die Entwicklung einer zukunftsfähigen Wärmeversorgung in der Stadt Landeck gesehen und aufgegriffen werden. Vor diesem Hintergrund könnten die folgenden Schritte einen möglichen Weg zur Weiterverfolgung der Projektidee darstellen:

- **Einbindung Stakeholder und Öffentlichkeit:** Die Projektidee sowie erste Ergebnisse der Potenzialstudie wurden am 13.11.2018 dem Landecker Stadtrat vorgestellt und beim Netzwerktreffen Energie am 21.11.2018 präsentiert. Es ist angedacht die Potenzialstudie über die Homepage der e3 consult öffentlich zugänglich zu machen und die Detailergebnisse den relevanten Stakeholdern (Gemeinde, potenzielle Abwärmelieferanten, Wärmenachfrager, Land Tirol, etc.) vorzustellen. Das grundsätzliche Interesse der Stakeholder zum Aufbau eines Fernwärmesystems in Landeck könnte ggf. auch im Rahmen eines Workshops mit Unterstützung durch Energie Tirol diskutiert werden. Eine breite Zustimmung

der Stakeholder ist dabei Voraussetzung für eine Weiterverfolgung der Projektidee.

Neben der umfassenden Einbindung relevanter Stakeholder kann die frühzeitige Einbindung der breiten Öffentlichkeit ein erfolgsentscheidendes Kriterium für die Weiterentwicklung der Projektidee darstellen. In welcher Form und zu welchem Zeitpunkt eine aktive Einbindung der Öffentlichkeit sinnvoll ist, wird dabei in den Gesprächen mit den Stakeholdern abgestimmt.

- **Technische Konzeptstudie zur Auskopplung der Abwärmepotenziale:** Die Abschätzung der Abwärmepotenziale sowie insbesondere der notwendige verfahrenstechnische Aufwand zur Auskopplung der Abwärme sollte im Rahmen einer technischen Studie validiert bzw. hierfür ein Konzept entwickelt werden (inkl. Kostenschätzung). Dies könnte bspw. in Kooperation mit einer Forschungseinrichtung (z. B. Montanuniversität Leoben, MCI, etc.) erfolgen. Die Verantwortlichkeit für eine solche technische Konzeptstudie würde sinnvollerweise bei dem potenziellen Abwärmelieferant liegen.
- **Entwicklung geeigneter Organisationsform und Betreibermodell:** Da in der Stadt Landeck kein Stadt- oder Gemeindewerk aktiv ist, das typischerweise erster Ansprechpartner für die Weiterverfolgung der Projektidee wäre, muss ein hauptverantwortlicher Projektentwickler gesucht und gefunden werden, der nicht nur die Koordination, sondern auch Finanzierung der notwendigen weiteren Schritte (u. a. Vorstudie) übernimmt. Daher werden parallel zu den inhaltlichen Gesprächen mit den relevanten Stakeholdern auch Gespräche zu möglichen Betreibermodellen geführt und in die Diskussionen eingebracht.

- **Sensibilisierung politischer Entscheidungsträger:** Sowohl auf Bundes- als auch Landesebene wird die Nutzung von Abwärme aus industriellen und gewerblichen Produktionsprozesse als ein wesentlicher Hebel zum Auf- und Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung in urbanen Siedlungsgebieten gesehen und daher durch entsprechende Förderprogramme unterstützt. Gleichzeitig ist die Nutzung industrieller Abwärmepotenziale aber durch besondere Herausforderung gekennzeichnet, die u. a. das Risiko eines dauerhaften Ausfalls der Abwärmequelle durch eine Betriebsschließung betreffen. Da Abwärmelieferanten häufig keine langfristigen Garantien für die Verfügbarmachung der Abwärme abgeben, könnte bspw. über eine (zumindest teilweise) Ausfallshaftungen durch Bund oder Land die Realisierung von Abwärmeprojekten erleichtern, wenn dadurch ein aus Betreibersicht akzeptables Projektrisiko erreicht werden kann. Insofern könnte in Bezug auf die Bewertung von Möglichkeiten zur Absicherung des Ausfallsrisikos neben einer Abstimmung mit Betreibern von bestehenden Fernwärmesystemen mit Abwärmennutzung eine grundsätzliche Sensibilisierung politischer Entscheidungsträger bspw. durch Ausarbeitung eines Positionspapiers erfolgen.
- **Von anderen Projekten lernen:** In Tirol und Österreich wurden und werden immer wieder Projekte zur Einbindung industrieller und gewerblicher Abwärmepotenziale in Fernwärmesystem umgesetzt. Aus diesen Projekten können daher ggf. wertvolle Erfahrungen gewonnen werden, die bei einer möglichen Weiterverfolgung der Projektidee in Landeck berücksichtigt werden können. Zusätzlich könnten mit ausgewählten Stakeholdern Exkursionen zu Best Practice-Beispielen durchgeführt werden, um einen Erfahrungsaustausch zu ermöglichen und ggf. bestehende Bedenken abzubauen.

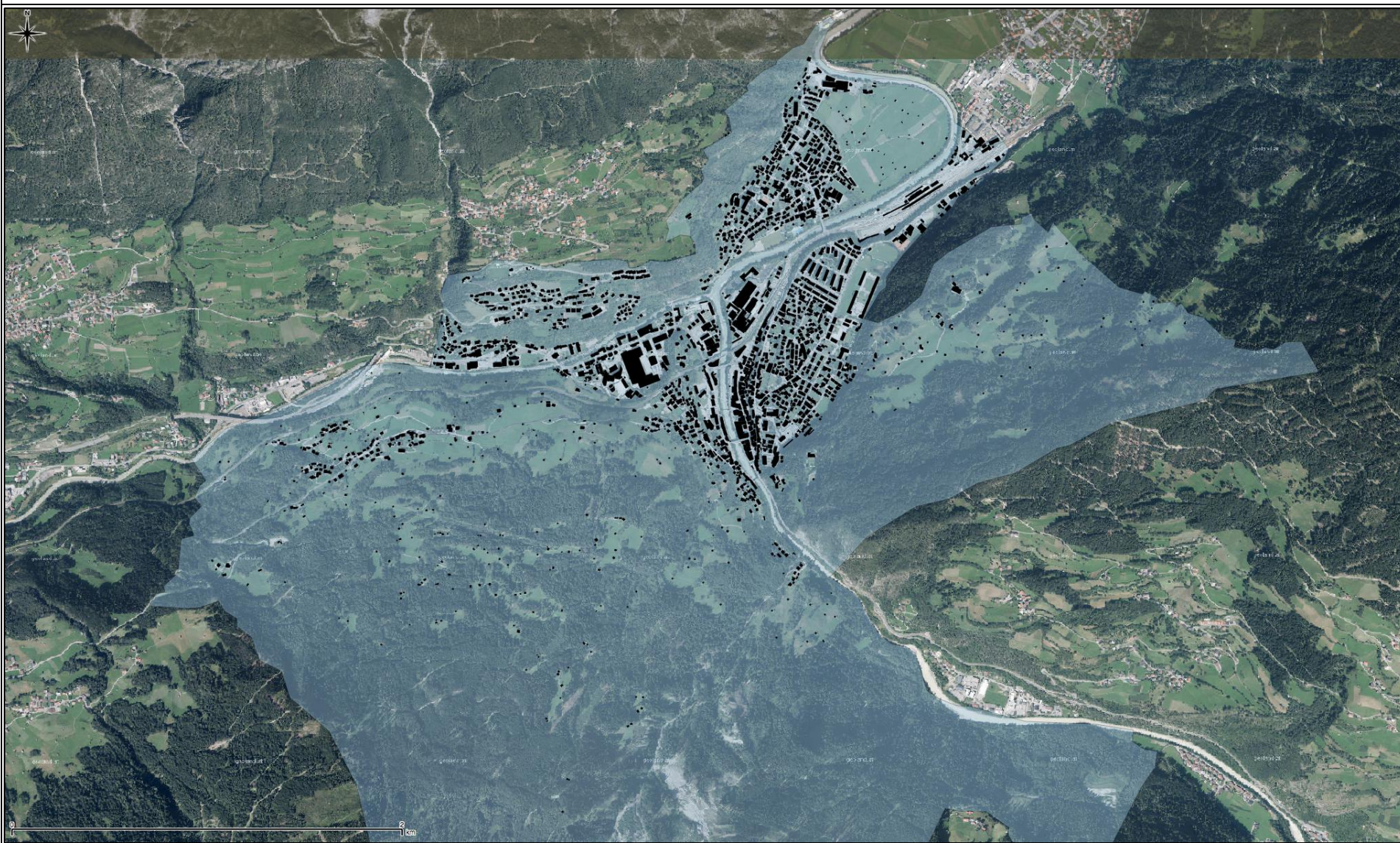
6 Literaturverzeichnis

- [1] Tiroler Landesregierung (2014): Regierungsbeschluss vom 03.06.2014 zur Energieautonomie bis 2050 (Tirol2050)
- [2] Regionalmanagement für den Bezirk Landeck (2009): Energieleitbild Bezirk Landeck 2008 – 2020.
- [3] Amt der Oö. Landesregierung (2008): Industrielle Abwärmenutzung - Beispiele und Technologien.
- [4] Österreichische Klima- und Energiestrategie #mission2030, www.mission2030.bmnt.gv.at.
- [5] Tiroler Landesregierung (2018): Regierungsprogramm für Tirol 2018 - 2023.
- [6] Büchele, R. et al (2015): Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und effizienter Fernwärme- und Fernkälteversorgung. Studie der TU Wien und ECOFYS im Auftrag des BMWFW.
- [7] Wasser Tirol (2017): Tiroler Energiemonitoring 2016. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung.
- [8] Donau Chemie AG (2014): Energierückgewinnung Werk Landeck: Rahmenbedingungen, Konzept und Verwertungsmöglichkeiten I (Dipl.-Ing. (FH) Marcel Amon, 23.4.2014).
- [9] meinbezirk.at (2015): Linz Textil investiert 12 Millionen Euro (Artikel und Fotos von Otmar Kolb; <https://www.meinbezirk.at/landeck/wirtschaft/linz-textil-investiert-12-millionen-euro-d1349067.html>).
- [10] Koç, E./ Kaplan, E. (2007): An Investigation on Energy Consumption in Yarn Production with Special Reference to Ring Spinning, in: FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 15, No. 4 (63), S. 18-25.
- [11] Pfeifer, D. (2017): Entwicklung, Untersuchung und Bewertung von Berechnungsmodellen zur Erstellung von kommunalen Energiebilanzen im Gebäudebereich. Dissertation eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Fakultät für technische Wissenschaften.
- [12] Bayer, G. et al (2011): Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden. Studie der ÖGUT im Auftrag des Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“.
- [13] Rosenkranz, J. et al (2011): Gesamtanalyse Energieeffizienz von Hallengebäuden. Studie des Instituts für Technische Gebäudeausrüstung Dresden.
- [14] Müller, A. et al (2017): Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher. Studie der TU Wien und e-think im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH.
- [15] Amt der Oö. Landesregierung (2008): Industrielle Abwärmenutzung - Beispiele und Technologien.
- [16] Hammer, A. et al. (2017): Temperaturflexibler Betrieb von Nahwärmenetzen. Beitrag zur 10. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien.
- [17] Hensel, P. (2013): Optimierung des Ausbaus von Nah- und Fernwärmenetzen unter Berücksichtigung eines bestehenden Gasnetzes. Dissertation an der Universität Paderborn.
- [18] Energie Schweiz, Bundesamt für Energie (2018): Planungshandbuch Fernwärme. Version 1.2 vom 26. September 2018.
- [19] QM Holzheizwerke: Planungshandbuch, Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 4, C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 2. Auflage 2008, ISBN 978-3-937441-94-8.
- [20] Winter, W. et al. (2001): Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen. Euroheat & Power, 09&10/2001.
- [21] Winter, W.; Obernberger, I. (2002): Netzberechnungsprogramm zur optimierten Dimensionierung und integrativen Berechnung von kleineren und mittleren unvermaschten Biomassenahwärmenetzen.
- [22] Rödl & Partner (2017): Bericht über ausgewählte Ergebnisse des Fernwärme-Benchmarks im Jahr 2017 und die aktuelle Situation am Fernwärmemarkt.
- [23] energynet.de (2018): Was bedeutet kalte Nahwärme? <https://www.energinet.de/2018/01/17/kalte-nahwaerme/> (aufgerufen am 11.11.2018).
- [24] Internetauftritt der Stadtwerke Leoben - Stadtwärme <https://www.stadtwerke-leoben.at/stadtwaerme-leoben.html> (aufgerufen am 09.11.2018).
- [25] Internetauftritt der Ortswärme Zams GmbH <https://www.ortswaerme-zams.at/> (aufgerufen am 12.9.2018).
- [26] Energieinstitut Vorarlberg: Energiepreise im Vergleich (<https://www.energieinstitut.at/buerger/haustechnik-energieversorgung/energiepreise-im-vergleich/>) (aufgerufen am 19.11.2018).
- [27] QM Holzheizwerke: Standard-Schaltungen Teil I, Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 2, C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 2. Auflage 2010, ISBN 978-3-937441-92-1.
- [28] AVA Augsburg: Mobiler Wärmetransport, <https://www.ava-augsburg.de/energie/mobiler-waermetransport/> aufgerufen am 20.11.2018)

Anhang: Detailkarten

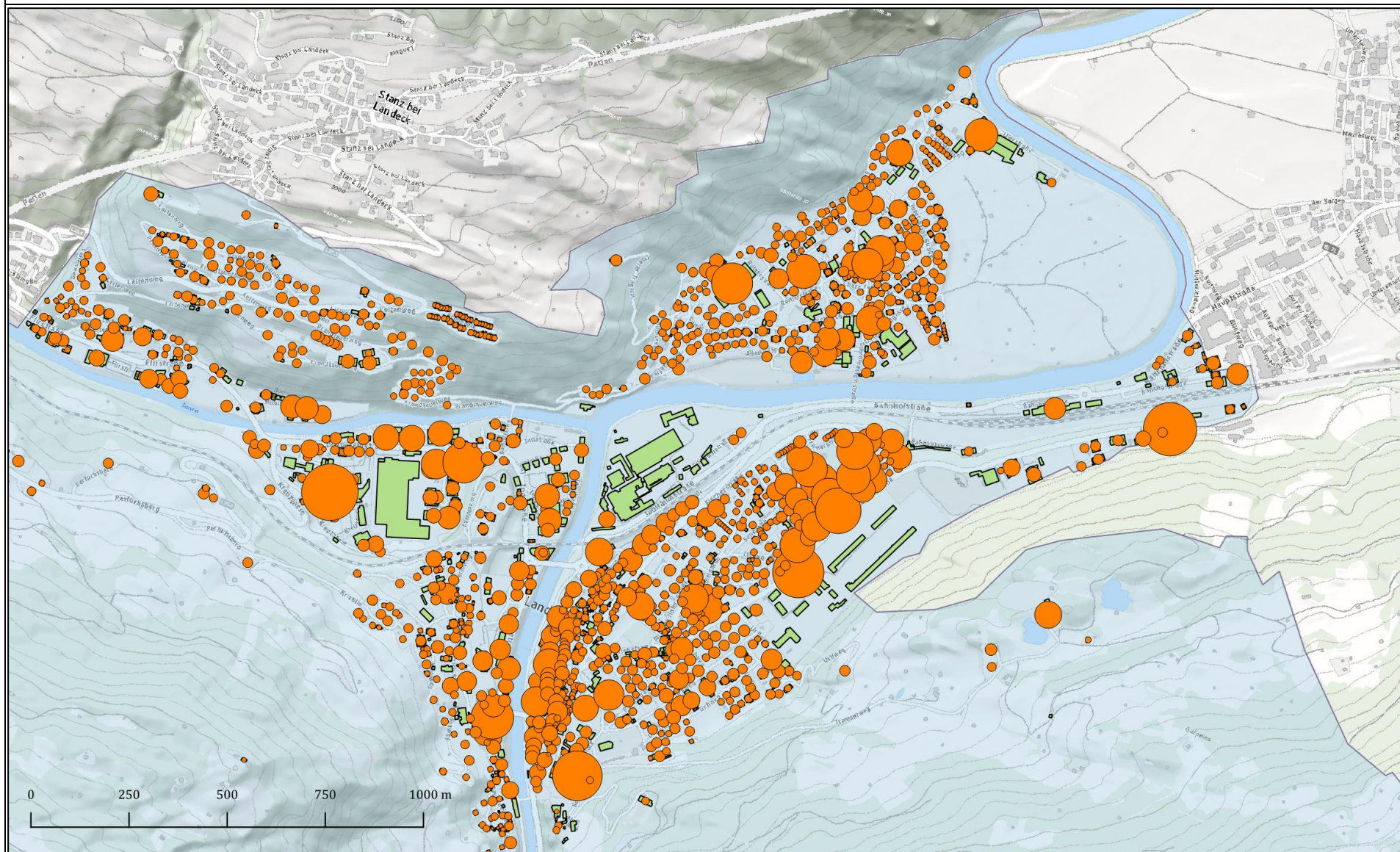
Anhang A-1: Gebäudebestand Stadt Landeck	37
Anhang A-2: Gebäude mit Heizenergiebedarf.....	38
Anhang A-3: Die 200 Gebäude mit dem höchsten Heizenergiebedarf („Top 200“)	39
Anhang A-4: Cluster mit potenziell hoher Wärmebedarfsdichte	40
Anhang A-5: Beispielhafte Trassenführung für ein Fernwärmenetz in der Stadt Landeck	41
Anhang A-6: Verbindungsleitung zwischen bestehendem Fernwärmenetz Zams und möglichem Fernwärmenetz Landeck.....	42

Anhang A-1: Gebäudebestand Stadt Landeck

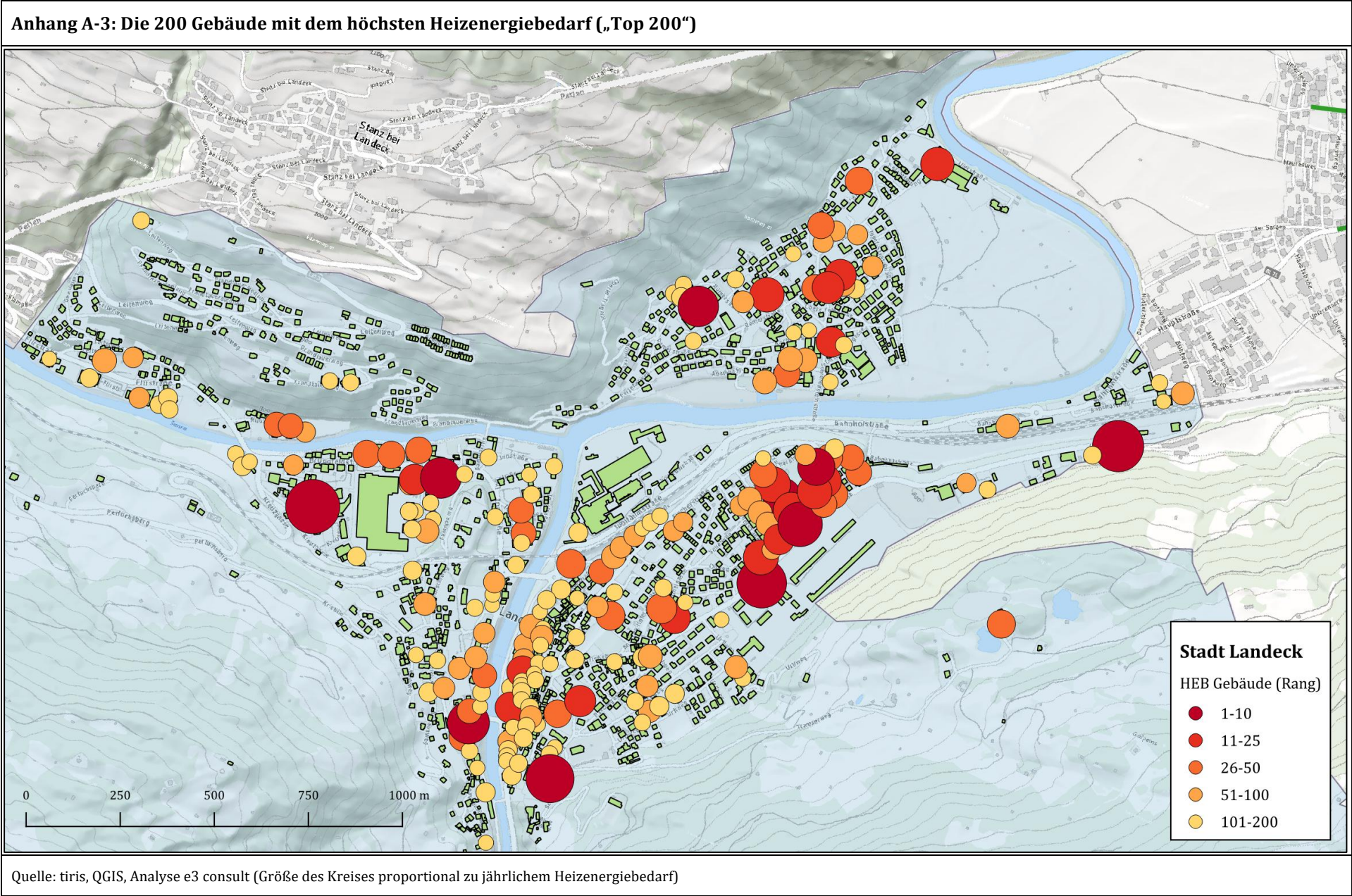


Quelle: tiris, QGIS

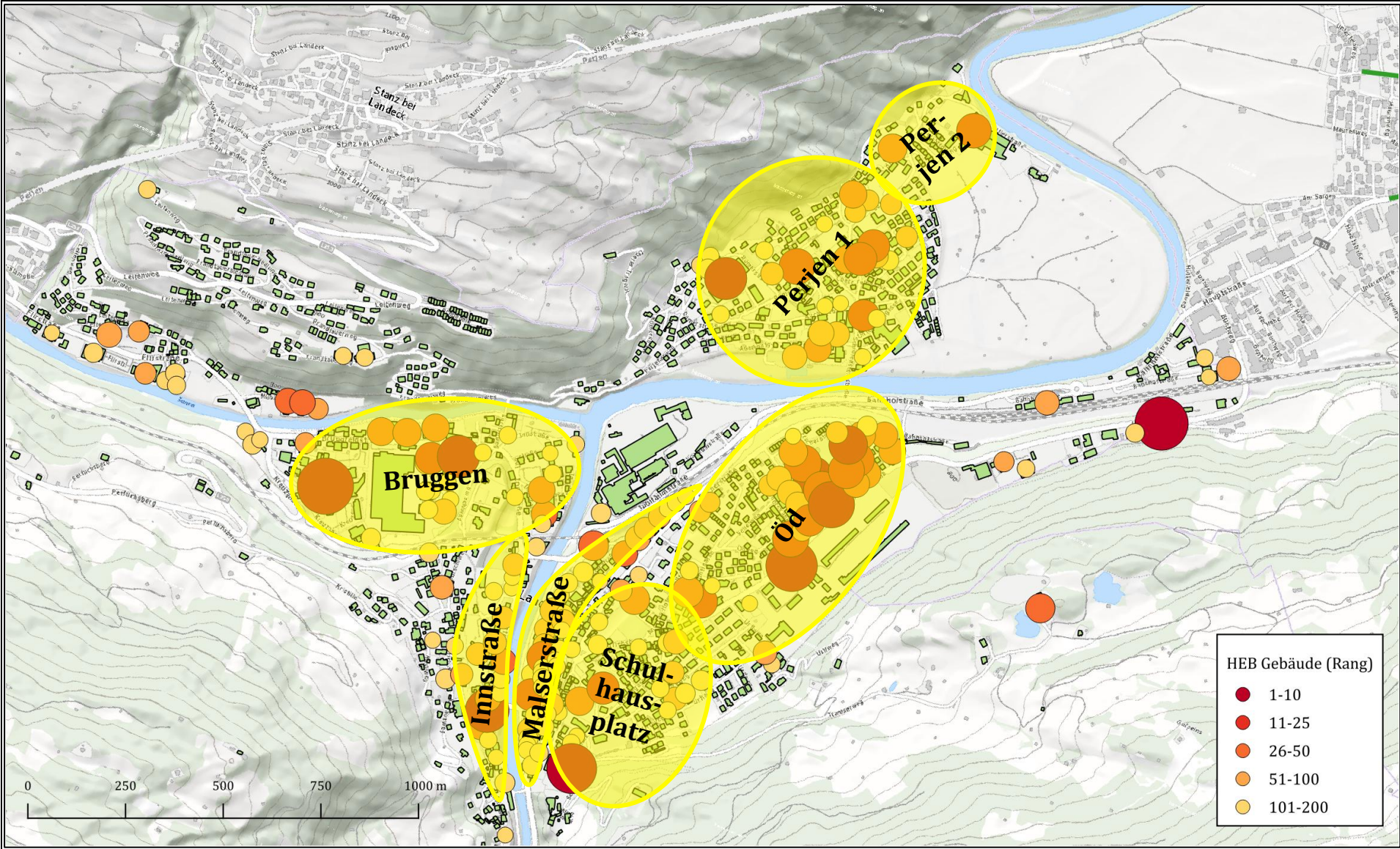
Anhang A-2: Gebäude mit Heizenergiebedarf



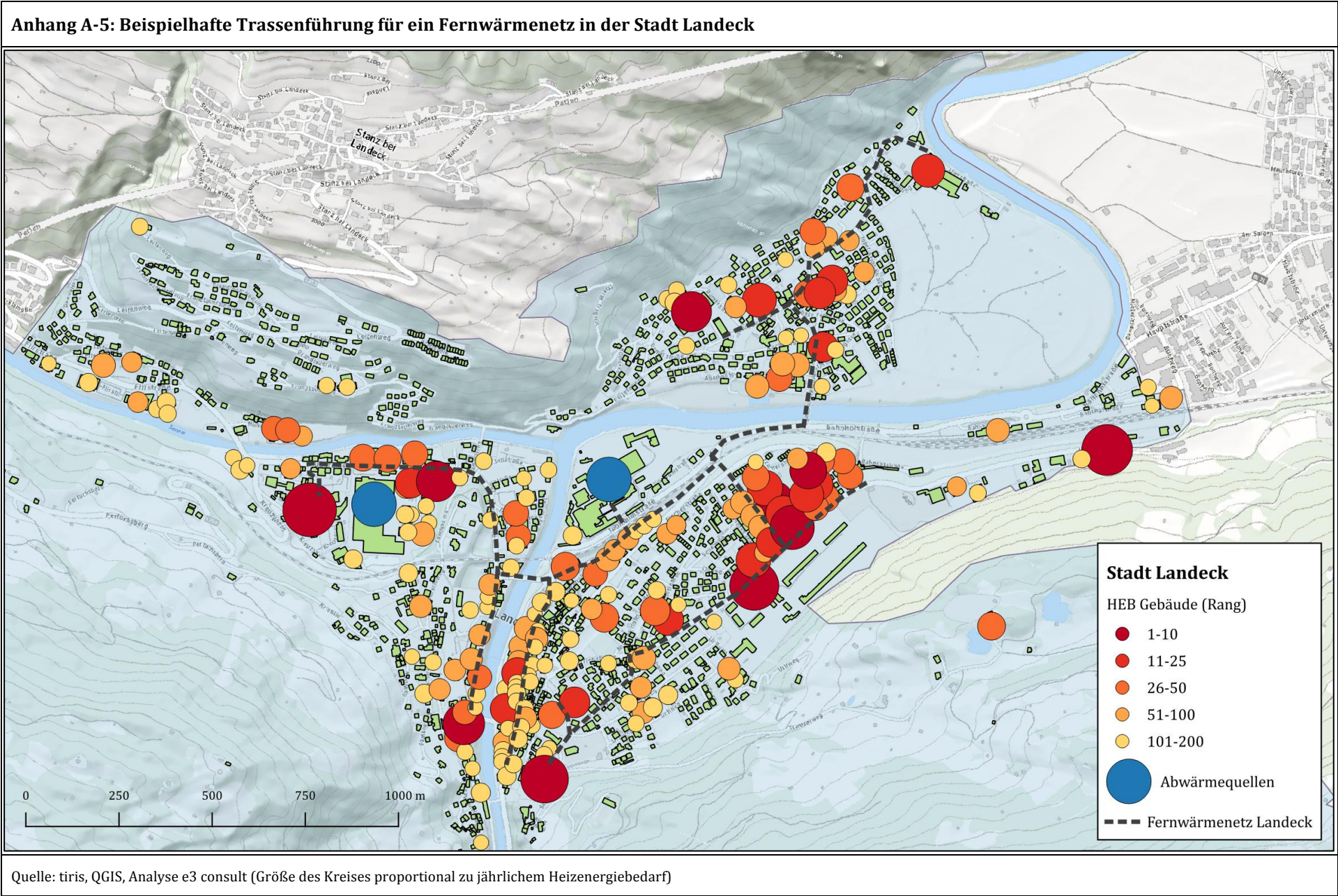
Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult (Größe des Kreises proportional zu jährlichem Heizenergiebedarf zwischen 0 und 1.150 MWh/a)



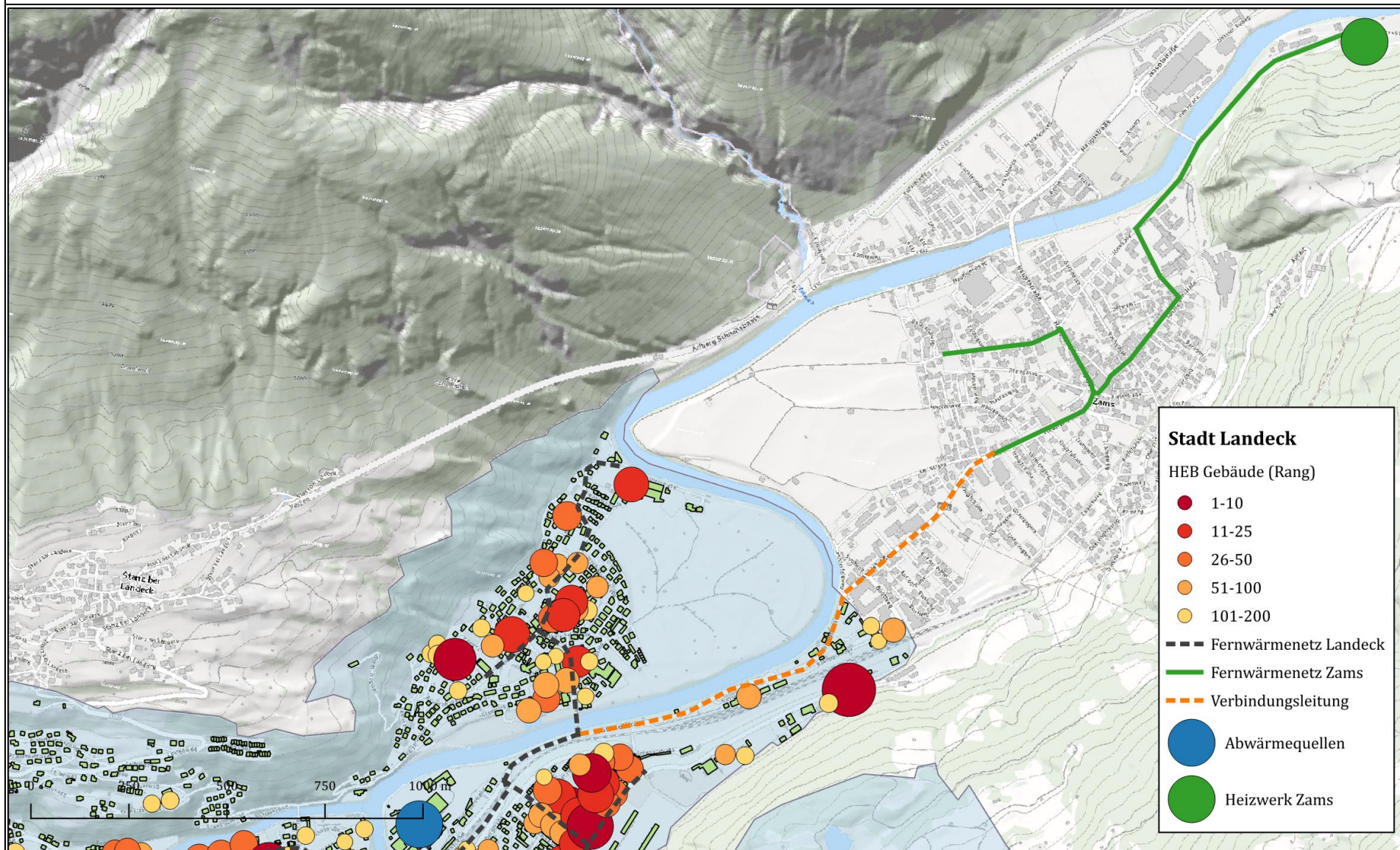
Anhang A-4: Cluster mit potenziell hoher Wärmebedarfsdichte



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult (Größe des Kreises proportional zu jährlichem Heizenergiebedarf)



Anhang A-6: Verbindungsleitung zwischen bestehendem Fernwärmenetz Zams und möglichem Fernwärmenetz Landeck



Quelle: tiris, QGIS, Analyse e3 consult (Größe des Kreises proportional zu jährlichem Heizenergiebedarf)