

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

31/01/2018

coldHEAT:

Integrative Analyse zur räumlichen und techno-
ökonomischen Bewertung von Konzepten
zu Kalter Fernwärme

Projektnummer:

853638

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	2. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/03/2016
Projektende	31/08/2017
Gesamtprojektdauer	18 Monate
ProjektnehmerIn	Institut für Wärmetechnik (TU Graz)
AnsprechpartnerIn	Richard HEIMRATH
Postadresse	Inffeldgasse 25b, 8010 Graz
Telefon	0316 873 7317
Fax	0316 873 7305
E-mail	heimrath@tugraz.at
Website	www.iwt.tugraz.at

coldHEAT:

Integrative Analyse zur räumlichen und techno-ökonomischen Bewertung von Konzepten zu Kalter Fernwärme

AutorInnen:

Richard HEIMRATH, Hermann SCHRANZHOFER, Peter J. NAGELER, Thomas MACH
(TU Graz - Institut für Wärmetechnik)

Friedrich LETTNER
(Ziviltechniker f. Energie- und Umwelttechnik – Dr. Friedrich Lettner)

Ingrid SCHARDINGER, Fabian LANGHAMMER, Markus BIBERACHER
(Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH - Research Studio iSPACE)



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Grundlagen und Methodik	8
2.1	Geoinformationssystem (GIS)	8
2.2	Thermische Gebäude- und Anlagensimulation	8
2.3	Netzsimulation	9
2.4	Wärmeversorgungskonzepte	18
2.5	Energetische Analyse	19
2.6	Exergetische Analyse	19
2.7	Ökonomische und ökologische Analyse	22
2.8	Langzeitwärmespeicher	25
3	Modellregion Klagenfurt / Harbach	27
3.1	Energetische und exergetische Analyse des sekundären Energiesystems	31
3.2	Konzept - Saisonspeicher für Abwärme	35
3.3	Räumliche Modellierung	40
3.4	Netztopologie	43
3.5	Energetische und ökologische Bewertung des Energiesystems	44
3.6	Sankey – Diagramme für Energie, CO ₂ -Äqu. und Exergie	59
3.7	Techno-ökonomische Bewertung des Energiesystems	71
3.8	Umsetzungsstrategie	73
4	Modellregion Weiz/Neustadt	76
4.1	Räumliche Modellierung	80
4.2	Netztopologie	90
4.3	Energetische und ökologische Bewertung des Energiesystems	91
4.4	Sankey – Diagramme für Energie, CO ₂ -Äqu. und Exergie	101
4.5	Techno-ökonomische Bewertung des Energiesystems	113
4.6	Umsetzungsstrategie	116
5	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	117
6	Literaturverzeichnis	121
7	Abkürzungsverzeichnis	124
8	Kontaktdaten	126

1 Einleitung

Städte und Energiesysteme entwickeln sich rasant. Um das urbane Wohnen und die Energieversorgung von morgen zu gestalten, müssen Energiesysteme ganzheitlich betrachtet und in einem langfristig angelegten und sektorenübergreifenden Transformationsprozess in ein zukunftsfähiges System überführt werden. Wesentlich hierfür ist es, dem Energiesektor in der räumlichen Entwicklung einer Stadt, einer Region, eines Quartiers einen adäquaten Stellenwert beizumessen. Konkret gilt es, räumliche Strukturen zu schaffen und zu fördern, die eine energiesparende, ressourcenschonende und ausfallsichere Energieversorgung ermöglichen. Hierfür ist es notwendig, die gängige Praxis heutiger Raum- und Stadtplanungsprozesse entsprechend anzupassen, einen rechtlichen und organisatorischen Rahmen zu schaffen, geeignete Planungstools bereitzustellen und Sondierungen unterschiedlichster Energiekonzepte durchzuführen.

Aufgabenstellung

Grundsätzlich soll mit Hilfe von Geoinformationssystemen (GIS) die Datengrundlage für die Analyse und die Modellierung aufbereitet und bereitgestellt werden. Dies umfasst die Realisierung einer räumlichen Analyse zur Abschätzung von Kälte- und Wärmebedarf auf Adressbasis für die betrachteten Modellregionen ebenso wie die Identifikation und Quantifizierung potenzieller Einspeisepunkte, sowie möglicher Netztopologien und Vorranggebiete für Kalte-Fernwärmenetze (K-FW-Netze). Es geht darum Optimierungsvorschläge für die vorhandene Topologie der Versorgungsnetze für bestehende Versorgungsaufgaben mithilfe graphentheoretischer Ansätze, räumlicher Indikatoren und Kostenparametern hinsichtlich der zukünftigen Nutzung (K-FW) zu unterbreiten. (Kapitel 4.1.3)

In einem weiteren Schritt, werden die modellbasierte Bewertung und der Vergleich ausgewählter Systemkonfigurationen und Entwicklungsszenarien der Kalten Fernwärme unter Berücksichtigung sich ändernder Rahmenbedingungen (Gebäudestruktur, Temperaturniveau, Klima, etc.) in den betrachteten Modellregionen bewerkstelligt. (Kapitel 4.1)

So soll die Erstellung einer energetischen und exergetischen Analyse der betrachteten Wärmeversorgungskonzepte für die betrachteten Modellregionen erfolgen. Als Ergänzung zur energetischen Analyse soll die Bewertung der ökologischen und ökonomischen Parameter der ausgewählten K-FW Konzepte gegenüber konkurrierenden Energieversorgungskonzepten in den beiden Modellregionen stattfinden. (Kapitel 3 und 4)

Die Identifikation und Bewertung von allgemeingültigen und standortspezifischen sozio-ökonomischen Aspekten der K-FW, insbesondere von möglichen Erfolgsfaktoren und Umsetzungshemmnissen bezüglich der Umsetzung von K-FW wird dargestellt. Des Weiteren erfolgt eine Benennung der erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse bezüglich der Umsetzung des K-FW Konzepts, hinsichtlich der Versorgung mit Wärme und Kälte, in den betrachteten Modellregionen, sowie die Erstellung von Umsetzungsstrategien, die als Basis für ein mögliches Umsetzungsprojekt dienen und Empfehlungen zur Planung des Konzepts liefern soll. (Kapitel 3.8 und 0)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Methode

Nach der Definition der zu untersuchenden Energiesysteme und Randbedingungen werden in einem ersten Schritt verfügbare Datenquellen ausfindig gemacht. Relevante Informationen zur Verortung und Charakterisierung bestehender Gebäude, Energieversorgungsnetze und Umwandlungsanlagen sowie lokal verfügbare Energiepotenziale (solare, biogene, geothermische Abwärme) werden in einer gemeinsamen Geodatenbank gespeichert.

Eine wichtige Rolle spielen dabei die Energieversorger, die Informationen zu Netzen, Erzeugungsanlagen und Verbrauchern beisteuern können sowie die Kommunen selbst mit Angaben zum Gebäudebestand und kommunaler Infrastruktur (z.B.: Wasser, Abwasser, kommunale Energienetze) sowie zu geplanten Arealentwicklungen und konkreten Bauvorhaben. Als weitere wichtige Datenquellen dienen Statistiken sowie frei nutzbare Geodaten, beispielsweise aus dem OpenStreetMap Projekt oder aus öffentlichen Geodatenportalen des Bundes und der Länder. Der Beschaffungsprozess gestaltet sich oft ressourcenintensiv, da aktuelle Geometrie-, Konstruktions- und Nutzungsdaten oft lückenhaft bzw. nicht erfasst sind, oder aus Gründen des Datenschutzes oder unternehmerischer Geheimhaltung nicht verwendet werden dürfen. Daher wurde hier mit einer Methode gearbeitet, die auf der Grundlage öffentlich zugänglicher Daten, statistischer Zusammenhänge und fallspezifischer Daten, die Eingabedaten generiert. Entsprechende Schnittstellen zu Geoinformationssystemen und einschlägigen Datenbanken ermöglichen die teilautomatisierte räumliche Modellierung und Simulation urbaner Bebauungen bzw. technischer Infrastruktur.

So wurden auf Grundlage dieser Daten eine detaillierte Geodatenbasis der energetisch relevanten Infrastruktur sowie der lokalen Energiepotenziale erstellt. Bis auf Gebäudeebene aufgelöst sind darin u.a. dargestellt: Baujahr, Bruttogeschossfläche, Sanierungsstand, Heizenergiebedarf, Heizenergiequelle, Nutzungsart, Eignung des Daches für Solarenergie (thermisch oder photovoltaisch), Verfügbarkeit von Wärmequellen für Wärmepumpen (Abwärme, Grundwasser, Abwasser und Tiefenbohrungen) und die Lage in Bezug auf Wärme- und Gasnetz (Kapitel 3.1 und 4.1).

Räumliche Modellierung & technische Gebäude- und Anlagensimulation

Modernen Geoinformationssystemen (GIS) kommt bei der räumlichen Energieplanung in Städten eine zunehmend wichtige Rolle zu. Neben der im Allgemeinen intuitiv verbesserten Verständlichkeit von Karten gegenüber technischen Plänen oder Schemata verfügt das GIS heute über Funktionalitäten, die die Organisation großer (raumbezogener) Datenmengen ermöglichen sowie umfassende räumlich-statistische Analysemöglichkeiten bieten (Kapitel 3.1 und 4.1). Im Projekt coldHEAT werden die Möglichkeiten und Vorteile von GIS genutzt um räumlich differenzierte Erkenntnisse zu lokalen Energiebedarfen und Energiepotenzialen zu generieren und anschaulich in Form von digitalen Karten darzustellen. Für detailliertere Planungen auf Ebene von Gebäuden oder Arealen werden die räumlichen Modelle in weiterer Folge mit physikalischen Modellen zur dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation sowie zur thermischen Netzsimulation gekoppelt (Kapitel 3 und 4).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Als Ergebnis der dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation und der thermischen Netzsimulation stehen alle relevanten Energie- und Massenströme in der gesamten Energiebereitstellungskette als Zeitreihen und räumlich aufgelöst zur Verfügung. Die zeitliche Auflösung richtet sich nach dem Anwendungsfall und liegt in der Regel zwischen einer Minute und einer Stunde. Die detaillierten Ergebnisse werden in einer Projektdatenbank abgelegt und zeitlich und räumlich aggregiert in der Form von Diagrammen, Tabellen oder Karten dargestellt (Kapitel 3.1 ff und 4.3 ff).

Eine weitere wichtige Funktionalität besteht darin, nicht nur den Bestand zu erheben und im Detail zu analysieren, sondern auch die Auswirkungen zukünftiger Planungen (Neubau, Sanierungsszenarien, Umwidmungen, Umstellung der Energieversorgung) zu untersuchen und zu interpretieren. Hierzu wurde an einem Workflow gearbeitet der es ermöglicht, unterschiedliche Stadtentwicklungsszenarien im räumlichen Modell zu definieren, die im Anschluss wiederum dynamisch mittels IDA ICE für den gesamten Stadtteil/Quartier simuliert werden. Auf diesem Weg wird untersucht, wie sich geplante Sanierungen von Gebäuden und Heizungssystemen sowie Nutzungsänderungen und Neubauten auf die Energieversorgung und die CO₂-Bilanz auswirken (Kapitel 2.2).

Analyse & Interpretation

Die übersichtliche und klare Kommunikation der Simulationsergebnisse ist für Investoren, Stadtplaner und Energieversorger eine wichtige Entscheidungs- und Planungsgrundlage. Neben den zeitlich hochaufgelösten Ergebnissen aus den technischen Simulationen spielen insbesondere die räumliche Analyse und Darstellung von lokalen Energiebedarfen, erneuerbaren Potenzialen und die daraus abgeleiteten Eignungs- und Vorranggebiete eine Rolle. Geoinformationssysteme (QGIS, ArcGIS) ermöglichen es in diesem Zusammenhang Geodaten zentral in Datenbanksystemen zu verwalten, räumliche Abhängigkeiten zu erkennen und zu analysieren und nicht zuletzt die Ergebnisse übersichtlich in Form von Karten (z.B.: Energiedichtekarten bzw. Heatmaps oder 3D-Visualisierungen) zur weiteren Bearbeitung bereit zu stellen (Kapitel 3 und 4). Schon durch die räumliche Darstellung und Verschneidung der Daten lassen sich interessante Schlüsse ziehen, die für Sanierungspläne oder für die langfristige Stadtplanung herangezogen werden können.

Ausblick

Die Ergebnisse der räumlichen Bestandsanalyse sowie die Erkenntnisse aus den Entwicklungsszenarien sollen Bestandteil energieraumplanerischer Vorgaben in den Entwicklungskonzepten der Städte Klagenfurt und Weiz werden und in konkrete Umsetzungsfahrpläne münden. Der hierfür erforderliche organisatorische Rahmen, geeignete Strukturen für Entscheidungsfindungsprozesse und nicht zuletzt die Fragestellung nach der Finanzierung wird von den lokalen Akteuren der Stadt vorangetrieben. Zielsetzung von avisierten Folgeprojekten ist es, relevante Aspekte räumlicher Energieplanung in die rechtlich verbindlichen Instrumente der örtlichen Raum- und Städteplanung konkret zu verankern. Parallel sollen Standards für die Erstellung von GIS-basierten Wärme- und Potenzialkarten definiert werden, die in Zukunft an eine öffentliche Geodateninfrastruktur und an geeigneter Verwaltungsebene (Stadt, Land, Bund) andocken.

2 Grundlagen und Methodik

2.1 Geoinformationssystem (GIS)

Ein Geoinformationssystem (GIS) dient dazu Daten über ihren Raumbezug zu verwalten und über den Raumbezug Analysen, basierend auf diesen Daten durchzuführen. Der räumliche Bezug ist häufig ein wesentlicher Schlüssel in der Interpretation und intelligenten Verarbeitung von Daten. Als Beispiel kann dies der Ort der Energiegewinnung (z.B.: eine thermische Solaranlage), ein Ort des Energieverbrauchs (z.B.: Supermarkt) oder auch ein dynamisch sich ändernder Ort (z.B.: ein Bus) sein. Ein GIS ist in der Lage Daten über den Ortsbezug in Relation zu setzen. Durch die Kombination von geeigneter Hard- und Software können Daten erfasst, verarbeitet, analysiert und dargestellt werden, um eine neue, erweiterte Informationsebene zu entwickeln.

Durch die Verschneidung von unterschiedlichen Datenquellen wie Open Street Map, Energiekataster-Weiz, Kataster-Weiz und AGWR Daten konnte somit im gegenständlichen Projekt für jedes Gebäude Raumwärme, Warmwasser und Kältebedarf in Abhängigkeit der angenommenen Nutzung abgeschätzt werden. Fragmentarische Datengrundlagen wurden hierbei über die Anwendung räumlicher Analysemethoden kompensiert. Neben der Ausweisung von Bedarfsabschätzungen stützt sich auch die Analyse zu nutzbaren Potenzialen wie Solarthermie oder Erdwärme auf Methoden der Geoinformatik. Die Zusammenführung der Ergebnisse über den Raumbezug resultiert in der Ausweisung von Vorranggebieten für die Kalte Fernwärme als Option verwirklicht werden kann.

2.2 Thermische Gebäude- und Anlagensimulation

Die thermische Gebäude- und Anlagensimulation ermöglicht es, das dynamische Zusammenspiel von Gebäudehülle, Gebäudetechnik und Gebäudenutzung abzubilden und unterstützt damit die Entwicklung von innovativen Architektur-, Gebäude-, Städtebau- und Raumkonzepten. Die thermische Simulation wird direkt an der Schnittstelle zwischen einzelnen Planungsdisziplinen (Raumplanung, Städtebau, Architektur, Heizungs- und Klimatechnik, Beleuchtung, Bauphysik, ...) eingesetzt und ist somit ein optimales Werkzeug um bei integralen Planungsansätzen die Kooperation zwischen den beteiligten Fachplanern zu unterstützen. Für die Berechnungen im Projekt coldHEAT wird neben dem Simulationswerkzeug IDA ICE (EQUA, 2017) auch noch TRNSYS (Solar Energy Laboratory, 2017) verwendet.

Im Detail kann somit für jedes einzelne Gebäude, durch die thermische Gebäudesimulation der Heiz- und Kühlbetrieb des Gebäudes vorweggenommen werden. Hierbei werden alle dynamische Faktoren des Gebäudebetriebs (u.a. Wetterbedingungen, Raumnutzung, Bauteilspeicherung, Regelung) berücksichtigt. Die üblichen Standardverfahren zur Auslegung von Heiz- und Kühlanlagen sind nicht in der Lage diese dynamischen Prozesse ausreichend abzubilden. Ihre Anwendung liefert Konzepte für eine deutliche Kosteneinsparungen und Effizienzsteigerungen bei der Anlagentechnik.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die thermische Gebäudesimulation kann sowohl die kompletten Gebäude als auch die Umgebungsbebauung dreidimensional abbilden. So ist es möglich die solare Einstrahlung auf die Gebäudefassaden sowie die solare Strahlungsverteilung in die einzelnen Räume des Gebäudes realitätsnah zu erfassen. Die genaue Abbildung der Solarstrahlungstransmission und des Raumkomforts spielt vor allem bei großen Räumen mit hohem Verglasungsanteil der Fassade eine wichtige Rolle und führt dort zu Ergebnissen, die helfen den technischen Aufwand für die Kühlung zu reduzieren. Durch die Kopplung der Gebäudesimulation mit der Anlagensimulation wird das Zusammenspiel des Gebäudekörpers, der Gebäudenutzung und der technischen Anlagen zugleich berücksichtigt. Diese Kopplung kommt dem realen Gebäudebetrieb sehr nahe. Im Stadium der Gebäudeplanung wird es so möglich, die Betriebs- und Investitionskosten der Anlagentechnik zu berechnen und durch geeignete Optimierungen zu reduzieren sowie ein raumklimatisch angenehmes und nachhaltiges Gebäude zu schaffen. Weitere Informationen zur verwendeten Methodik ist der Literatur (Nageler, et al., 2017) (Nageler, et al., 2017a) (Nageler, et al., 2017b) zu entnehmen.

2.3 Netzsimulation

Zur Untersuchung der Auswirkungen und Effekte eines coldHEAT Versorgungsnetzbetriebes werden die entsprechenden Berechnungsfälle mit Hilfe von selbst entwickelten Programmen zur Dimensionierung und Optimierung (Leistungsreservendetektion) von Wärmenetzen (Lettner, 2017) analysiert. Die Software ist in der Lage folgende technische Rahmenbedingungen für lagerichtig (x/y/z) abgebildete Netze zu berücksichtigen:

1. Berechnung des Druckverlustes der Rohrstrecken inkl. Einzelwiderständen und Übergabestationen
2. Druckabgleich am Netz über jeden Zeitschritt (Druckverlust am Primärkombiventil zum hydraulischen Abgleich jedes Abnehmers)
3. Berechnung und Berücksichtigung von Wärmeverlusten aller Teilstrecken in Abhängigkeit von Temperaturniveau, Erdreichtemperatur, Teillastbeaufschlagung, Rohr- und Dämmungstyp
4. Berücksichtigung einer Reihe unterschiedlicher, klassischer FW-Rohrhersteller und Verlegevarianten; zusätzlich für coldHEAT: Untersuchungen div. ungedämmter Rohrklassen und Kunststoffrohre
5. Berücksichtigung des maximal zulässigen und minimal erforderlichen Systemdruckes in jedem Lagepunkt (z.B. gegen Ausdampfen)
6. Ausgiebige Analysefunktionen und grafische Darstellung der Ergebnisse

Die Grundlagen für die Berechnungen kommen in diesem Projekt vom IWT bzw. teilweise von iSPACE. IWT liefert lagebezogene Lastpunkte im Stundenintervall, welche seitens ZTL für die Input-Schnittstelle aufbereitet wurden, sodass eine Reihe von unterschiedlichen technischen Konstellationen auf ihre Auswirkungen untersucht werden konnten.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Für das Netz in Weiz wurden zusätzlich Koordinatendaten aus dem GIS mit dem DHFOS-Tool (Lettner, 2018) verschnitten, um lagerichtige Lastsenkenpunkte generieren zu können. Hinsichtlich der „klassischen, planerischen“ Auslegung derartiger Netze musste aus den vorhandenen Datensätzen ein Norm-Auslegungsfall generiert werden, um die Netzsimulationen mit einer Auslegungszustand-Dimensionierung durchführen zu können. Dazu wurden aus relevanten Objekt-Stundenwerten der Lastfiles Tagesmittelwerte generiert, welche in Anlehnung an die Definition der Norm-Außentemperatur (gemäß ÖNORM B8110-5 (Austrian Standards Institute, 2011)) auf den relevanten Standortwert extrapoliert wurden.

Auf eine detailliertere Bearbeitung dieses Punktes wurde verzichtet, da einerseits geringere Heizleistungsbedarfsgradienten aufgrund geringerer Trübung der Atmosphäre bei sehr tiefen Außentemperaturen eine etwas geringeren Leistungsbedarf ergeben würden (und dies in planerischer Sicherheit resultiert), andererseits lagen für die Objekte keine Heizlastberechnungen vor, wodurch eine derartige Annahme aus technischer Sicht angemessen scheint. In der Abbildung 1 wird die Methode zur Bestimmung eines Norm-Auslegungszustandes verdeutlicht.

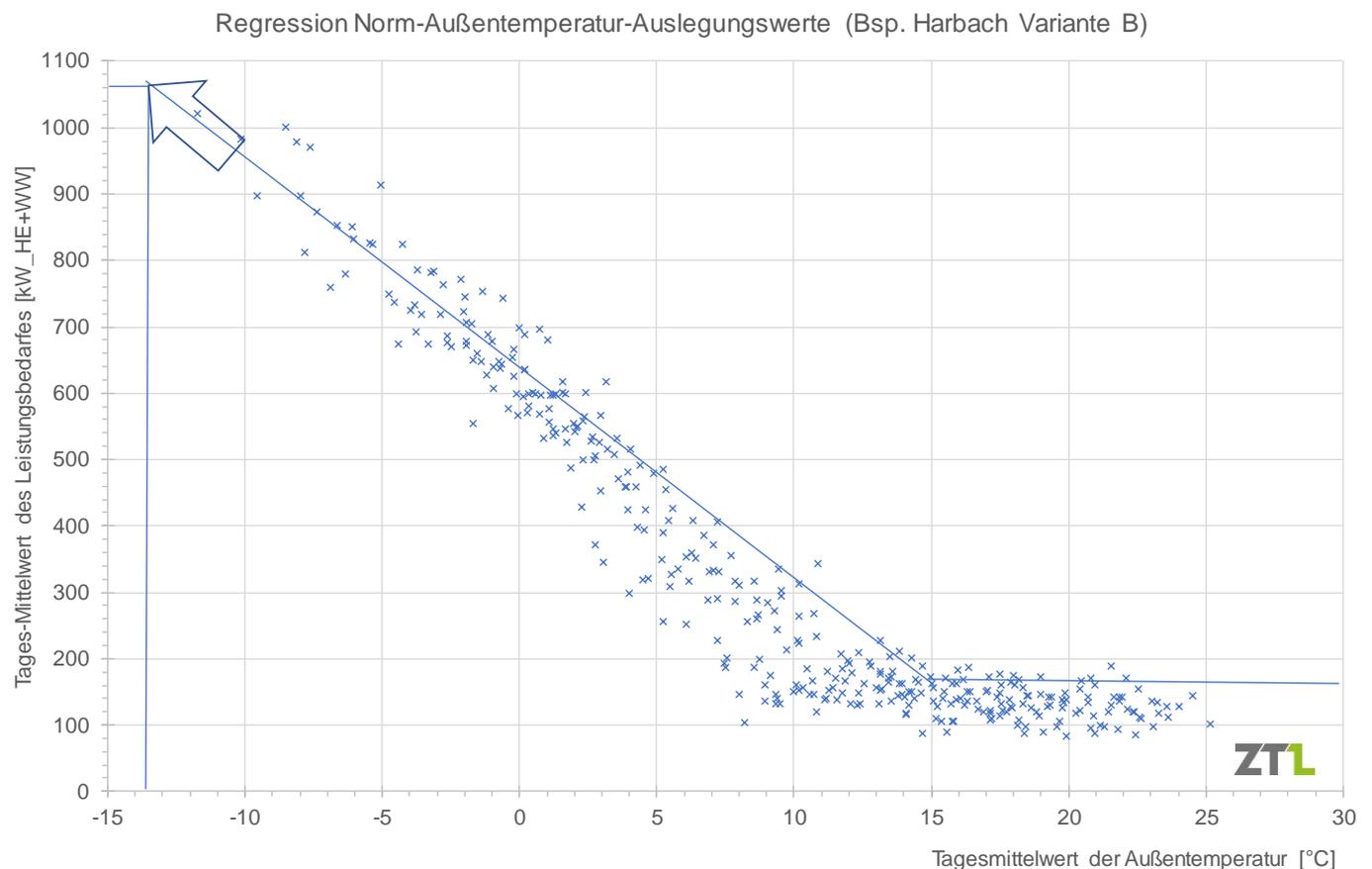


Abbildung 1 Methode zur Bestimmung eines Norm-Auslegungszustandes am Beispiel Harbach Variante B

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Folgende Ergebnisse werden je Lastfall zur Untersuchung des Betriebszustandes und der Netzcharakteristika aufbereitet:

In Abbildung 2 die Druckverhältnisse im Netz für alle Knoten im Vorlauf- und Rücklaufstrang gemeinsam mit der örtlichen Höhenkote, sowie mit der Übertragungsleistung zusammengestellt. Nachdem das Netzrechnerungstool zur Projektierung und Optimierung von Netzen eingesetzt wird, ist bspw. in Abbildung 3 der Druckverlauf gemeinsam mit den Nennweiten der Teilstrecken, bzw. die Wärmeleistung und die Massenströme der Teilstrecken zusammengestellt. Darüber hinaus zeigt Abbildung 4 den Verlauf der Temperaturen für den Vor- und Rücklaufstrang samt deren Versorgungsstrassen-Teilstrecken und Anschlussleitungen gemeinsam mit der Übertragungsleistung, bzw. zur Analyse von Rücklauftemperaturentwicklungen ein Detail hinsichtlich deren Entwicklung über der Netzlänge. In Abbildung 5 ist die Teilstreckengeschwindigkeit sowie die Versorgungszeit der Trassen-Teilstrecken zusammengefasst. Abschließend ist in Abbildung 6 der Exergiegehalt der Vor- und Rücklauf-Teilstrecken bezogen auf die eingespeiste Energie sowie in Gegenüberstellung absoluter Werte mit der Wärmeleistung gegenübergestellt. Die bspw. in Abbildung 2 dargestellten Leistungen beinhalten natürlich auch die Abnahmeleistungen der Kundenstationen, welche überwiegend relativ gering ausfallen, daher häufig in der Nähe der Abszisse zu finden sind.

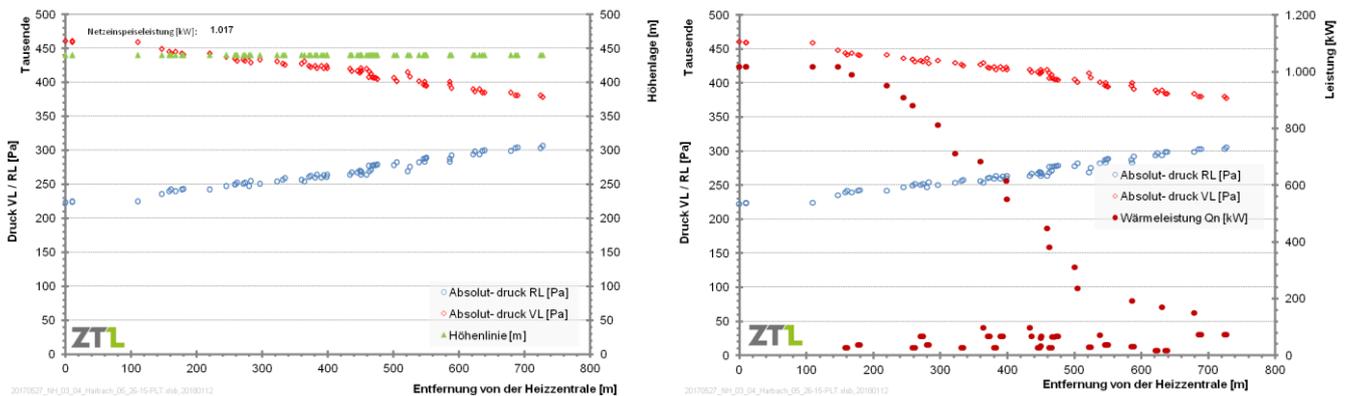


Abbildung 2 Druckverlauf, Höhenlinie und Wärmeleistung über der Entfernung von der Heizzentrale (exempl.)

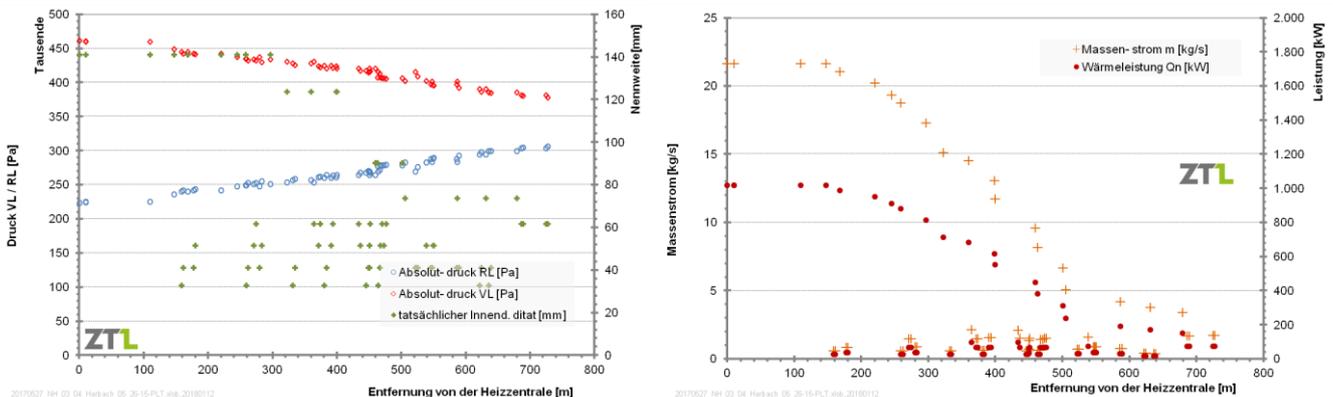


Abbildung 3 Druckverlauf, Nennweite, Massenstrom und Leistung über der Entfernung von der Heizzentrale (exempl.)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

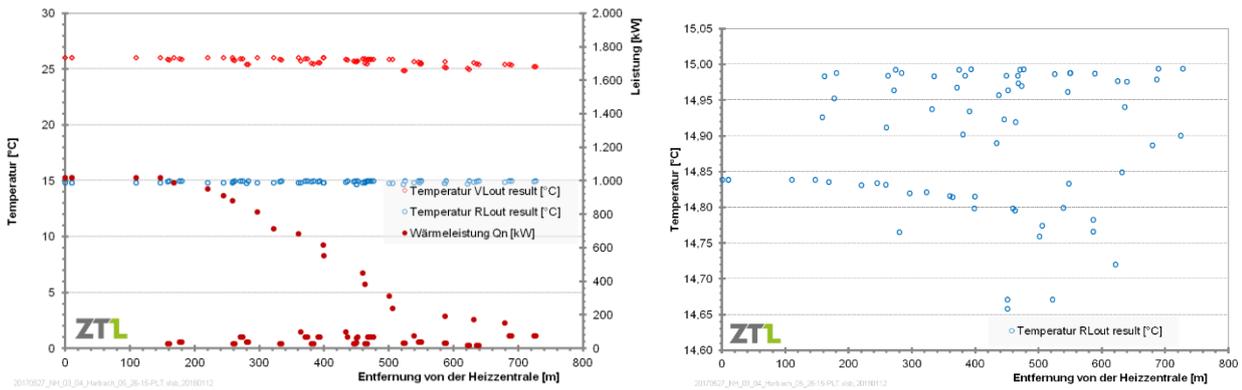


Abbildung 4 Temperaturen, Leistung und Rücklauftemp.-Detail über der Entfernung von der Heizzentrale (exempl.)

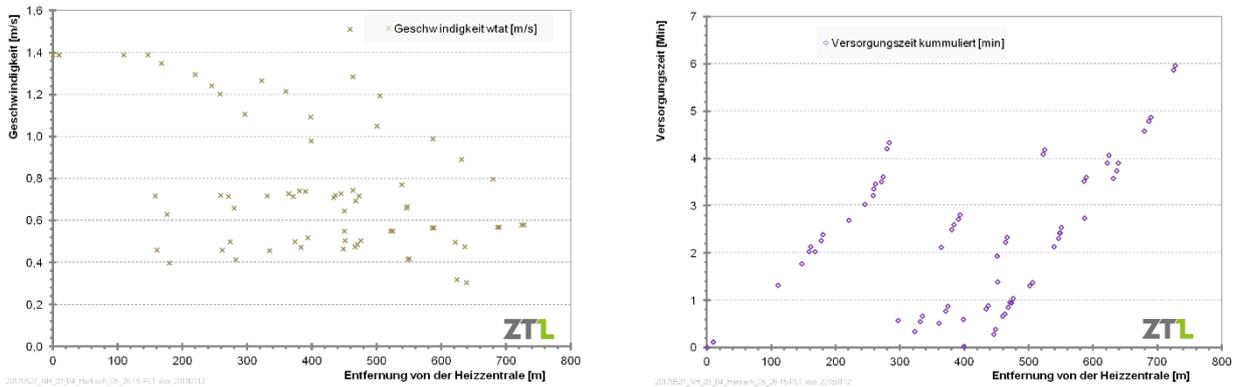


Abbildung 5 Geschwindigkeit und Versorgungszeit über der Entfernung von der Heizzentrale (exempl.)

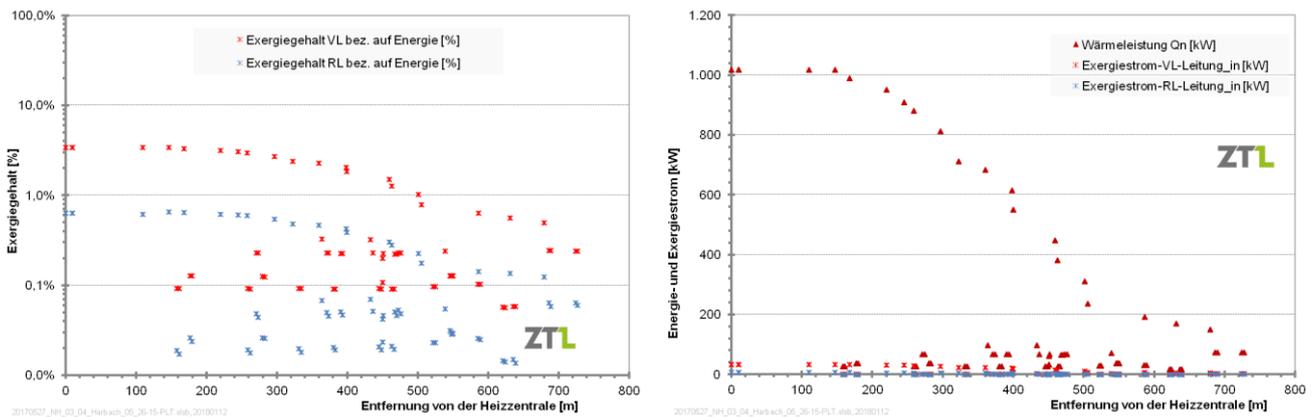


Abbildung 6 Energie- und Exergiestrom sowie der Exergieinhalt über der Entfernung von der Heizzentrale (exempl.)

Hinsichtlich eines Berechnungsbeispiels werden die Ergebnisse eines Jahresbetriebes für die 12 Monatsmittelwerte sowie den Auslegungsfall (Spalte 13-Ausl in Tabelle 1 & Abbildung 7) und den Fall der maximalen Stundenauslastung (Spalte 14-Max in Tabelle 1 & Abbildung 7) zusammengestellt und ausgewertet (für das Beispiel Harbach). Darüber hinaus werden die Globalergebnisse der unterschiedlichen Fallvarianten, wie in Abbildung 8 dargestellt, gegenübergestellt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 1 Tabellarische Darstellung der wesentlichen, monatlichen Ergebnisse für die Netzsimulation (exempl.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 - Ausl	14 - Max-h
Monat/Lastzustand	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Leistungsfaktor	785	621	468	247	174	160	132	125	156	205	469	663	1.117	1.510
Netz-Speiseleistung	765	601	449	230	158	145	118	111	142	190	452	644	1.095	1.487
Netz-Abnehmerleistung	20	20	19	17	16	15	14	14	14	15	18	19	23	23
Netzverlust	97%	97%	96%	93%	91%	91%	89%	89%	91%	92%	96%	97%	98%	98%
Netzwirkungsgrad	3%	3%	4%	7%	9%	9%	11%	11%	9%	8%	4%	3%	2%	2%
Netzverlust	53,87	52,03	49,23	46,33	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	46,34	49,87	52,77	60,00	60,00
Temperatur VL	31,81	31,77	31,74	31,62	31,54	31,54	31,48	31,46	31,56	31,60	31,77	31,79	31,82	31,86
Temperatur RL	53,04	51,08	48,19	44,64	40,94	39,22	39,28	39,32	39,39	44,20	48,90	51,90	59,10	59,33
Minimale Temperatur VL	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
Minimale geodätische Höhe	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
Kesselhaus-Höhe	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
Maximale geodätische Höhe	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240	223,240
Ausdampfdruck inkl. Reserve	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241	223,241
Minimaler Druck im Netz	550,124	491,793	451,021	363,392	337,303	330,916	320,005	317,469	329,182	342,971	441,563	501,816	604,700	804,417
Maximaler Druck im Netz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rücklaufdruck um Heizhaus	32,7	26,9	22,8	14,0	11,4	10,8	9,7	9,4	10,6	12,0	21,8	27,9	38,1	58,1
Druckverlust Netz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vorlaufdruck im Heizhaus	31,3	27,0	23,6	14,8	11,4	10,5	8,6	8,1	10,2	12,3	22,8	27,9	34,9	47,3
Volumenstrom	0,0332639	0,0368160	0,0410453	0,0642491	0,0880617	0,0983805	0,1309588	0,1434117	0,1019373	0,0796195	0,0418830	0,0358893	0,0312752	0,0259944
Druckverlust-Faktor Netz c	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Glatt/Rau	2,85	2,01	1,49	0,57	0,36	0,31	0,23	0,21	0,30	0,41	1,38	2,16	3,70	7,63
Rauhigkeit	25%	40%	53%	89%	104%	108%	115%	117%	109%	101%	56%	37%	14%	-14%
Pumpleistung theoretisch, ideal	12%	18%	24%	38%	43%	44%	47%	47%	45%	42%	25%	17%	7%	-7%
Durchschn. Netz-Druckreserve	879	735	578	340	249	231	194	184	225	291	586	777	1.192	1.397
Durchschn. Netz-Leistungsreserve	856	711	554	316	226	210	173	164	205	269	564	754	1.168	1.376
gesch. Netz-Grenz-Speiseleistung														
gesch. Netz-Grenz-Abnehmerleistung														

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

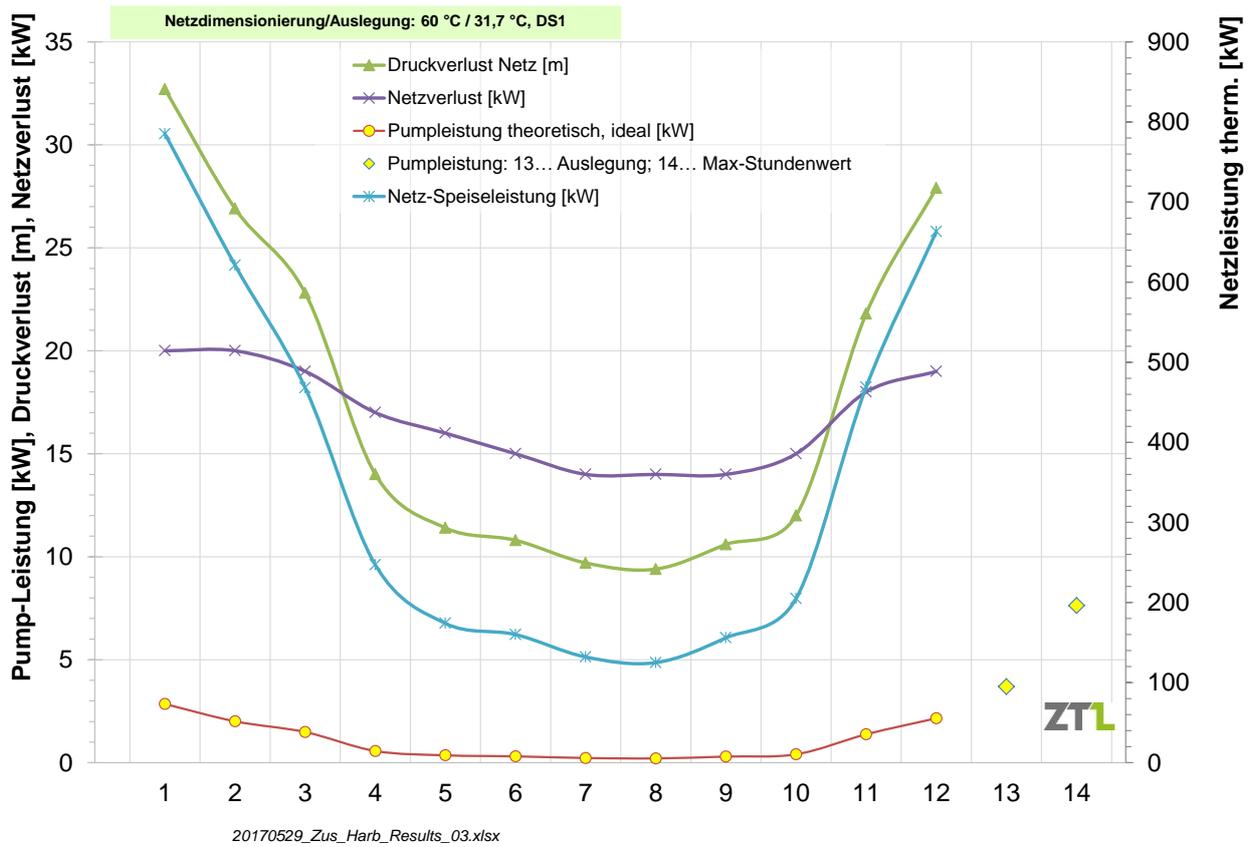


Abbildung 7 Auslegungs - Pumpleistung, - Druckverlust, - Netzverluste und - Netzleistung je Monat (exempl.)

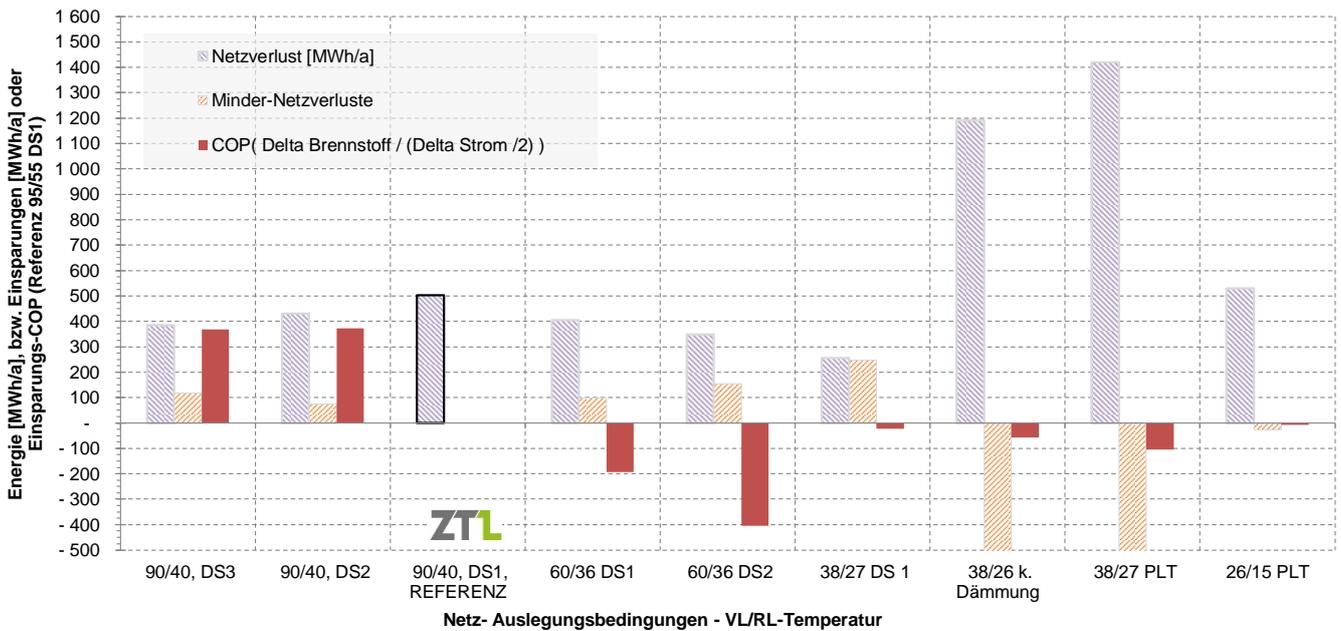


Abbildung 8 Darstellung der jährlichen Netzverluste und der Arbeitszahl der Varianten, im Vergleich zur Referenzvariante (exempl.)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Darin werden in Bezug auf die Referenzvariante (konventionelle Betriebsweise in Einzel-Stahlrohrausführung mit Dämmserie 1 und Auslegungsparameter Vorlauftemperatur 90 °C, Rücklauftemperatur der Abnehmer 40 °C) für abweichende Konzeptvarianten folgende Kennzahlen dargestellt:

1. Netzverlust [$MWh_{th/a}$]
2. Pumpleistung elektrisch bei $\eta=50\%$ [$MWh_{el/a}$]
3. Minder-Netzverluste [$MWh_{th/a}$]
4. Minder-Pumpleistung elektrisch bei $\eta=50\%$ [$MWh_{el/a}$]
5. COP (sinngemäßer „Coefficient of Performance“) ist der Quotient aus rechnerischem Minderbedarf Brennstoff (bei angenommener Feuerungseffizienz von 80 %) zu Mehraufwand an Pumpstrom

Aus obigem Beispiel für Harbach lässt sich an dieser Stelle aus technischer Sicht (noch ohne wirtschaftliche Analyse) sogleich ableiten, dass der unbedingte Einsatz kalter Netze mit konventioneller Wärmequelle bereits aus technischen Parametern wenig sinngemäß sein wird, außer es kann für derartige Applikationen bspw. entweder eine deutliche Steigerung der Bereitstellereffizienz erreicht (z.B. Mehrverluste können durch Mehrerträge einer bspw. Kondensationsanlage gedeckt werden), oder sonst nicht mehr nutzbringend einsetzbare Abwärmen (bzw. sonstige Mehr- oder Mindererträge) verwendet werden (siehe Kapitel 2.8, 3.2 und 4.1.2). Hinsichtlich der wirtschaftlichen Parameter wurden im Rahmen dieser Arbeit folgende ökonomische Parameter gegenübergestellt:

Kapital- bzw. Investitionskosten

- Rohr-, Form- und Verbindungsstück- sowie Montagekosten der Rohrtrasse (entsprechend den verzeichneten Massen aus der technischen Berechnung, kalkuliert mit üblichen Schätzkosten aus Planungs- bzw. Ausschreibeverfahren)
- Grabungskosten (aus üblichen Schätzansätzen von Planungs- bzw. Ausschreibungsverfahren)
- Kosten der Übergabestationen (kalkuliert aus üblichen Schätzansätzen von Planungs- bzw. Ausschreibungsverfahren, bzw. bei den Booster-Stationen Kostenangaben aus Herstellerangaben)
- Kalkulatorische Nutzungsdauer der Trasse von 40 Jahren
- Kalkulatorische Nutzungsdauer der Übergabestationen, der Heizungs-Mehrkosten, der E-Heizpatronen oder Wärmepumpen von 20 Jahren
- Kalkulatorischer Zinssatz: 5 %
- Daraus resultierender Annuitätenfaktor (20 a): 5,83 %, (40 a): 8,02 %

Betriebskosten

- Wärmeverluste bewertet mit dem Kostenansatz für die ab Heizwerk bezogene Wärme, je nach Temperaturniveau zwischen 50 und 20 (0) €/MWh_{th}
- Pumpstrom- und Stromaufwand für E-Heizpatronen sowie Wärmepumpen bewertet mit einem Kostenansatz von 140 €/MWh_{el}

Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle 2 und Abbildung 9 zusammengefasst.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 2 Generelle Ergebnisse der Kostenbetrachtung der unterschiedlichen FW-Varianten

	A3	A2	A1	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D4	D5
Variante	90/40, DS3	90/40, DS2	REF. 90/40, DS1	60/36 DS1	60/36 DS2	38/27 DS 1	38/26 k. Dämmung	38/27 PLT	26/15 PLT	26/15 PLT	15/10 PLT
	38,2	38,2	38,2	51,9	51,9	65,6	65,6	94,1	92,8	92,8	92,8
(durchschn. Nennweite)	[l]										
Grabung (ger. auf 11€)	135 000	129 000	117 000	126 000	126 000	134 000	100 000	108 000	108 000	108 000	108 000
Rohre (ger. auf 11€)	312 000	279 000	251 000	321 000	321 000	390 000	72 000	82 000	82 000	82 000	82 000
Übergabestationen klassisch	82 500	82 500	82 500	83 600	83 600	92 400	92 400	92 400	99 000	92 400	92 400
Heizungsanlage (sekundär, Mehrpreis)	-	-	-	112 000	112 000	448 000	448 000	448 000	448 000	448 000	448 000
Booster	-	-	-	-	-	104 000	104 000	104 000	604 000	1 380 000	500 000
Investissumme Netto	529 500	490 500	450 500	642 600	642 600	1 168 400	816 400	834 400	1 341 000	2 110 400	1 288 000
Spez. Kosten	[€/trm]	371,9	344,5	451,4	451,4	820,7	573,4	586,1	941,9	1 482,3	904,7
kalk. Lebensdauer Rohrtrasse	[a]	40									
kalk. Lebensdauer Übergabestationen, WP, Booste	[a]	20									
kalk. Zinssatz	[%]	5%									
Annuitätenfaktor Rohrtrasse	[%]	5,83%									
Annuitätenfaktor Übergabestationen, Booster,	[%]										
Heizungsmehrkosten	[%]	8,02%									
Kapitalkosten Rohrtrasse	[€/a]	26 050	23 777	21 446	26 050	30 538	10 024	11 073	11 073	11 073	19 815
Kapitalkosten Übergabestationen	[€/a]	6 620	6 620	6 620	6 708	7 414	7 414	7 414	7 944	7 414	-
Kapitalkosten Heizungsanlagen-Mehrkosten	[€/a]	-	-	-	8 987	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949
Kapitalkosten WP-E-Patrone / WP-Booster	[€/a]	-	-	-	-	8 345	8 345	8 345	48 467	110 735	40 121
Summe Kapitalkosten	[€/a]	32 670	30 398	28 066	41 746	82 246	61 732	62 781	103 432	165 171	95 885
Wärmeverluste	[MW/h/a]	193	215	252	202	174	595	710	265	710	-
spez. Verlustkosten	[€/MW/h_th]	50	50	50	50	50	20	20	20	-	-
spez. Pumpenaufwand	[€/a]	9 631	10 744	12 582	10 122	2 566	11 901	14 190	-	-	-
kalk. Wärmeverlustaufwand	[€/a]	8	9	9	9	16	16	14	11	14	20
Pumpenaufwand	[€/MW/h_el]	140									
spez. Pumpenelektronen	[€/a]	1 187	1 198	1 216	1 261	2 171	2 285	1 997	1 549	1 997	2 800
kalk. Pumpstromaufwand	[€/a]	50	50	50	50	50	20	20	20	-	-
kalk. Wärmebezugspreis (Eintritt Netz)	[€/MW/h_th]	150 712	150 712	150 712	147 735	147 735	41 210	41 210	-	-	-
kalk. Wärmekosten (Abnehmerbezug)	[€/a]	150 712	150 712	150 712	147 735	147 735	41 210	41 210	-	-	-
Zusätzlicher Strombedarf für WW-Boosting	[MW/h_el/a]	-	-	-	-	500	500	500	670	253	571
kalk. Stromkosten WW-Boosting	[€/a]	-	-	-	-	70 000	70 000	70 000	93 800	35 420	80 000
Wartung und Instandhaltung	[€/a]	10 590	9 810	9 010	12 852	23 368	16 328	16 688	26 820	42 208	25 760
laufende Kosten	[€/a]	172 119	172 464	173 519	171 970	170 549	71 723	74 085	28 369	44 205	28 560
Gesamtkosten	[€/a]	204 790	202 862	201 586	213 716	212 295	203 456	206 867	225 601	244 796	204 445
Rang der niedrigsten Gesamtkosten	[]	5	2	1	8	7	3	6	10	11	4

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

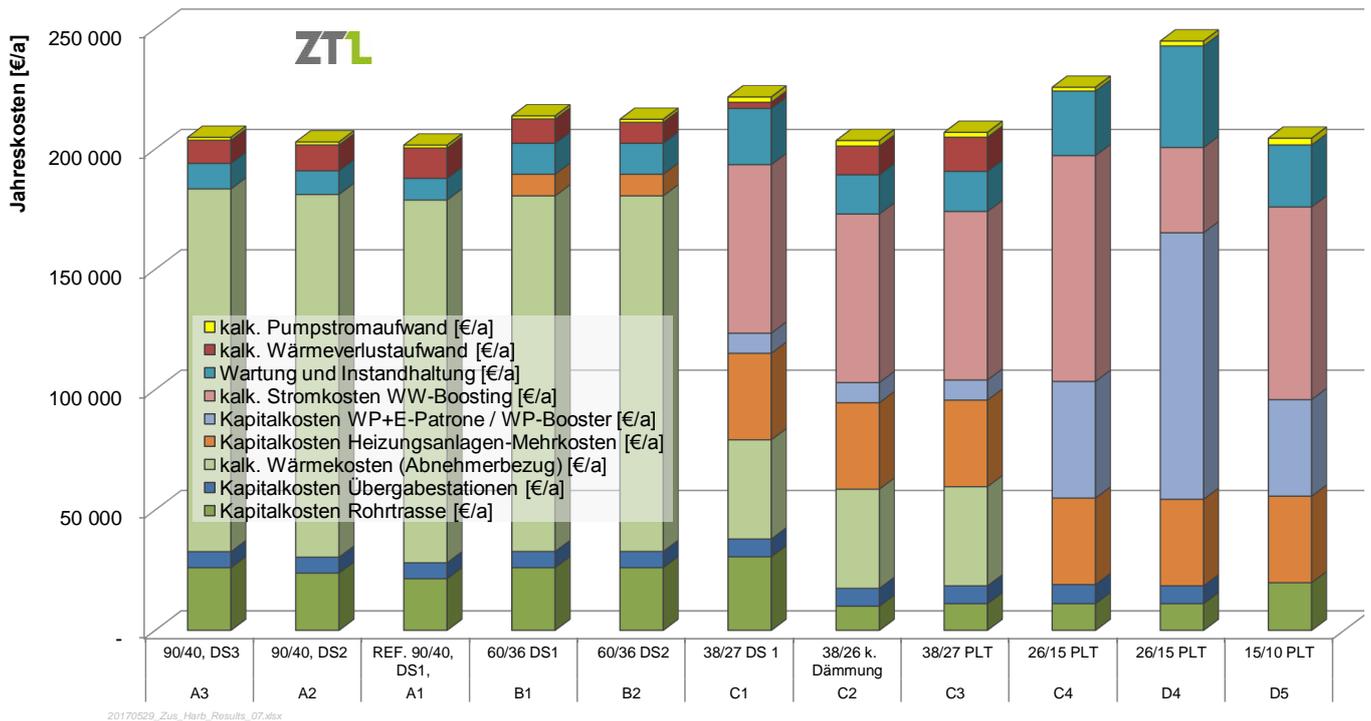


Abbildung 9 Vergleich der jährlichen Kosten der unterschiedlichen Varianten, im Vergleich zur Referenzvariante

Darüberhinausgehende wirtschaftliche Detailanalysen sind aus technischer Sicht nicht hilfreich und es soll daher der Fokus auf Systemvergleiche gelegt werden. So sind derartige Systeme jedenfalls hinsichtlich folgender Parameter zu differenzieren:

1. Art des potenziellen Versorgungsgebietes

- Mit oder ohne Bestands-Gebäude-Infrastruktur, ggf. Misch-Gebäude
- Mit oder ohne bestehender leitungsgebundener Versorgungsstruktur

2. Möglichkeiten der Energiebereitstellung für ein Versorgungsgebiet

- Unter Berücksichtigung von Effizienzsteigerungsmöglichkeiten in einem bspw. konventionellen Heizwerk
- Unter Berücksichtigung von externen Energiequellen für bspw. die Booster-Station
- Ggf. Bereitstellung von sonst nicht nutzbarer Abwärme – Betrachtung ob zentral oder dezentraler Boost
- Ggf. damit erreichbare zusätzliche Einbindbarkeit von erneuerbaren, dezentralen Energiequellen (Solarthermie, PV,...)

In den Kapiteln 3.4 und 4.3 werden die Netze an den betrachteten Standorten Harbach / Klagenfurt und Neustadt / Weiz im Detail analysiert.

2.4 Wärmeversorgungskonzepte

Für die Bewertung unterschiedlicher Wärmeversorgungskonzepte wurden vier Varianten (FW1, FW2, FW3 und FW4) auf der Primärseite und vier Varianten sekundärseitig (VarA, VarB, VarC und VarD) angenommen (siehe Abbildung 10).

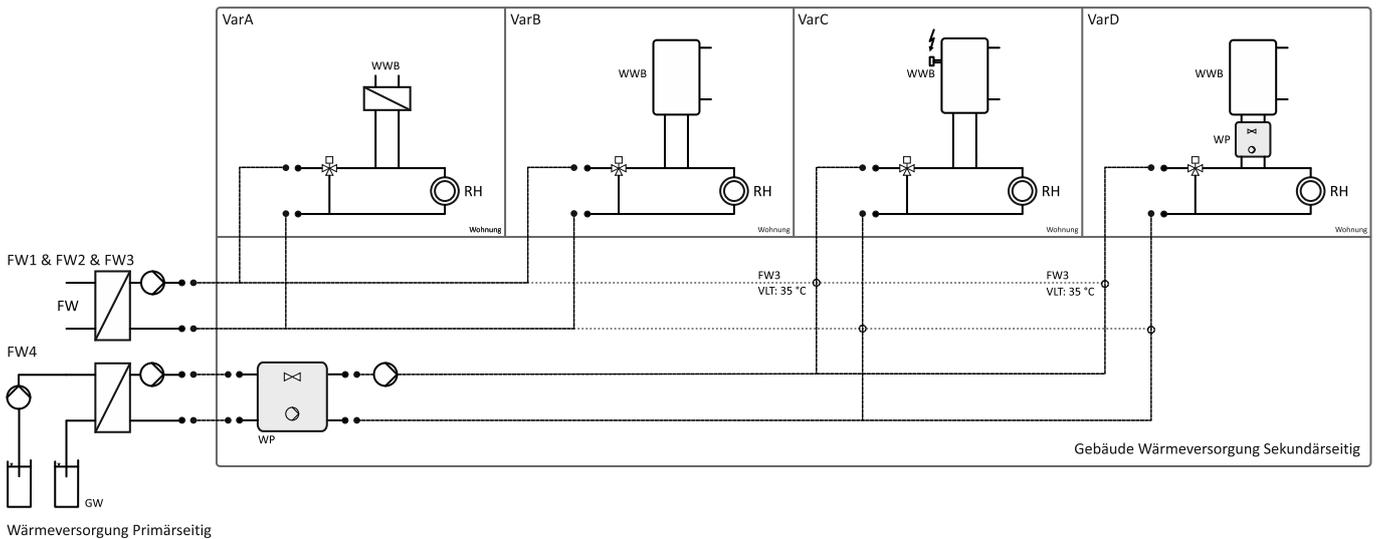


Abbildung 10 Darstellung der unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten (FW1-FW4 und VarA-VarD)

Bei der Variante FW1 (90/40) wird primärseitig die Temperatur der Fernwärme mit 90 °C am Heizhaus und mit ca. 80 °C an der FW-Übergabestation angenommen und so geregelt, dass die Vorlauftemperatur in Richtung Wohnungen konstant 58 °C beträgt. Bei der Variante FW2 (60/36), wird davon ausgegangen, dass das betrachtete Teilnetz aus dem Rücklauf eines urbanen FW-Netzes betrieben wird. Dabei wird von etwa 60 °C Vorlauftemperatur bei der Auskopplung aus den FW-Rücklauf (Urbanes Netz) gerechnet. Sekundärseitig wird auch hier mit 58 °C Vorlauftemperatur gearbeitet. In der Variante FW3 (38/27) wird von K-FW Variante ausgegangen, bei der Primärseitig von etwa 38 °C Vorlauftemperatur an der Übergabestation oder dem Wärmespeicher für das Quartier ausgegangen werden kann. Als Vorlauftemperatur stehen dann 35 °C Sekundärseitig zur Verfügung. Bei dieser Variante ist eine dezentrale Anhebung für die Warmwasserbereitung durch eine E-Patrone oder eine Booster-Station notwendig. In der Variante FW4 (26/15) wird eine Versorgung über Grundwasser und Abwärme angenommen und vorausgesetzt, dass dabei an der zentralen Wärmepumpe eine Temperatur von 10-26 °C vorliegt. Nach der Wärmepumpe wird in Richtung der Wohnungen für eine konstante Temperatur von 35 °C gesorgt.

Auf der Sekundärseite wird in VarA und VarB eine direkte Versorgung über Fernwärme vorausgesetzt. Dies kann nur mit den Primärvarianten FW1 und FW2 gewährleistet werden. In VarA wird die Warmwasserbereitung direkt über einen Wärmetauscher realisiert. Daher sind hier höhere Leistungen notwendig als in VarB, wo die Warmwasserbereitung über einen dezentralen Speicher (ohne Heizstab) erfolgt.

Grundsätzlich wären diese beiden Varianten wegen der höheren Vorlauftemperatur auch für Gebäude mit höherem Heizwärmebedarf (HWB) und für ein Wärmerversorgungskonzept mit Radiatoren einsetzbar. In VarC ist aufgrund der geringeren Vorlauftemperatur im dezentralen Speicher für die Warmwasserbereitung ein Heizstab notwendig. Der spezifische HWB muss hier geringer und für das Wärmeabgabesystem eine niedrige Vorlauftemperatur (35 °C) möglich sein (z.B. Fußbodenheizung). Die Variante VarD unterscheidet sich von der VarC nur noch dadurch, dass das Temperaturniveau für die Warmwasserbereitung vor dem dezentralen Speicher mit einer kleinen Wärmepumpe („Booster-Station“) angehoben wird.

2.5 Energetische Analyse

Ausgehend von einer Geometrie (aus dem städtebaulichen Entwurf oder aus freien Datenquellen (OpenStreetMap)) wurde unter Verwendung einer Methodik zur Analyse von Quartieren bis hin zu Stadtteilen, ein jährlicher Nutzenergiebedarf (HWB & WWB) als auch ein jährlicher Heizenergiebedarf (HEB), des sekundärseitigen Wärmerversorgungskonzeptes ermittelt. Hierzu wurde für jedes Gebäude die relevanten Energiekennzahlen als auch die Heizlasten in Stundenschrittweite ermittelt und grafisch analysiert und visualisiert (Kapitel 3.1 und 4.3).

Aufbauend auf den notwendigen Nutz- und Heizenergiebedarf wurde die Dimensionierung eines FW-Netzes (für verschiedenen Dämmserien) durchgeführt und ebenso energetisch (Wärmebedarf, Wärmeverluste, Strombedarf) detailliert analysiert. Ergänzend zu den klassischen Darstellungen wurde für die Gesamtübersicht (vom Primärenergiebedarf bis hin zur Nutzenergie) die Darstellung in Sankey-Diagrammen gewählt. Durch die Verwendung dieser Darstellungsart, bei der in einem Diagramm sowohl der benötigte Wärmepfad als auch der Strompfad abgebildet wird (siehe Kapitel 3.1) können die unterschiedlichen Varianten der sekundären Wärmerversorgung (VarA bis VarD) als auch der primären Wärmerversorgung durch die Fernwärme (FW1 bis FW4 und unterschiedliche Dämmserien (DS)) anschaulich dargestellt und verglichen werden. Die energetische Analyse der Modellregion Harbach findet sich im Kapitel 3. Für den Stadtteil Neustadt findet sich die energetische Analyse im Kapitel 4.

2.6 Exergetische Analyse

Die Energie eines Systems oder die von einem Wärmestrom transportierte Energie kann in zwei Teile unterteilt werden: Exergie und Anergie. Arbeit transportiert hingegen reine Exergie. Die Exergie bezeichnet dabei den Anteil der Energie, der in Arbeit umgewandelt werden kann. Oder anders ausgedrückt: Exergie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Die Anergie hingegen ist der Teil der Energie, der keinen Nutzen hat und daher nicht in Arbeit umgewandelt werden kann. Die Exergie kann somit als Maß für die Fähigkeit verstanden werden, technische Arbeit zu verrichten. Bei der Wärme ist der Exergiegehalt die maximale Arbeit, die zwischen zwei Temperaturniveaus gewonnen werden kann. Der arbeitsfähige Teil der Wärmemenge ist durch die Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung festgelegt. Eine ausführliche Darstellung der thermodynamischen Grundlagen zur Exergie findet sich z.B. in (Baehr H., 2016).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Arbeiten zu Exergie-Analysen von Energiesystemen lassen sich nach (Bargel, 2010) grob in vier Kategorien einteilen:

- Berücksichtigung von erneuerbaren Energien
- Fokussierung auf den Gebäudeaspekt
- Analyse von Einzelsystemen
- Exergetische Systemvergleiche

Für die letzte Kategorie – in die auch die hier durchgeführte Analyse einzuordnen ist – sind vor allem die Arbeiten im Rahmen des ECBCS Annex 37 „Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings“ (Neugebauer, et al., 2003) und ECBCS Annex 49 „Low Exergy Systems for High-Performance Buildings and Communities“ (Schmidt, 2011) der International Energy Agency zu nennen.

Für die Analyse der Wärmeversorgungskonzepte (siehe Abbildung 10) wurde hier ein Ansatz gewählt der die Exergie der Stoffströme im System auswertet. Dazu wurden stundenweise Daten aus den Gebäudesimulationen in IDA-ICE mit Anlagensimulationen in TRNSYS kombiniert, um einen Jahresverlauf der Temperaturen und Massenströme in verschiedenen Punkten der Wärmeversorgungskonzepte zu ermitteln. Die exergetische Leistung \dot{E} wurde dann mit der Temperatur T im System und der Umgebungstemperatur T_U aus den in der Simulation angesetzten Wetterdaten für jeden Simulationszeitschritt (eine Stunde) über Formel 1 bestimmt. Für die spezifische Wärmekapazität (c_p) von Wasser wurde ein konstanter Wert von 4,19 kJ/(kg·K) angesetzt.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \left(T - T_U - T_U \cdot \ln\left(\frac{T}{T_U}\right) \right) \quad \text{Formel 1}$$

Die so erhaltenen Stundenwerte wurden aufsummiert und damit der Jahreswert für die Exergie der Stoffströme in den verschiedenen Punkten im System bestimmt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, weil für die Systeme mit Wärmespeicher eine Auswertung für nur einen Zeitpunkt (z.B. Auslegungspunkt) für nicht sinnvoll erachtet wird. Die Analyse wurde exemplarisch mit Simulationsdaten für das geplante Gebäude 11a im Gebiet Harbach für die vier betrachteten Wärmeversorgungskonzepte durchgeführt.

Abbildung 11 zeigt ein einfaches Beispiel für die Darstellung eines Wärmeversorgungskonzepts (es handelt sich hier um die Variante VarA in der späteren Variantenauswertung). Es ergeben sich für die Raumheizung (RH) drei und für das Warmwasser (WW) vier Punkte im System (dargestellt durch die eingekreisten Ziffern) an denen die Stoffströme ermittelt werden.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

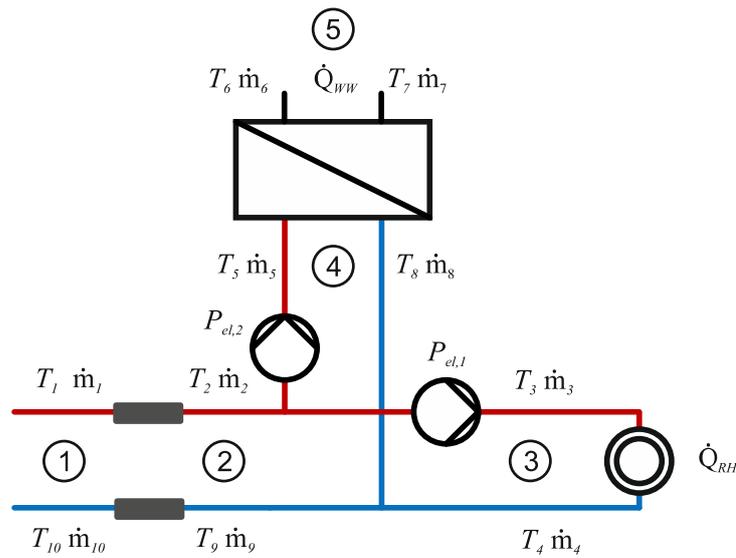


Abbildung 11 Schema für ein einfaches Beispiel einer Systemvariante

Es lassen sich hier also für die Raumheizung jeweils drei Werte und die Warmwasserbereitung vier Werte für die Exergie der Stoffströme im Vorlauf (rot) und im Rücklauf (blau) berechnen. Zusätzlich kann in jedem Punkt die Exergiedifferenz und über die Temperaturdifferenz (z.B. $T_1 - T_{10}$ für den Punkt 1 im System) und den Massenstrom (z.B. \dot{m}_1) die Energie bestimmt werden (Formel 2)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \tag{Formel 2}$$

Um die Art der Auswertung zu verdeutlichen wird hier ein Beispiel ausgeführt. In Tabelle 3 sind die Simulationsergebnisse der Variante VarA in der siebten Simulationsstunde zusammengefasst. Die rechte Spalte zeigt die Ergebnisse für die Exergie der Stoffströme nach Formel 1.

Tabelle 3 Simulationsergebnisse für Temperatur und Massenstrom an den gekennzeichneten Positionen und die dazu berechnete Exergie der Stoffströme bei einer Außenlufttemperatur von 1.3 °C

Position	Temperatur [°C]	Massenstrom [kg/h]	Exergie der Stoffströme [kW]
1	58.00	2229.84	13.34
2	57.49	2229.84	13.12
3	57.49	524.88	3.09
4	26.67	524.88	0.67
5	57.49	1704.60	10.03
6	50.32	341.67	1.55
7	15.00	341.67	0.13
8	50.40	1704.60	7.77
9	44.81	2229.84	8.08
10	44.32	2229.84	7.91

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In Abbildung 12 ist links die Exergie der Stoffströme für Vorlauf und Rücklauf der Raumheizung (RH) und Warmwasserbereitung (WW) dargestellt. Bei der Raumheizung ergibt sich von Position 1 auf 2 ein leichter Verlust aufgrund der Rohrleitungen. Von 2 auf 3 liegt der Exergieverlust am reduzierten Massenstrom (die Temperatur bleibt ja konstant). Bei der Warmwasserbereitung entsteht der Exergieverlust zwischen Position 2 und 4 ebenso aufgrund des reduzierten Massenstromes.

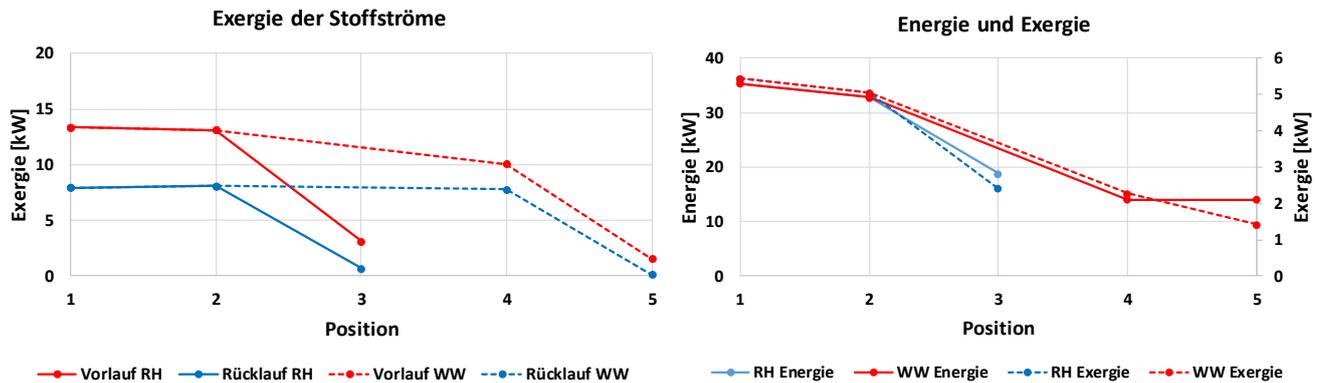


Abbildung 12 Exergie der Stoffströme (li.) und Vergleich energetischer mit exergetischer Wärmeleistung (re.)

Der Vergleich von energetischer und exergetischer Leistung in den gekennzeichneten Positionen zeigt für die Positionen 1 bis 4 kaum einen Unterschied. Vor allem zwischen Position 4 und 5 (bei der Warmwasserbereitung) sieht man jedoch, dass ein Wärmetausch praktisch ohne nennenswerten Energieverlust abläuft aber ein deutlicher Exergieverlust auftritt. Für die Analyse der zuvor erörterten Parameter im Wärmeverteilnetz (Fernwärme-, Fernkältenetz) (Kapitel 2.3) wurden die Stoffwerte temperatur- und druckspezifisch anhand der Industrial Formulation for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (Cooper, et al., 2007) gerechnet. Für die Berechnung der Exergieanteile wurde eine Bezugstemperatur von 10 °C und ein Bezugsdruck von 970 mbar angesetzt. Die Auswertungen für die betrachteten Wärmeversorgungskonzepte finden sich in Kapitel 2.6 und die Auswertung der gesamten Erzeugerkette, vom Kraftwerk bis zum Verbraucher, findet sich im Kapitel 3.1 bzw. 4.3 (Harbach bzw. Neustadt).

2.7 Ökonomische und ökologische Analyse

Die Bewertung von Energietechnologien unter technischen Aspekten wie z.B. dem Wirkungsgrad und ökonomischen Gesichtspunkten wie z.B. den Investitions- und Betriebskosten ist eine wichtige Grundlage für Investitionsentscheidungen im Besonderen und die Einordnung und Bewertung der Technologien im Allgemeinen. Bei der technischen Bewertung kommt ein breites Spektrum an Methoden zur Anwendung, beginnend bei grundsätzlichen thermodynamischen Abschätzungen über Prozesskettenanalysen bis hin zu umfassenden Lebenszyklusanalysen. Die wirtschaftliche Bewertung basiert auf den entsprechenden Methoden der Investitions- und Kostenrechnung. Hier lassen sich insbesondere auch die unterschiedlichsten Spielarten der Finanzierung berücksichtigen. Im Rahmen der techno-ökonomischen Bewertung von energietechnischen Vergleichsvarianten ist an allererster Stelle an den notwendigen Bilanzierungsrahmen zu denken.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Im vorliegenden Fall muss der Bilanzrahmen aufgrund „des prinzipiellen Wechsels“ von Bereitstelleranlagenkomponenten von der Primär- zur Sekundärseite (und da wiederum an verschiedene, mögliche Positionen), vice versa, weitreichend, das heißt von der Endenergiebereitstellung (z.B. Brennstoff für zentrale Energiebereitstellung) bis zur abgegebenen Nutzenergie (HWB + WWB) gezogen werden. Parallel dazu werden die zum Betrieb der jeweiligen Variante notwendigen elektrischen Energiebedarfe gerechnet und bilanziert. Hierbei wird die gesamte Bereitstellungskette der Wärmeversorgungskonzepte erfasst und einer Bewertung unterzogen. Hinsichtlich der Wärmeströme, des elektrischen Stromes und dem daraus resultierenden Primärenergiebedarf sowie des äquivalenten CO₂-Ausstoßes wurde ein techno-ökonomisches Bewertungssystem zu Grunde gelegt. Für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs (PEB) und des äquivalenten CO₂-Ausstoßes wurden die Kennwerte nach (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015), dargestellt in der Tabelle 4 zugrunde gelegt.

Tabelle 4 Konversionsfaktoren zur Ermittlung des PEB, des nichterneuerbaren Anteils des PEB, des erneuerbaren Anteils des PEB sowie von CO₂ Emission laut (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015)

	f_{PE} [-]	$f_{PE,n.ern.}$ [-]	$f_{PE,ern.}$ [-]	f_{CO_2} [g/kWh]
1 Kohle	1.46	1.46	0.00	337
2 Heizöl	1.23	1.23	0.01	311
3 Erdgas	1.17	1.16	0.00	236
4 Biomasse	1.08	0.06	1.02	4
5 Strom-Mix Österreich	1.91	1.32	0.59	276
6 Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1.60	0.28	1.32	51
7 Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)	1.52	1.38	0.14	291
8 Fernwärme aus hocheffizienter KWK ¹⁾ (Defaultwert)	0.94	0.19	0.75	28
9 Fernwärme aus hocheffizienter KWK ¹⁾ (Bestwert)	≥ 0.3	gemäß Einzelnachweis ²⁾		≥ 20
10 Abwärme (Defaultwert)	1.00	1.00	0.00	20
11 Abwärme (Bestwert)	≥ 0.3	gemäß Einzelnachweis ²⁾		≥ 20

¹⁾ ... Als hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) werden all jene angesehen, die der Richtlinie 2004/8/EG entsprechen.

²⁾ ... Für den Fall, dass ein Einzelnachweis gemäß EN 15316-4-5 durchgeführt wird, dürfen keine kleineren Werte als für industrielle Abwärme verwendet werden.

Die Nomenklatur für den **Wärmepfad** und den **Strompfad** vom Erzeuger bis zum/zur NutzerIn, vom Primärenergiebedarf bis zur Nutzenergie ist nachfolgend (Tabelle 5) dargestellt. Auf der Wärmeseite, beginnend bei der **Nutzwärme**, werden der Heizwärmebedarf (HWB) und Warmwasserbedarf (WWB) benötigt. Diese Nutzwärme kann nun thermisch oder mit Strom erzeugt werden. Auf der Wärmeseite kommen nun Verluste des Wärmeverteilsystems hinzu, somit wird ein größerer Wärmebetrag, der Heizenergiebedarf (HEB) benötigt. Wird Strom zur Abdeckung von Nutzwärme eingesetzt (Booster-Stationen, E-Patrone, Wärmepumpe) dann wird entsprechend weniger an Wärme benötigt. Die wird hier als der thermische Anteil des Heizenergiebedarfs (HEB*) bezeichnet. Seitens des K-FW Netzes wird eine entsprechende thermische Fernwärme(energie) an das Verteilnetz zugeführt (HEB_FW*zu). Seitens des Kraftwerkes wird dann in Abhängigkeit des Wirkungsgrades und des Verteilnetzes eine entsprechende Energiemenge (BEB_HEB_FW*Br) benötigt, die als Endenergiebedarf (Brennstoffbedarf) zum Betrieb der thermischen Bereitstellung der Fernwärme (ohne Stromanteile) bezeichnet wird.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Aufgrund des verwendeten Brennstoffes und der Brennstoffmenge, ergibt sich damit, unter Verwendung der Umrechnungsfaktoren, der thermische **Primärenergiebedarf** (PEB*) des Wärmeversorgungs-konzeptes. Auf der Stromseite werden nur jene Anteile betrachtet, die relevant sind für die Bereitstellung der Nutzwärme (HWB + WWB). Der Haushaltsstrom wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt. So werden einerseits der Strombedarf einer möglichen E-Patrone (SBHT_{EP}), einer möglichen Booster-Station (SBHT_{WP}) und der Pumpen (SBHT_{Pu}) einkalkuliert. Auf der Primärseite der (K-)FW wird der Strombedarf der Pumpen (SBFW_{Pu}) und der fernwärmetechnischen Anlage für den Betrieb der Bereitstelleranlage (SBFW_{EB_Verl}) einbezogen. Damit ergibt sich dann, unter Verwendung der Umrechnungsfaktoren, der Endenergie- (SBEE) und Primärenergiebedarf (SB_{PE}) stromseitig.

Tabelle 5 Nomenklatur und Bezeichnung der Einzelwerte (siehe auch Kapitel 3.1 und Kapitel 7)

	Wärme	Strom
Nutzenergie	HWB & WWB	
Endenergie Gebäude	HEB* bzw. HEB	SBHT ¹⁾
	HEB_FW*ab	SBFW_Pu
	HEB_FW*zu	SBFW_EB_Verl
		SBEB
Endenergie Netz	BEB_HEB_FW*Br	SBEE
Primärenergie	PEB*_Verl	SB_PE_Verl
	PEB*	SB_PE
		PEB

¹⁾ SBHT = SBHT_{Pu} + SBHT_{WP} + SBHT_{EP}

Annahmen für die Konversionsfaktoren und Wirkungsgrade

Für die ökonomische Beurteilung der Wärmeversorgungskonzepte werden die wesentlichen Bestandteile der Konzepte hinsichtlich der Investitionskosten, der Betriebskosten und der Lebensdauer bewertet. Die Berechnungen lehnen sich an der erweiterten Annuitätenmethode der ÖNORM M7140:2013 (Austrian Standards, 2013) an. Die ökonomischen Randbedingungen (Zinssätze etc.) sind dem Kapitel 2.3 zu entnehmen. Dabei werden die Kosten für Errichtung und Betrieb der spezifischen Wärmeversorgungsvariante berücksichtigt, welche die Kapitalkosten aufgrund der Investitionsnotwendigkeit, die Betriebs- und Wartungskosten, sowie alle sonstigen Kosten beinhalten. Als Quelle für die Kosten wurden neben internen Studien (ZTL & IWT) auch Angebote der Firma Neotec (Riva, et al., 2017) und der Firma Bauer (Bauer, 2017) sowie aus einer, im Rahmen des Projektes entstandenen Arbeit zur technoökonomische Analyse von Haustechniksystemen (Augustin, 2017) entnommen. Bei den sonstigen Kosten sind die nachfolgenden Punkte mit einbezogen:

- Rahmenbedingungen und darüber hinaus zu berücksichtigende Faktoren (Kosten)
- Konventionelle Energiebereitstellung (als Referenz; keine Sonder-Kosten)
- Unmittelbare Wasteheat- oder Abwärmenutzung
- Unmittelbare und mittelbare Wasteheat- oder Abwärmenutzung (über Langzeitspeicher)
- Abwärmenutzung aus KWK-Prozessen mit Mindesteffizienzanforderung (für z.B. Genehmigung oder bspw. Ökostromtarifizierung)

2.8 Langzeitwärmespeicher

Die Wärmespeicherung kann nach physikalischen und chemischen Prinzipien erfolgen. Bei den thermo-physikalischen Prinzipien wird zwischen Speichern sensibler (fühlbarer) Wärme und Latentwärmespeichern unterschieden. Die Speichermaterialien von Speichern sensibler Wärme sind zum Beispiel Flüssigkeiten (Wasser) oder Feststoffe (Erdreich, Kies). Insbesondere Wärmespeicher mit Wasser als Speichermedium sind weit verbreitet. Bei den Latentwärmespeichern wird die Schmelz- bzw. Verdampfungsenthalpie zur Wärme- oder Kältespeicherung genutzt. Materialien für die Latentwärmespeicherung, so genannte Phasenwechselmaterialien (PCM), befinden sich derzeit in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Bei thermochemischen Wärmespeichern wird eine chemische Reaktion zur Wärmespeicherung genutzt. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Speicherung sensibler Wärme. Außerdem werden nur Wärmespeicher zur saisonalen Wärmespeicherung betrachtet.

Mit Langzeit-Wärmespeichern wird die zeitliche Verschiebung zwischen hohem solarem Wärmeangebot in den Sommermonaten und hohem Heizwärmebedarf in den Wintermonaten ausgeglichen. Es gibt vier verschiedene Grundkonzepte für den Bau von Langzeit-Wärmespeichern. Diese unterscheiden sich nach der Art des Speichermediums in Heißwasser-Wärmespeicher, Kies-Wasser-Wärmespeicher, Erdsonden-Wärmespeicher und Aquifer-Wärmespeicher, siehe Abbildung 13 und (Ochs, 2013) bzw. (Sterner, et al., 2017). Eine Zusammenfassung der wichtigsten Daten der verschiedenen Typen von Langzeit-Wärmespeichern findet sich unter (Solites, 2016).

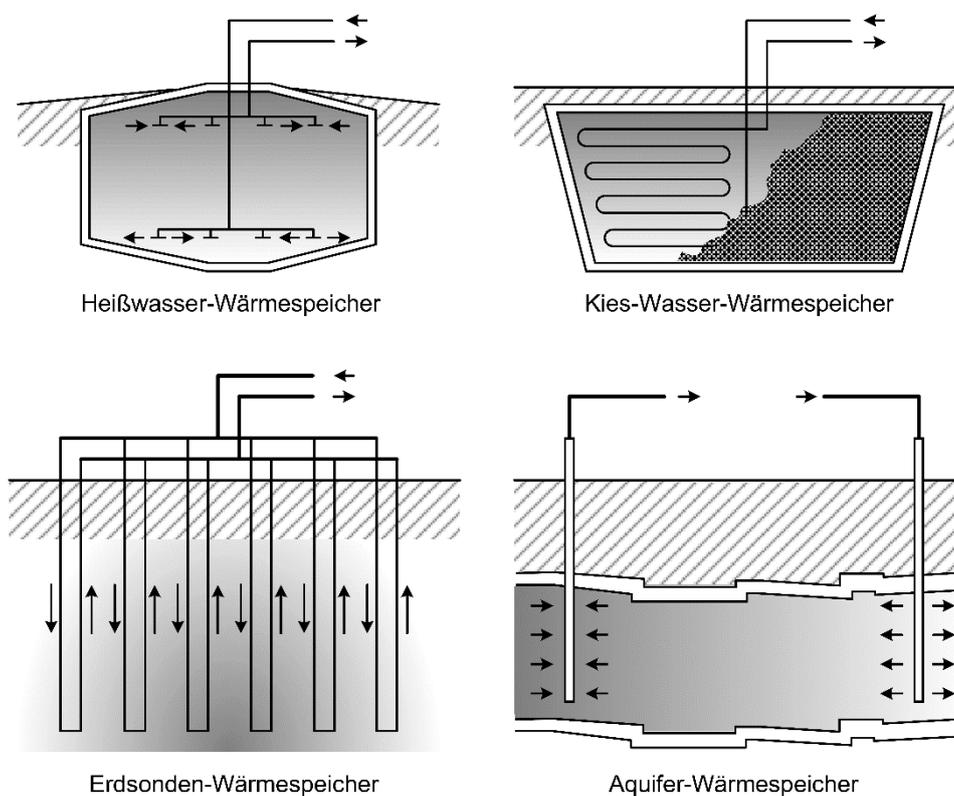


Abbildung 13 Bautechnische Realisierung von sensiblen Langzeitwärmespeichern (Wesselak, et al., 2013)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Bewertung der Effizienz eines Wärmespeichers erfolgt mit dem Speichernutzungsgrad η_{SP} . Mit dem Speichernutzungsgrad wird der Quotient aus eingespeicherter Q_{belad} zu ausgespeicherter Q_{entlad} Wärme für einen Speicherzyklus oder mehrere Speicherzyklen bezeichnet (Hadorn, et al., 1988). Bei vollständiger Entladung des Wärmespeichers ist die Differenz zwischen ein- und ausgespeicherter Wärmemenge der Wärmeverlust $Q_{verlust}$. Die Höhe der Wärmeverluste ist insbesondere von den Speichertemperaturen bzw. dem Vorhandensein einer Wärmedämmung abhängig.

$$\eta_{SP} = \frac{Q_{belad}}{Q_{entlad}} = 1 - \frac{Q_{verlust}}{Q_{belad}} \quad \text{Formel 3}$$

Da in Klagenfurt vor allem in den Sommermonaten ein nicht unerhebliches Abwärmepotenzial besteht wurden Untersuchungen angestellt inwieweit diese Energie in einen Langzeitwärmespeicher eingebunden werden kann, über den das Siedlungsgebiet Harbach mit Wärme versorgt wird. Dazu wurden in TRNSYS (Solar Energy Laboratory, 2017) Simulationsvarianten mit unterschiedlichen Randbedingungen erstellt. Um das detaillierte transiente thermische Verhalten eines erdvergrabenen Heißwasser Wärmespeichers zu modellieren, kommt das XST-Modell (multi-flow stratified thermal storage model with full mixed layers) oder auch Type 342 zum Einsatz, der von (Efring, et al., 1989) entwickelt und von (Mazzarella, et al., 1994) modifiziert wurde.

Das XST-Modell ist ein zusätzliches Berechnungsmodell ("Non-Standard-Type") für das transiente Simulationsprogramm TRNSYS (Solar Energy Laboratory, 2017). Im XST-Modell wird das gesamte Volumen des Wärmespeichers in der Form eines vertikalen, radialsymmetrischen Zylinders angenommen. Das Volumen des Zylinders wird in eine bestimmte Anzahl von horizontalen Segmenten gleichen Volumens und gleicher Temperatur aufgeteilt. Im Wärmespeicher herrscht in der Regel eine natürliche vertikale Temperaturschichtung. Der Wärmestrom zwischen den einzelnen Segmenten wird durch einen vertikalen, eindimensionalen Wärmetransportterm nachgebildet. Die hydraulische Verbindung zwischen Wärmespeicher und Gesamtsystem erfolgt durch eine bestimmte Anzahl von Anschlusspaaren. Diese Anschlusspaare bestehen jeweils aus einem Ein- und Ausgang zum bzw. vom Wärmespeicher. Oben, unten und an der Seite des Wärmespeichers kann eine Wärmedämmung beliebiger Qualität definiert werden.

Die Validierung des XST-Modells für einen Heißwasser-Wärmespeicher mit einem Volumen von 640 m³ in Särö (Schweden) ist in (Dalenbäck, 1993) beschrieben. Der Wärmespeicher ist zylindrisch in einer rechteckigen Felsgrube installiert. Gemäß den Messdaten aus (Dalenbäck, 1993) errechnet sich eine Zyklenzahl des Wärmespeichers von 2,5 p.a.. Die Temperaturen im umgebenden Fels wurden nicht betrachtet. Die Abweichung der gemessenen von der berechneten durchschnittlichen Temperatur des Wärmespeichers wird mit ± 2 K angegeben. In (Raab, 2006) wurde ebenso eine Validierung des verwendeten Type 342 durchgeführt. Hierbei wurde ein erdreichvergrabener, rundum gedämmter Speicher mit 2795 m³ mit einer Höhe von 11 m betrachtet. Dabei zeigte sich das die Temperaturen im Jahresdurchschnitt immer nur maximal 1 % (0,3 - 0,8 K) höher sind als die gemessenen Temperaturen. Die maximale Abweichung zwischen berechneter und gemessener Temperatur liegt bei 3 %. Weiterführend wird auf den Bericht zum Stand der Technik erdvergrabener Wärmespeicher (Ochs, 2013) und das Wissensportal für die saisonale Wärmespeicherung (Solites, 2016) verwiesen.

3 Modellregion Klagenfurt / Harbach

Mit Beschlüssen von Stadtsenat und Gemeinderat hat sich die Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee bereits 2011 zum Ziel gesetzt, bis 2050 90 % ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren und sich zu einer Smart City zu entwickeln. Dieses Ziel ist auch im Stadtentwicklungskonzept STEK 2020+ (Kaufmann, et al., 2014) verankert. Im SEAP Klagenfurt (Sustainable Energy Action Plan (Abteilung Umweltschutz, 2014)) wurden Maßnahmen zur diesbezüglichen Zielerreichung erarbeitet. Im Osten von Klagenfurt wurde 2016 der Flächenwidmungs- und Bebauungsplan für ein neues Siedlungsgebiet im Ausmaß von 10,8 ha mit 950 Wohneinheiten rechtskräftig. Dies war die Voraussetzung zum Start für die in 12 Bauabschnitten geplante Bebauung, die als sozialer Wohnbau mit öffentlichen Mitteln der Wohnbauförderung erfolgen soll.

Das Land Kärnten mit der Wohnbauförderung, die involvierten gemeinnützigen Wohnbauträger, die Diakonie de la Tour und die Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee haben sich dazu bekannt, dieses Siedlungsgebiet nach den Kriterien einer Smart City zu errichten und auch Demoprojekte durchzuführen, sofern die soziale Akzeptanz gegeben und die technisch sinnvollen Maßnahmen auch finanzierbar sind. So soll in Klagenfurt-Harbach ein neuer, attraktiver und leistbarer Wohn- und Lebensraum für rund 3.000 BewohnerInnen geschaffen werden, der auch bei zunehmender Klimaerwärmung eine sehr hohe Lebensqualität bietet. So wird neben den technologischen Aspekten für die Gebäude, den Smart-Home-Applikationen und dem nachhaltigen Mobilitätskonzept auch großes Augenmerk auf die Grün- und Freiraumgestaltung (auch Dach- und Fassadenbegrünung zum Schutz gegen die zunehmende Klimaerwärmung), die soziale Durchmischung (attraktiver und leistbarer Wohn- und Lebensraum für alle, gesellschaftliche Akzeptanz) und die Schaffung von sozialen Angeboten gelegt.

Die Bebauung erfolgt schrittweise in jährlichen Abständen, bei jeder Baustufe können damit die bei früheren Abschnitten gesammelten Erfahrungen berücksichtigt werden. Die Diakonie (als Eigentümer des Klosters Harbach und ehemaliger Grundstückseigentümer der zu bebauenden Flächen) agiert vor Ort als Quartiermanager, um das Funktionieren der sozialen Einrichtungen und das Zusammenleben in diesem neuen Stadtteil zu gewährleisten. Das Energieversorgungskonzept wurde im Projekt „Smarte Abwärmennutzung in Klagenfurt“ (kurz SAKS Klagenfurt) (Hafner, et al., 2017) und im vorliegenden Projekt näher untersucht. Dem anvisierten Start des Bauvorhabens im dritten Quartal 2018 ist eine Ausschreibung vorausgegangen, in der nicht die Wohnraumbeschaffung zentrales Thema war, sondern auch die Einbindung der zukünftigen Wohnanlage in das bestehende Areal und die Einarbeitung bestehender Infrastruktur, wie Kindergarten, Schule und Pflegeheim in einen städtebaulichen Masterplan. Ziel ist die Einbindung der Wohnanlage in das Smart City Konzept der Stadt Klagenfurt. In der ersten Baustufe, werden rd. 200 barrierefreie Wohneinheiten mit unterschiedlichen Rechtsformen (Miete, Mietkauf, Eigentum) errichtet. Die Wohnungsgrößen werden zwischen 40 m² und 102 m² liegen und die künftigen Bewohner und Bewohnerinnen können aktiv an der Gestaltung teilnehmen und ihre Wünsche und Ideen einbringen. Weiters werden auch Geschäftsflächen für Arztpraxen, Gastronomie und Dienstleistungsunternehmen angeboten. Eine Besonderheit bietet außerdem das großzügige Freiraumkonzept für Parks, Spielplätze, Begegnungszonen und Privatgärten. In Harbach wird auf smarte Technologien wie E-Car- und E-Bike-Sharing sowie ein gut ausgebautes Netz für den öffentlichen Verkehr gesetzt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Abbildung 14 Stadtgebiet Klagenfurt (© OpenStreetMap) und Neubau-Gebiet Harbach (© architekt wetschko)

Neben der Umsetzung des Neubaugebietes in Niedrigenergiehaus- Bauweise ist eine Niedertemperatur-Wärmeversorgung geplant. Die Wärme- / Kälteversorgung soll für die NutzerInnen „leistbar“ und ökologisch sein. Das Baugebiet liegt im Fernwärmeversorgungsgebiet. Ein Ziel ist es, die Abwärmepotenziale von Industrie- / Gewerbebetrieben aus dem Großraum Klagenfurt durch Speicherung (Saisonspeicher) für die Wintermonate zum Heizen von Harbach nutzbar zu machen.

Der Energiebedarf für Heizung und Kühlung für das Stadt-Entwicklungsgebiet Klagenfurt-Harbach soll durch die Nutzung der bestehenden Abwärmepotenziale abgedeckt werden. Die technische Machbarkeit wird im Rahmen des Projekts dargestellt und dient der Landeshauptstadt Klagenfurt als Entscheidung für die weitere Vorgehensweise bei der Vorbereitung der Umsetzung des Stadtentwicklungsgebietes Klagenfurt-Harbach. Damit soll es nicht nur zu einer Verringerung von Energiekosten für die EndenergienutzerInnen kommen, sondern auch die energiepolitischen Ziele (Klimaschutz, geringerer Primärenergieeinsatz) erreicht werden. Weiters erfolgt die Bewertung der ökologischen und ökonomischen Sinnhaftigkeit der ausgewählten K-FW Konzepte gegenüber dem konkurrierenden Energieversorgungskonzept im Stadt-Entwicklungsgebiet Klagenfurt-Harbach. Ebenso erfolgt eine Identifikation und Bewertung von allgemeingültigen und standortspezifischen sozio-ökonomischen Aspekten der K-FW.

Im nachfolgenden Entwurf des Bebauungsplans für das Modellgebiet Harbach, sind die 22 Einzelgebäude anhand der 12 Bauabschnitte/Teilbereiche durchnummeriert (siehe Abbildung 15). In der Tabelle 6 sind die zugehörigen energetischen Kennwerte der einzelnen Gebäude, als absoluter und als spezifischer Wert dargestellt. Als HWB ergeben sich unter den gewählten Randbedingungen 18 bis 21 kWh/m²a. Der Warmwasserbedarf (WWB) liegt zwischen 11 und 16 kWh/m²a. Der spezifische Heizenergiebedarf (HEB) der einzelnen Gebäude ergibt sich mit etwa 32 bis 37 kWh/m²a. Das gesamte Areal benötigt, in der hier gezeigten Variante VarA, 3014 MWh p.a. (siehe Tabelle 6).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

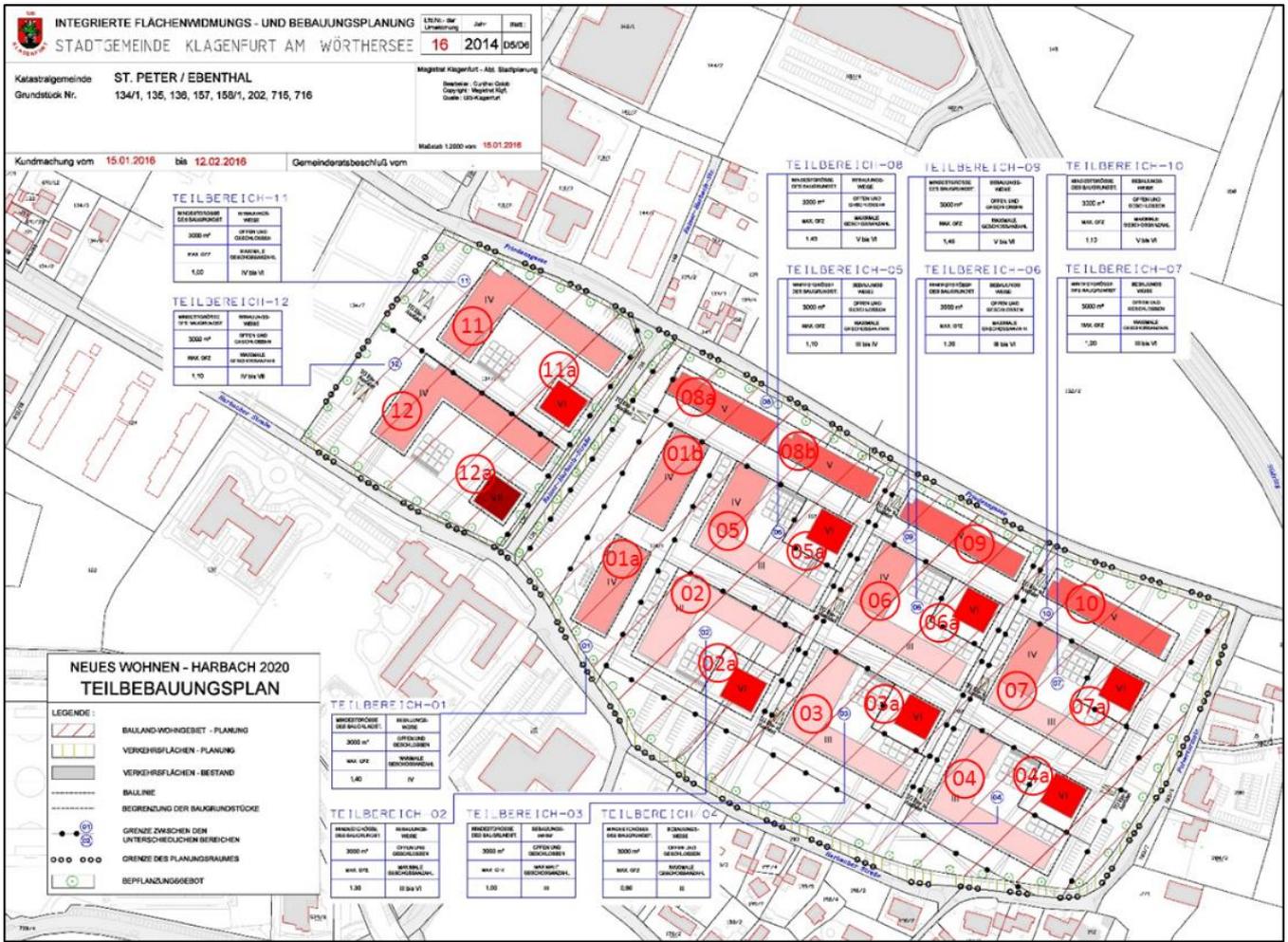


Abbildung 15 Projektinterne Bezeichnung der Einzelgebäude (Basis Bebauungsplan Harbach 2020 vom 15.01.2016)

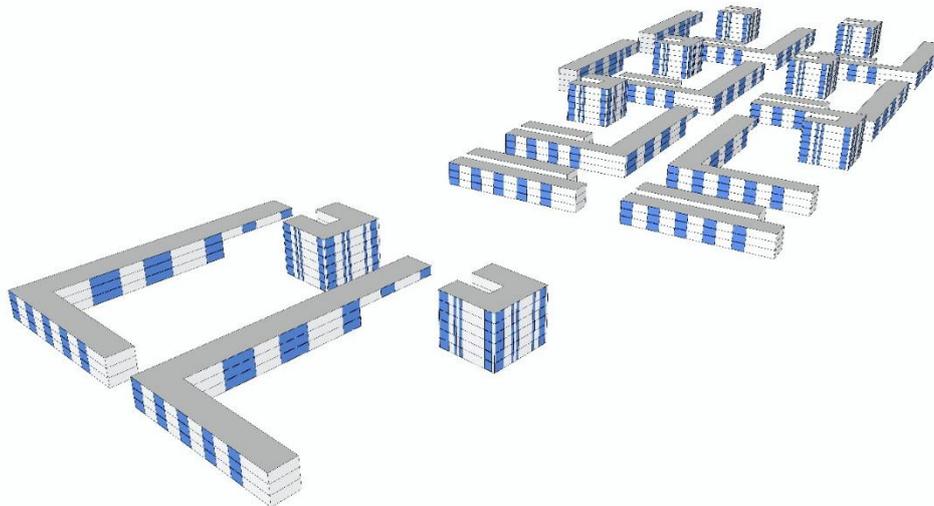


Abbildung 16 Gebäudemodell für die thermische Gebäude- und Anlagensimulation in IDA ICA (Basis Bebauungsplan Harbach 2020 vom 15.01.2016)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 6 Übersichtstabelle für das Quartier Harbach, mit Bruttogeschoßfläche (BGF), Nutzenergie (HWB + WWB), dem Heizenergiebedarf (HEB) in absoluten und spezifischen Zahlen für VarA

Gebäude	-	1a	1b	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a	6	6a	7	7a	8a	8b	9	10	11	11a	12	12a	Summe
BGF	m ²	3060	3060	5506	2237	5715	2237	5715	2237	5715	2237	5715	2237	5715	2237	2905	2583	3324	3324	6161	2237	6161	2237	82555
HWB	MWh	65.0	65.0	107.3	45.8	109.1	45.8	109.1	45.8	109.1	45.8	109.1	45.8	109.1	45.8	58.0	53.0	62.9	62.9	119.9	45.9	119.9	45.9	1625.6
WWB	MWh	35.9	35.9	75.9	35.5	77.0	35.5	77.0	35.5	77.0	35.5	77.0	35.5	77.0	35.5	34.7	31.0	38.9	38.9	73.6	35.4	73.6	35.4	1107.2
HWB+WWB	MWh	100.9	100.9	183.3	81.3	186.0	81.3	186.0	81.3	186.0	81.3	186.0	81.3	186.0	81.3	92.6	84.0	101.8	101.8	193.5	81.3	193.5	81.3	2732.8
HEB	MWh	113.0	113.0	202.8	87.3	205.6	87.3	205.6	87.3	205.6	87.3	205.6	87.3	205.6	87.3	99.9	91.3	109.1	109.1	221.1	90.8	221.1	90.8	3013.9
HWB	kWh/m ² a	21.24	21.24	19.49	20.46	19.08	20.46	19.08	20.46	19.08	20.46	19.08	20.46	19.08	20.46	19.95	20.52	18.93	18.93	19.46	20.51	19.46	20.51	19.69
WWB	kWh/m ² a	11.72	11.72	13.79	15.88	13.47	15.88	13.47	15.88	13.47	15.88	13.47	15.88	13.47	15.88	11.94	12.01	11.71	11.71	11.95	15.82	11.95	15.82	13.41
HWB+WWB	kWh/m ² a	32.96	32.96	33.28	36.34	32.55	36.34	32.55	36.34	32.55	36.34	32.55	36.34	32.55	36.34	31.88	32.52	30.64	30.64	31.41	36.33	31.41	36.33	33.10
HEB	kWh/m ² a	36.92	36.92	36.83	39.05	35.97	39.05	35.97	39.05	35.97	39.05	35.97	39.05	35.97	39.05	34.39	35.34	32.83	32.83	35.89	40.60	35.89	40.60	36.51

3.1 Energetische und exergetische Analyse des sekundären Energiesystems

Für die technologische Bewertung der in Kapitel 2.4 beschriebenen vier Wärmeversorgungskonzepte (VarA bis VarD) wurden die in Kapitel 2.5 und 2.6 beschriebenen Berechnungen für ein Mehrfamilienhaus der Modellregion Harbach (Haus 11a) exemplarisch durchgeführt. Diese detaillierten Analysen des sekundären Wärmeversorgungskonzeptes sind hinsichtlich ihrer Aussagen auf die anderen Gebäude mit gleichem Versorgungskonzept übertragbar. Ergänzt werden die Betrachtungen durch die primärseitige (FW-Netz) energetische und exergetische Analyse des FW-Netzes, die ihrerseits die unterschiedlichen Dämmserien und Versorgungstemperaturen berücksichtigen.

Hierzu zeigt die Abbildung 17 auf der linken Seite jeweils die Haustechnik Variante mit den gekennzeichneten Positionen im System, für die eine Berechnung der Exergie und Energie erfolgte. Die Varianten der unterschiedlichen Fernwärmeversorgung (Vorlauftemperatur 90 °C (FW1) bzw. 60 °C (FW2)) für die Varianten VarA und VarB unterscheiden sich für diese Betrachtung nicht voneinander, da davon ausgegangen wird, dass unabhängig von der Vorlauftemperatur der Fernwärmeversorgung im Gebäude immer eine konstante Vorlauftemperatur von 58 °C erreicht wird. Daher wurden in Abbildung 17 und auch in weiterer Folge diese Varianten nicht gesondert dargestellt. Die Auswertung erfolgte für jedes Wärmeversorgungskonzept immer erst nach der Hausübergabestation. In der Übersicht von Abbildung 17 ist der unterschiedliche Exergieverlauf der Stoffströme jeweils für Vorlauf und Rücklauf der vier Varianten dargestellt.

In Variante VarA sieht man zwischen Position 4 und 5 den Exergieabfall aufgrund der Wärmeverluste der Rohrleitungen (in Abbildung 17 links in den Schemata nach Position 4 schwarz dargestellt). Der starke Abfall zwischen Position 5 und 6 liegt an dem geringen Massenstrom der Richtung Heizung geht (die Temperatur bleibt hier ja konstant). Bei der Warmwasserbereitung ist dieser Abfall (zwischen Position 5 und 7) deutlich geringer, da hier der Massenstrom höher ist. Am Ende der Warmwasserbereitung ist der Massenstrom deutlich geringer und auch das Temperaturniveau niedriger.

Für Variante VarB sind die Aussagen genau gleich, nur das Exergieniveau liegt grundsätzlich tiefer, da aufgrund des Speichers die Massenströme geringer sind.

In Variante VarC sieht man in Position 2 die Anhebung der Exergie durch die Wärmepumpe. Ab Position 4 ist der Verlauf wieder gleich wie in Variante VarB. In Variante VarD ist der Verlauf wieder ähnlich wie in Variante VarC. Die Werte sind in den vorderen Positionen nur etwas niedriger. Bei der Warmwasserbereitung sieht man am Ende wieder die Anhebung der Exergie durch die zweite Wärmepumpe.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

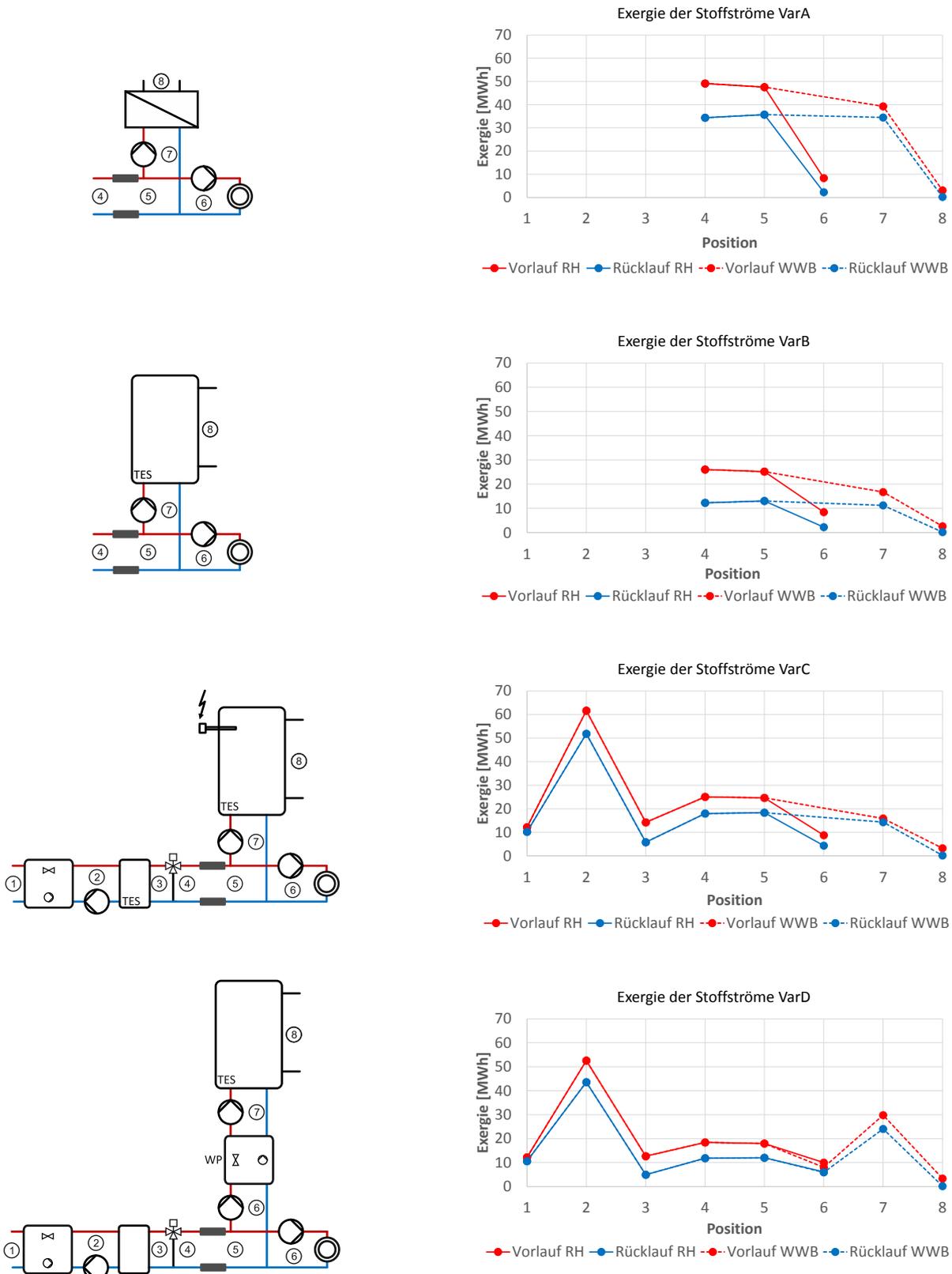


Abbildung 17 Exergie der Stoffströme in den vier Wärmeversorgungskonzepten

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Noch deutlicher sieht man die Unterschiede der Varianten im direkten Vergleich der Abbildung 18. In Variante VarA ist bei einer Vorlauftemperatur von 58 °C aufgrund der direkten Versorgung ein relativ hoher Massenstrom (im Mittel 1178 kg/h) notwendig, was in Position 4 im Vorlauf zu einem Exergiewert von ca. 50 MWh führt. Für die Variante VarB ist zwar die Vorlauftemperatur gleich, aufgrund des thermischen Energiespeichers in der Warmwasserbereitung reicht im Vorlauf jedoch ein deutlich geringerer Massenstrom (im Mittel 593 kg/h). Daher ergibt sich hier ein Exergiewert von nur 26 MWh in Position 4. Für Variante VarC und VarD wird von einer Versorgung über Grundwasser mit einer konstanten Temperatur von 15 °C ausgegangen. Dies führt an Position 1 (nach der Übergabestation) zu einem sehr geringen Exergiewert von 12 MWh. Dieser Wert muss mit der zentralen Wärmepumpe deutlich angehoben werden (auf ca. 60 MWh), um anschließend in Position 4 eine konstante Vorlauftemperatur von 35 °C zu gewährleisten. Für die Variante VarD ist in der Warmwasserbereitung am Ende noch einmal ein Anstieg der Exergie aufgrund der zweiten dezentralen Wärmepumpe zu erkennen (in Abbildung 18 ,rechts).

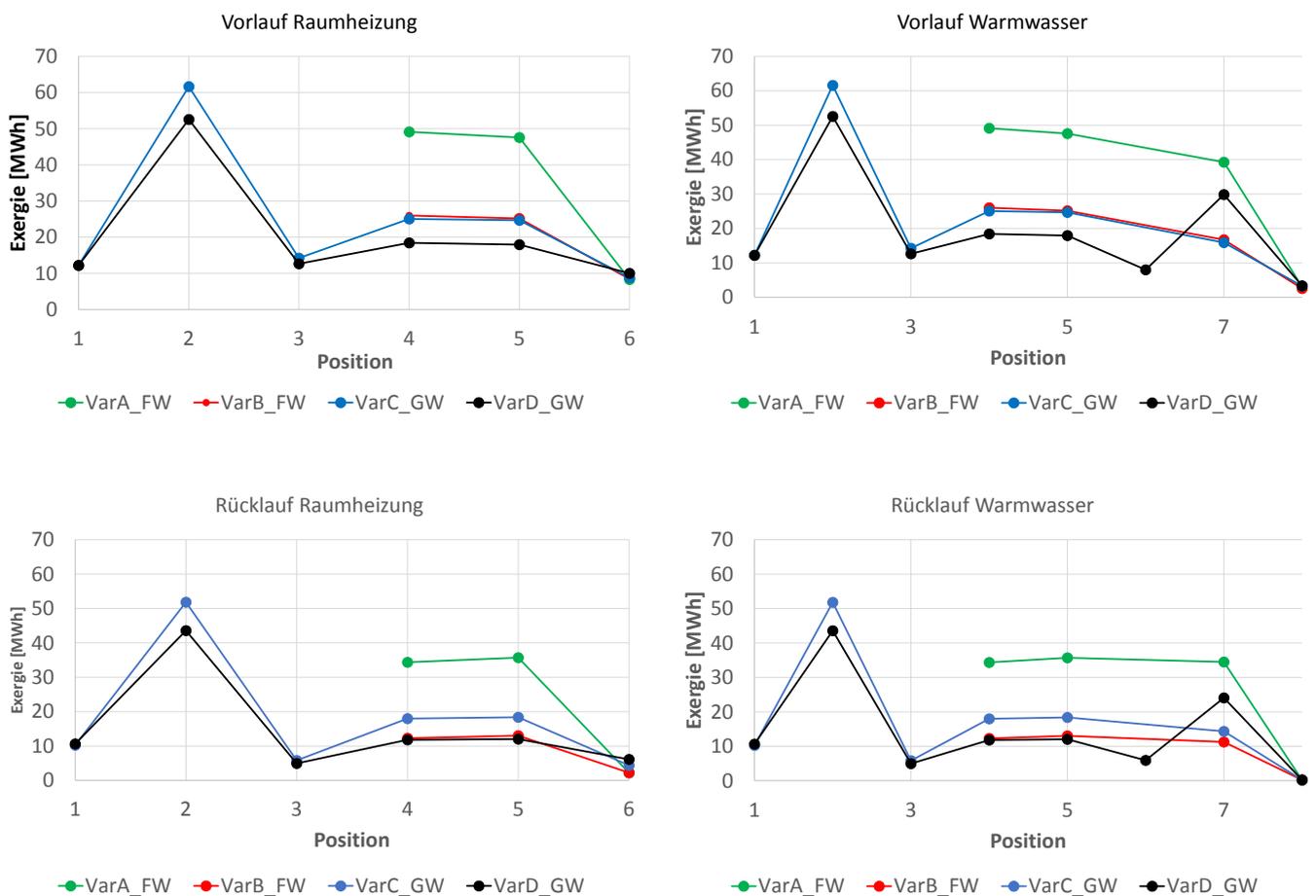


Abbildung 18: Exergieverlauf der Stoffströme im Vergleich; links Raumheizung, rechts Warmwasser

Abbildung 19 zeigt den Verlauf der Energie und der Exergiedifferenz für die Wärmeversorgungs-konzepte. Auch hier ist der Einfluss der Wärmepumpen in den Varianten VarC und VarD deutlich zu sehen.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Exergiedifferenz ist vom Verlauf der Energie sehr ähnlich, obwohl die Änderungen zwischen den einzelnen Positionen nicht so deutlich ausgeprägt und die Werte für alle Positionen um mehr als ein Drittel geringer sind.

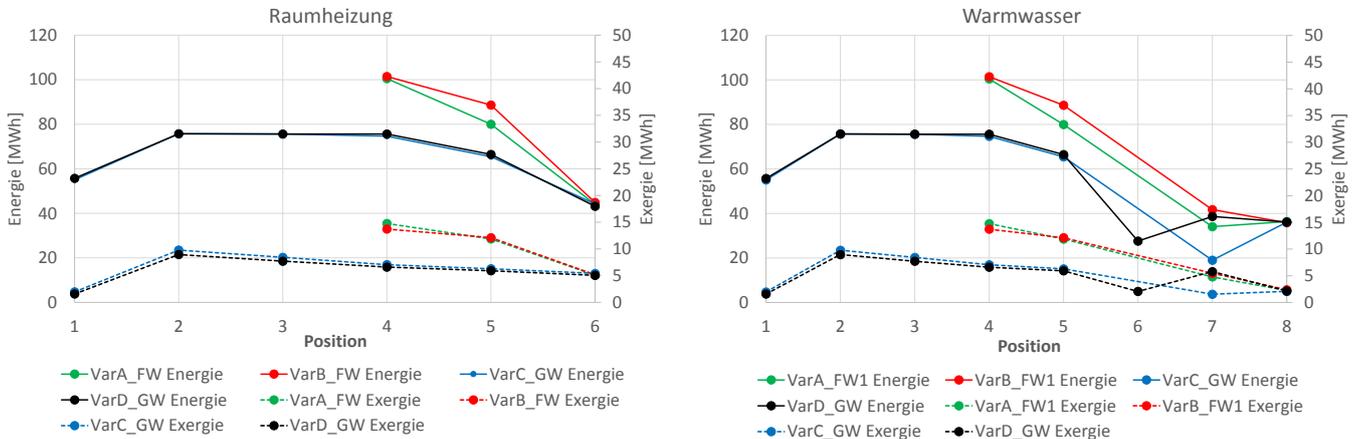


Abbildung 19: Variantenvergleich für Energie (linke Achse) und Exergiedifferenz (rechte Achse) an den gekennzeichneten Positionen

Der Energievergleich in Abbildung 20 zeigt, dass der HEB* (der Heizenergiebedarf ohne Strom entspricht der Energie, die über das Wärmenetz zur Verfügung gestellt wird) bei VarC und VarD deutlich reduziert werden kann; jedoch ist hier dafür der Strombedarf von 48 bzw. 34 MWh (vor allem für die Wärmepumpen und den Heizstab) zu beachten.

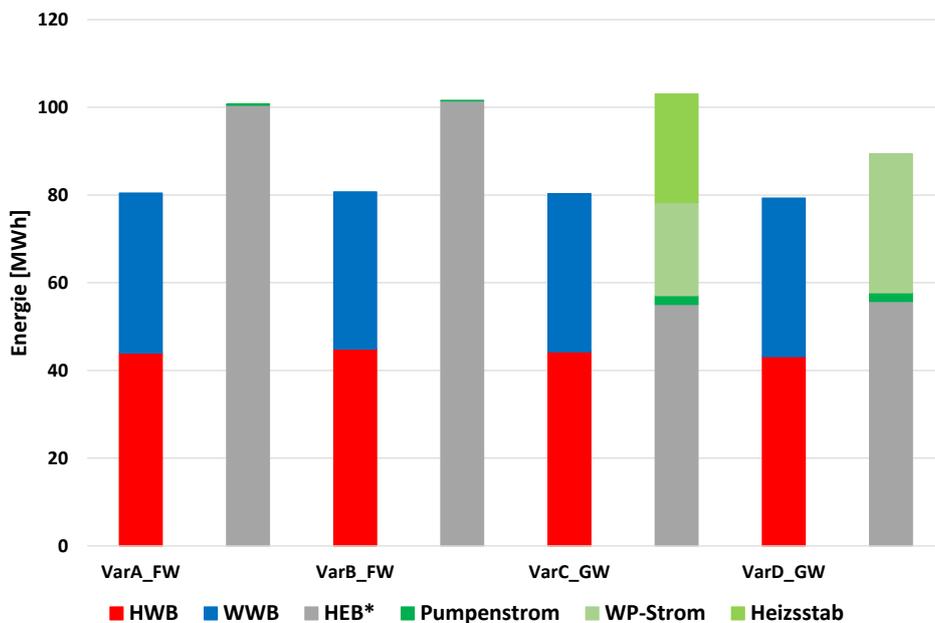


Abbildung 20: Vergleich der Energieanteile für die Wärmeversorgungskonzepte (HWB = Heizwärmebedarf; WWB=Warmwasserenergiebedarf; HEB*=Heizenergiebedarf ohne Strom; WP-Strom=Wärmepumpenstrom)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Noch deutlicher ist der Stromeinsatz bei einer exergetischen Betrachtung zu sehen (Abbildung 21). Hier wird der Strom zu 100 % als Exergie eingesetzt. Für die letzten Varianten sind höhere Investitions- und Wartungskosten aufgrund der Wärmepumpen zu erwarten.

Dafür werden die Kosten für die Versorgung über Grundwasser deutlich niedriger liegen, als für die Versorgung über Fernwärme, obwohl für die Grundwasser-Wärmepumpe Bohrungen für den Förder- und Schluckbrunnen zu berücksichtigen sind. Zudem kann bei Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energieformen (Wasserkraft, Windkraft, PV) die CO₂-Emission des Gesamtsystems deutlich reduziert werden.

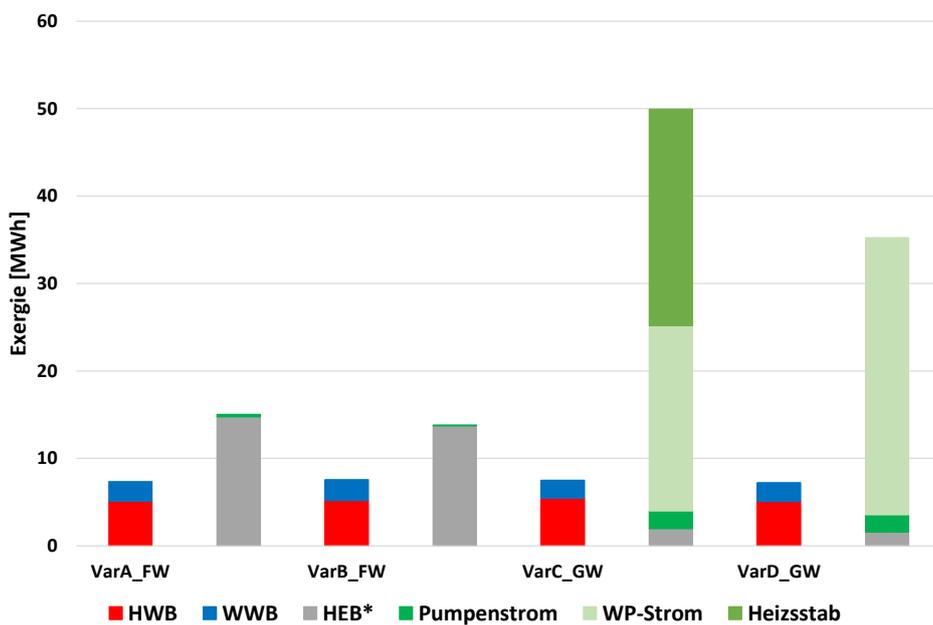


Abbildung 21: Vergleich der Exergieanteile für die Wärmeversorgungskonzepte (HWB = Heizwärmebedarf; WWB=Warmwasserenergiebedarf; HEB*=Heizenergiebedarf ohne Strom; WP-Strom=Wärmepumpenstrom)

3.2 Konzept - Saisonspeicher für Abwärme

Im Projekt SAKS Klagenfurt – gefördert vom Klima- und Energiefonds – wurden vom Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee, der Energie Klagenfurt und der Grazer Energieagentur Abwärmepotenziale im Großraum Klagenfurt analysiert (Hafner, et al., 2017). Ebenso wurden mögliche Standorte und Abwärmepotenziale für große Wärmespeicher aufgezeigt und für vier dieser Standorte auch die wesentlichen Abmessungen des Speichers angegeben. Diese Ergebnisse wurden hier verwendet, um mit thermischer Anlagensimulationen in TRNSYS zu untersuchen, inwieweit die Abwärme Potentiale – die zum großen Teil im Sommer anfallen – durch Nutzung eines Wärmespeichers die Wärmeversorgung der geplanten Siedlung in Harbach unterstützen können. Es kann damit aus den Einzelbetrachtungen, hinsichtlich Saisonspeicher, Wärmeversorgungskonzepten und FW-Variante, ein passendes Gesamtkonzept für den Standort Harbach erstellt werden. So wären mehrere Kombinationen der Varianten denkbar.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Zum Beispiel, eine hinsichtlich der Investitionskosten günstigen Variante, mit Saisonspeicher & FW2 & VarB – d.h. eine Niedertemperatur-FW versorgt ein Wärmeversorgungs-konzept mit Radiator und dezentralen Warmwasserspeichern aus den Saisonspeicher, der seinerseits mit Abwärme aus dem FW-Netz der Stadt Klagenfurt versorgt wird.

3.2.1 Annahmen und Randbedingungen

Der Aufbau der Simulation ist in Abbildung 22 dargestellt. Auf der linken Seite ist die Wärmeversorgung über Wärmenetz bzw. Abwärme modelliert. Mit Type 342 wird ein erdvergrabener Wärmespeicher abgebildet. Eine Beimischschaltung (Type 11h_H und Type 11b_H) sorgt dafür, dass die Temperatur in Richtung Abnahme bei konstanten 58 °C liegt. Diese Temperatur wurde bei der Erstellung der Lastdaten über eine Gebäudesimulation für die Versorgung angenommen. Sollte diese Temperatur nicht erreicht werden erfolgt eine ideale Zuheizung über Type 6. Die Abnahme auf der rechten Seite erfolgt über die berechneten Lastdaten für die geplante Siedlung Harbach. Über den Type15-2 werden Wetterdaten für Klagenfurt eingebracht und über Printer und Plotter werden Daten ausgegeben.

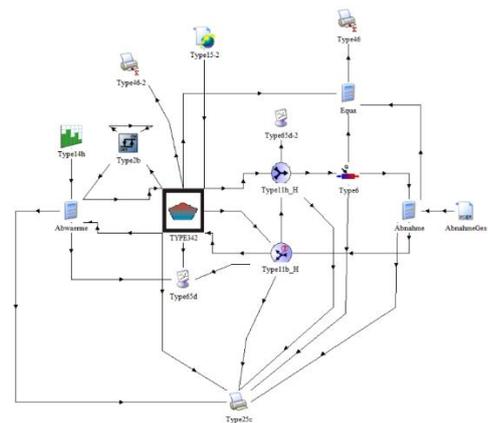


Abbildung 22: Darstellung des Simulationsaufbaues im TRNSYS Studio

Energieversorgung

Für die Grundversorgung wird angenommen, dass der Speicher über einen Wärmenetzanschluss auf Temperatur gehalten wird. Unter der Annahme, dass es sich hier um den Rücklauf der Fernwärme handelt wird hier eine konstante Temperatur von 65 bzw. 55 °C verwendet (siehe auch Tabelle 7). Der Massenstrom von 100 000 kg/h wird eingeschaltet, wenn die Temperatur ganz unten im Speicher unter 53 °C fällt und wieder ausgeschaltet, wenn die Temperatur über 55 °C steigt. Zusätzlich wird über einen zweiten Anschluss die Abwärme mit einer Temperatur von 85 °C in den Speicher eingebracht. Der Massenstrom wird hier über das monatliche Leistungsprofil berechnet, das in weiterer Folge dargestellt wird.

Abwärme – 3657 MWh p.a.

Dieses Abwärmepotential (Abbildung 23) wurde dem Projekt „Smarte Abwärmennutzung durch Kühlung und Speicherung“ (SAKS) für Klagenfurt entnommen (Hafner, et al., 2017). Hier fällt die Abwärme vorwiegend in den Monaten Mai bis September an. In Summe ergeben sich 3 657 MWh im Jahr. Das Temperaturniveau der Abwärme mit 85 °C angenommen. Für die Auskleidungsfolie des Erdbeckenspeichers wird eine garantierte Maximaltemperatur von 90 °C angegeben. Diese Maximaltemperatur wird im Projekt SAKS zu Grunde gelegt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

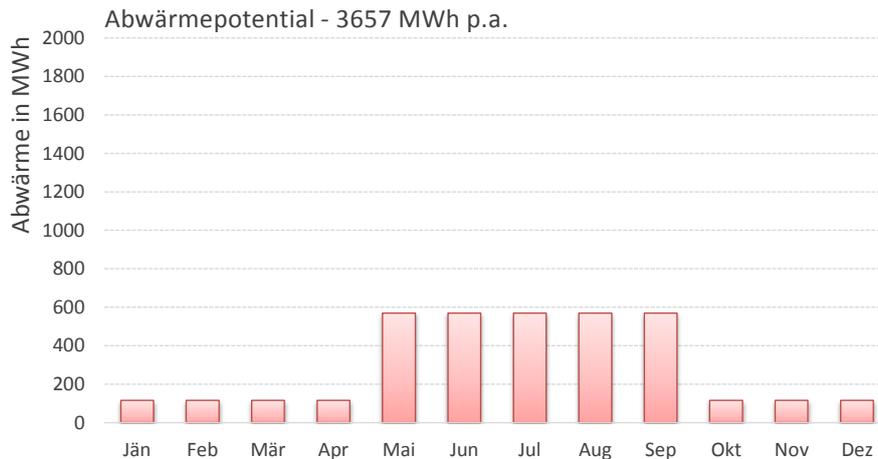


Abbildung 23 Abwärme Potential nach (Hafner, et al., 2017) – 3657 MWh p.a.

Abwärme - 8685 MWh p.a.

Das Abwärme Potential in Abbildung 24 wurde einem Vortrag entnommen, der im Rahmen des schon erwähnten Projektes SAKS von (Meissner, 2016) gehalten wurde. Diese Ausarbeitung (Szenario 2) zeigt deutlich höhere Werte und ergibt im Jahr 8 685 MWh. Dieses hohe Abwärmepotential ist nur dann erreichbar, wenn Abwärmequellen außerhalb des derzeitigen (2017) Fernwärmeleitungsnetzes erschlossen werden können. Daher ist diese hohe Abwärme nur als mögliches Zukunftsszenario zu betrachten. Auch hier wurden 85 °C als Sollvorlauftemperatur gewählt.

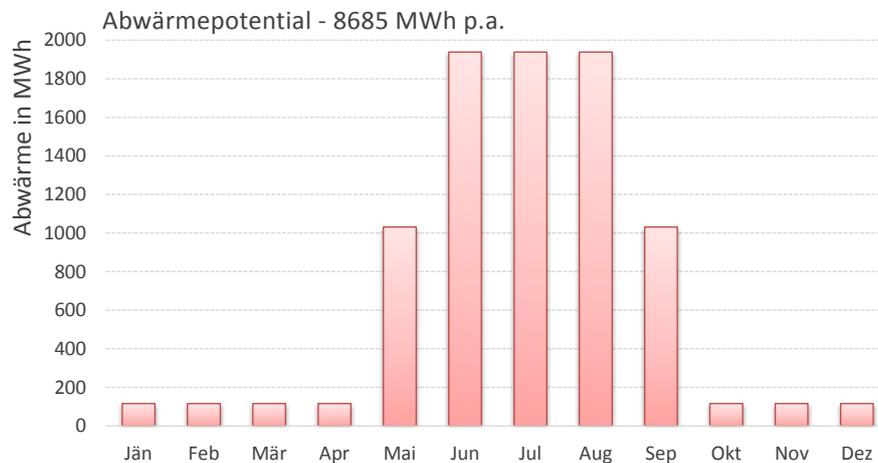


Abbildung 24 Abwärme Potential nach (Meissner, 2016) – 8685 MWh p.a.

Speicher

Das Volumen und die Tiefe des Erdbeckenspeichers wurde ebenso dem Projekt SAKS (Hafner, et al., 2017) entnommen. Die Position und Dicke einer Dämmung wurde in coldHEAT wie folgt definiert: Die Dämmung wurde mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.04 W/(mK) angesetzt. Die Dicke der Dämmschicht beträgt am Speicher oben 50 cm, seitlich 40 cm und unten 30 cm. Die Klimadaten für Klagenfurt wurden mit Meteororm (Meteotest, 2017) generiert, um mithilfe der Außenlufttemperatur und der Erdoberflächentemperaturen die Verluste des Speichers zu ermitteln (siehe Kapitel 2.8).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

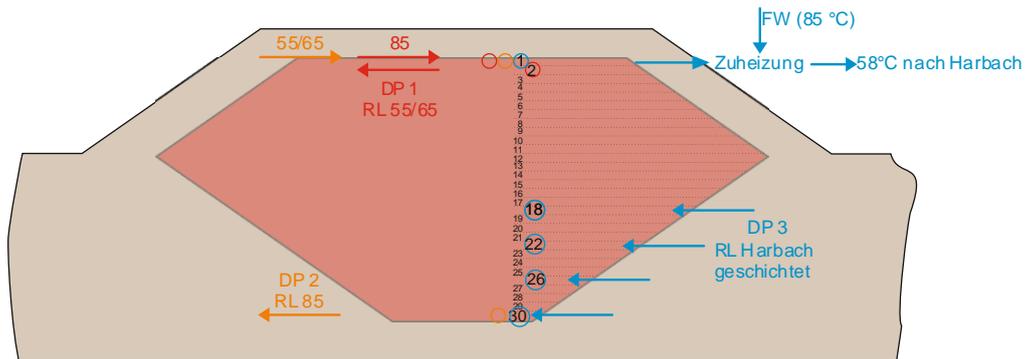


Abbildung 25 Schematische Darstellung der Speichereinbindung

In Abbildung 25 sind die Anschlüsse des Speichers dargestellt. Das Speichermodell (siehe Kapitel 2.8) wurde mit 30 Knoten parametrisiert. Mit dem ersten Double Port (DP1) werden die beiden oberen Knoten über den Fernwärmerücklauf auf Temperatur gehalten. Die Abwärme kann über DP2 den gesamten Speicher beladen (Eingang auf Knoten 1 ganz oben und Ausgang auf Knoten 30 ganz unten). Die Energieabnahme erfolgt mit DP3 aus dem obersten Knoten. Hier wird mit einer idealen Zuheizung dafür gesorgt, dass die Temperatur nicht unter 58 °C fällt. Der Rücklauf von DP3 wird in den Speicher an den Knoten 18, 22, 26 und 30 eingeschichtet.

Energieabnahme

Für den Energiebedarf der geplanten Siedlung in Harbach wurden umfangreiche Gebäudesimulationen mit IDA-ICE durchgeführt. Die daraus gewonnenen Ergebnisse wurden zu einer Lastdatendatei zusammengeführt, die anschließend für die Anlagensimulation in Form einer Textdatei genutzt wurde. Diese Textdatei beinhaltet Stundenwerte für Rücklauf­temperatur und Massenstrom. Die monatliche Abnahme von Harbach sieht man in Abbildung 26.

3.2.2 Beschreibung der Varianten

Für eine Analyse wurden die Fernwärm­temperatur, das Abwärmepotenzial und die Speicher­geometrie variiert. Für die Fernwärm­versorgung wurden konstante Temperaturen von 65 bzw. 55 °C angenommen. Das Abwärmepotenzial und die Speicher­geometrie stammen aus dem Projekt SAKS (Hafner, et al., 2017). In Tabelle 7 sind die Parameter für die unterschiedlichen Varianten zusammengefasst.

	Fernwärm­temperatur °C	Abwärmepotenzial MWh/a	Speichervolumen m ³	Speichertiefe m	
Tabelle 7	Basisvariante	65	3657	87173	12.29
Parameter der unterschiedlichen Simulationsvarianten	Variante 1	65	3657	105311	15.15
	Variante 2	65	3657	31876	10.33
	Variante 3	65	3657	49729	10.81
	Variante 4	65	8685	87173	12.29
	Variante 5	65	--	87173	12.29
	Variante 6	55	3657	87173	12.29

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

3.2.3 Ergebnisse

Die monatliche Auswertung in Abbildung 26 zeigt für die Basisvariante, dass nur in den Monaten Februar, März und April Energie über das Wärmenetz erforderlich ist. Die Zuheizung ist vernachlässigbar. Für Variante 4 (höheres Abwärmepotenzial) ist die Versorgung vollständig ohne Fernwärme und Zuheizung gewährleistet werden. Die Temperaturen im Speicher (siehe Abbildung 27) zeigen für die Basisvariante, dass im Frühjahr die Temperatur oben auf ca. 60 °C gehalten wird. Im Sommer steigen die Temperaturen oben aufgrund der Abwärme bis auf knapp über 80 °C. Die Temperaturen in der Mitte des Speichers (T15) und ganz unten (T30) steigen nur wenig an und bewegen sich in etwa zwischen 30 und 50 °C. Für die Variante 4 liegen die Temperaturen bis zur Mitte des Speichers nahezu das ganze Jahr über 80 °C. In den Sommermonaten steigt aufgrund des hohen Abwärmepotenzials auch die Temperatur ganz unten im Speicher auf über 80 °C. Der Speicher ist in diesem Zeitbereich vollständig durchgeladen und es kann keine Abwärme mehr eingebracht werden.

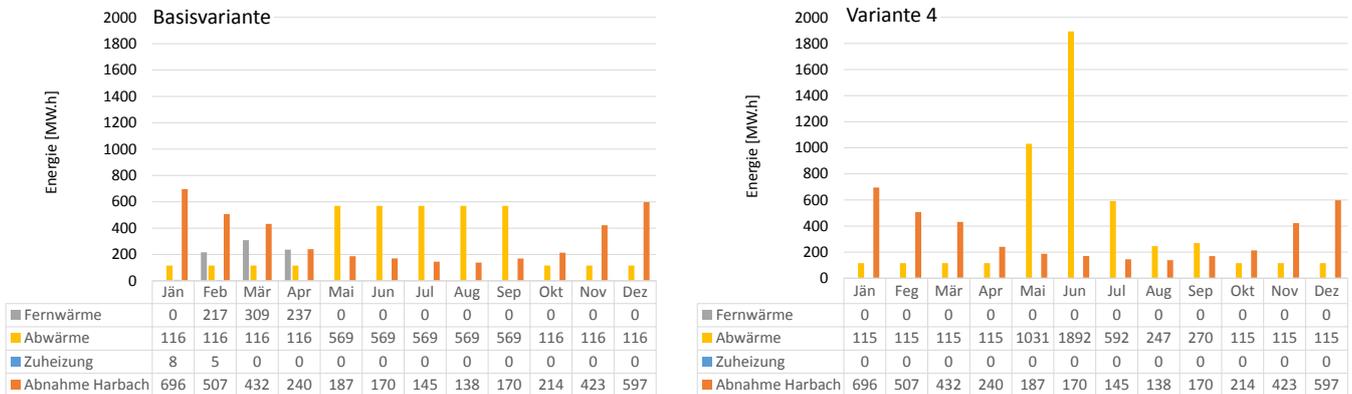


Abbildung 26 Monatliche Energieanteile für die Basisvariante (links) und Variante 4 (rechts)

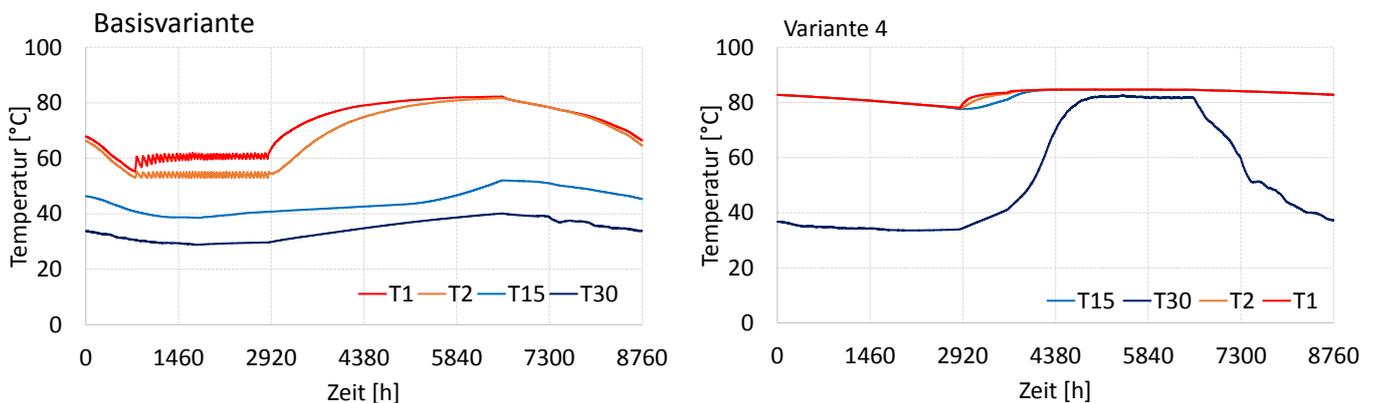


Abbildung 27 Jahresverlauf der Temperatur im Speicher in den Knoten 1 (oben), 2, 15 und 30 (unten)

Der Vergleich der Varianten in Abbildung 28 zeigt, dass aufgrund der zu geringen Temperaturen im Speicher die Zuheizung nur für die letzte Variante notwendig ist. Für alle Varianten mit Abwärme ist die zugeführte Energie über die Fernwärme relativ gering.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Bei Variante 2 kann aufgrund des zu kleinen Speichers nicht die gesamte Abwärme im Speicher untergebracht werden. Vor allem zeigt Variante 4, dass das angenommene höhere Abwärmepotenzial bei weitem nicht genutzt werden kann. Hier wäre ein deutlich größerer Speicher notwendig. In dieser Variante wäre die Versorgung der Siedlung komplett über die Abwärme möglich.

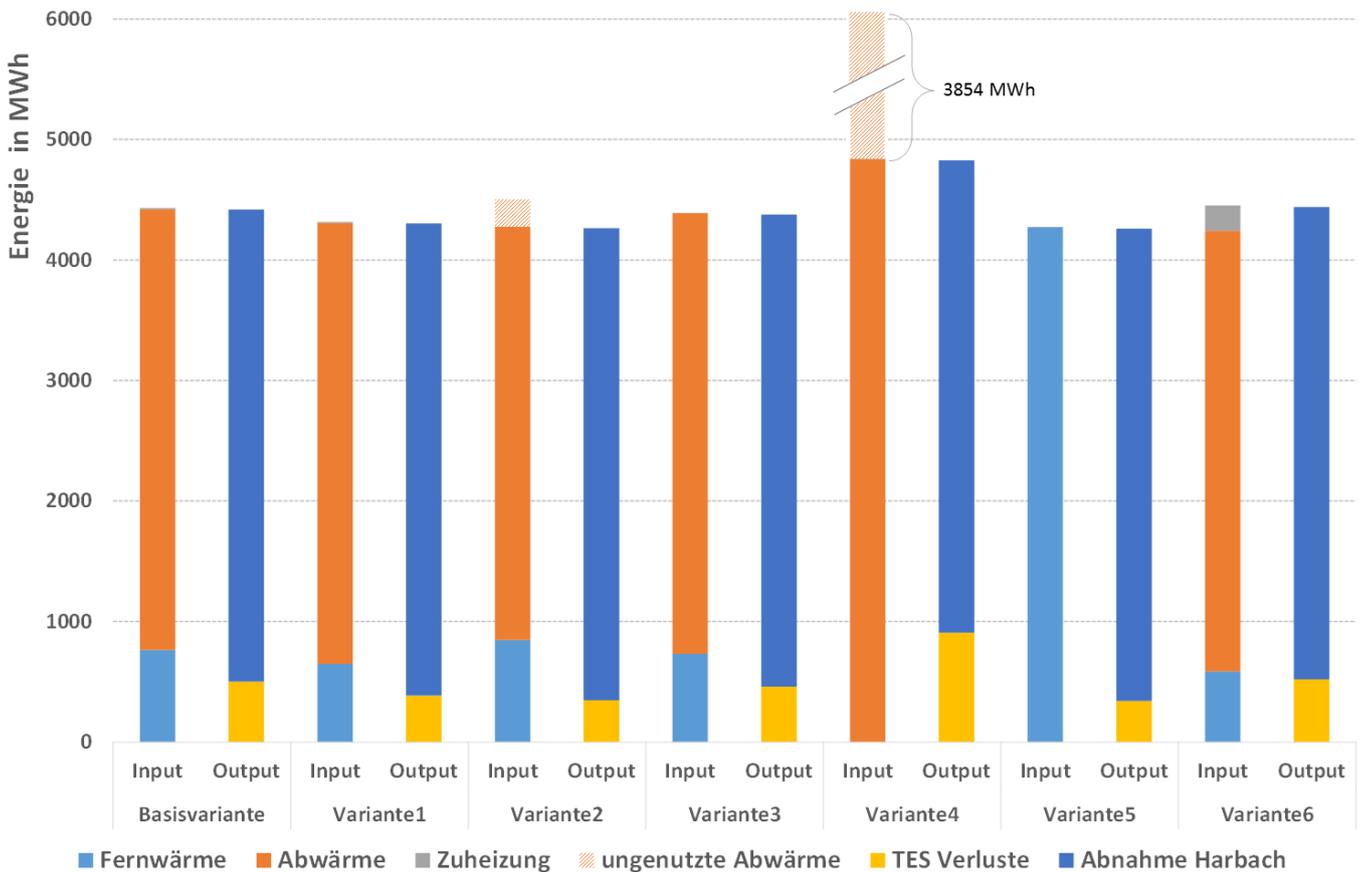


Abbildung 28 Jahreswerte für die Energieeinträge (Input) und Energieentnahme (Output) am Speicher

3.3 Räumliche Modellierung

Die räumliche Modellierung von Klagenfurt und Harbach wurde von iSPACE limitiert umgesetzt. Für gesamt Klagenfurt wurden, reglementiert durch die verfügbaren Daten, Abschätzungen für den Kälte- und den Wärmebedarf ermittelt (siehe Abbildung 29 und Abbildung 30). Ein inhaltlicher Abgleich von Gebäuden ausgewiesen im offiziellen Kataster mit Gebäuden ausgewiesen in OpenStreetMap zeigte eine Diskrepanz in beiden Datensätzen. Um eine bestmöglich Datengrundlage für die folgenden Analysen zu gewährleisten wurden beide Datensätze verschnitten und im Einzelfall hinsichtlich ihrer Plausibilität gewichtet. Durch die nur fragmentarisch vorliegende Information zum Gebäudetyp konnte nur eine vereinfachte Bedarfsabschätzung (Rehbogen, et al., in Press) umgesetzt werden.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

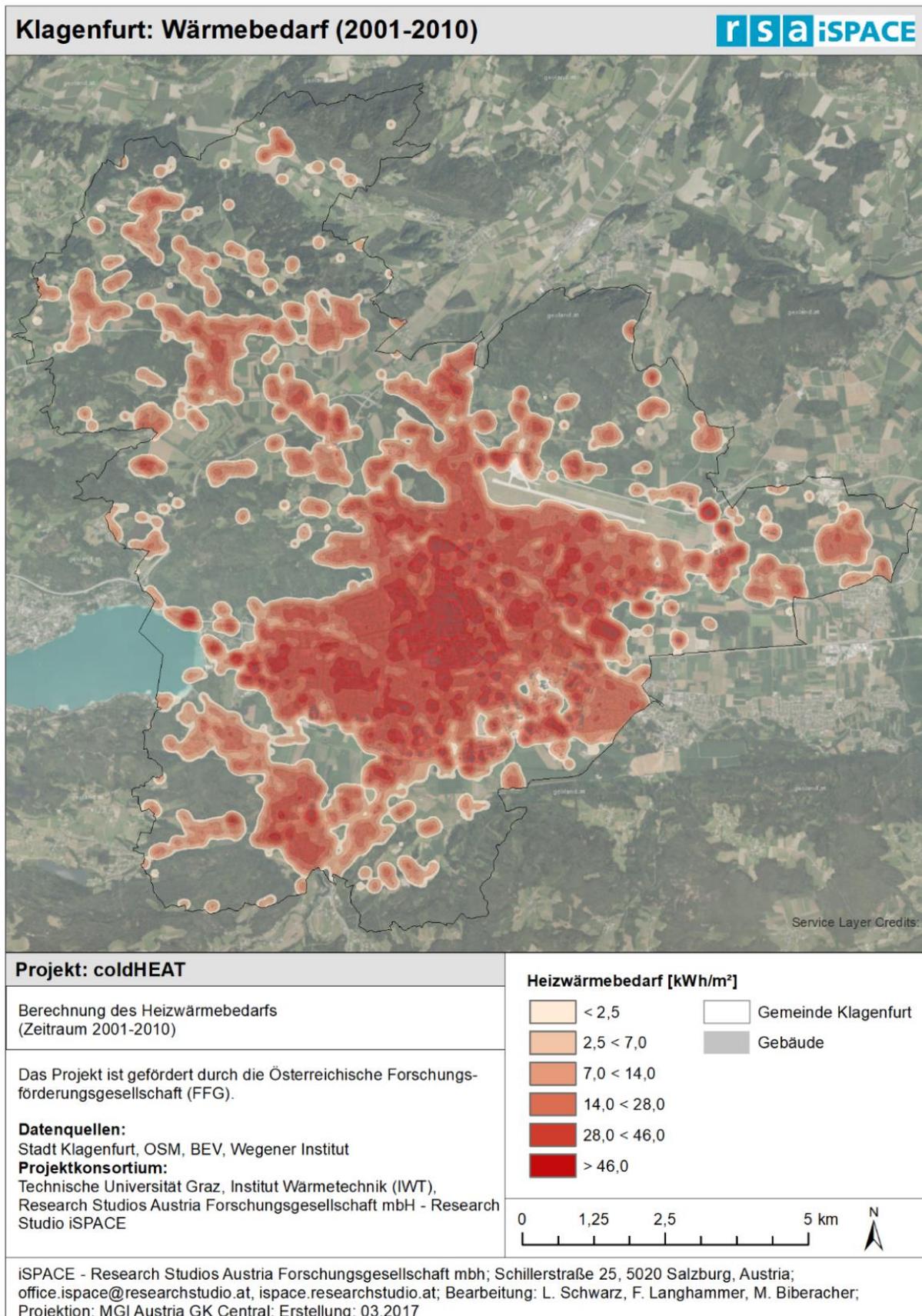


Abbildung 29 Heatmap des abgeschätzten Wärmebedarfs von Klagenfurt für 2001 bis 2010

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

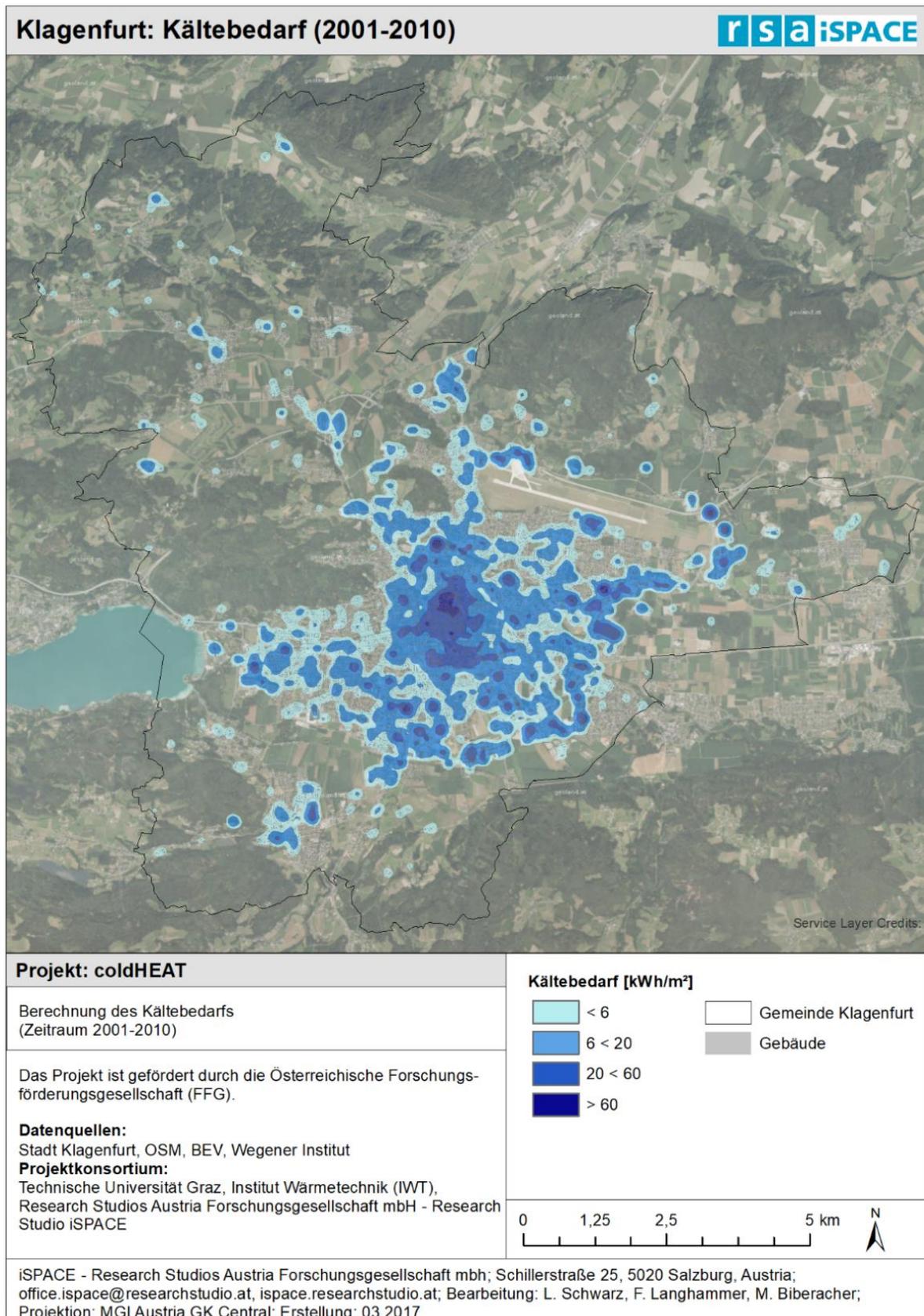


Abbildung 30 Heatmap des abgeschätzten Kältebedarfs von Klagenfurt für 2001 bis 2010

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Dies schließt auch das Fehlen eines Sekundärdatensatzes zur Abschätzung individueller Gebäudehöhen und im Weiteren, Gebäudevolumina für eine vertiefende Abschätzung relevanter Wärme und Kältebedarfsmengen ein. Mit Energiekennzahlen aus verschiedenen wissenschaftlichen Ausarbeitungen (Töglhofer, et al., 2009; Bayer, et al., 2011; Giselbrecht, 2005; Streicher, et al., 2010; Peritsch, 2006) wurde für jedes Gebäude ein möglicher Energiebedarf für Wärme und Kälte abgeschätzt. Diese Ergebnisse wurden für den Zeitraum 2001 bis 2010 veranschlagt und als Heatmap räumlich dargestellt. Der Energiebedarf für Kälte und Wärme bündelt sich kumulativ im Zentrum von Klagenfurt. Durch die räumlich zerstreuten Siedlungen im ländlichen Raum sinkt die Bedarfsdichte. Die Schwierigkeiten der Versorgung des ländlichen Raums zeigen sich durch die sinkenden Dichten und zunehmenden Distanzen auf.

3.4 Netztopologie

Auf Basis des Flächenwidmungs- und Bebauungsplanes der Stadtgemeinde Klagenfurt, kundgemacht am 15.1.2016, (Gemeinderatsbeschluss v. 26.4.2016) und der Informationen hinsichtlich der umliegenden Infrastruktur erfolgte die Entwicklung des topologischen Erschließungskonzeptes für die leitungsgebundene Wärmeversorgung (Abbildung 31), welche in das thermohydraulische Netzberechnungsprogramm überführt wurde, um die verschiedenen Varianten zu dimensionieren und hinsichtlich deren Parameter (Wärmeverlust, Druckverlust, etc.) zu prüfen/vergleichen. Bezüglich der Analyse der unterschiedlichen Verteilnetzvarianten wird auf die technoökonomische Analyse verwiesen (siehe Kapitel 3.7).

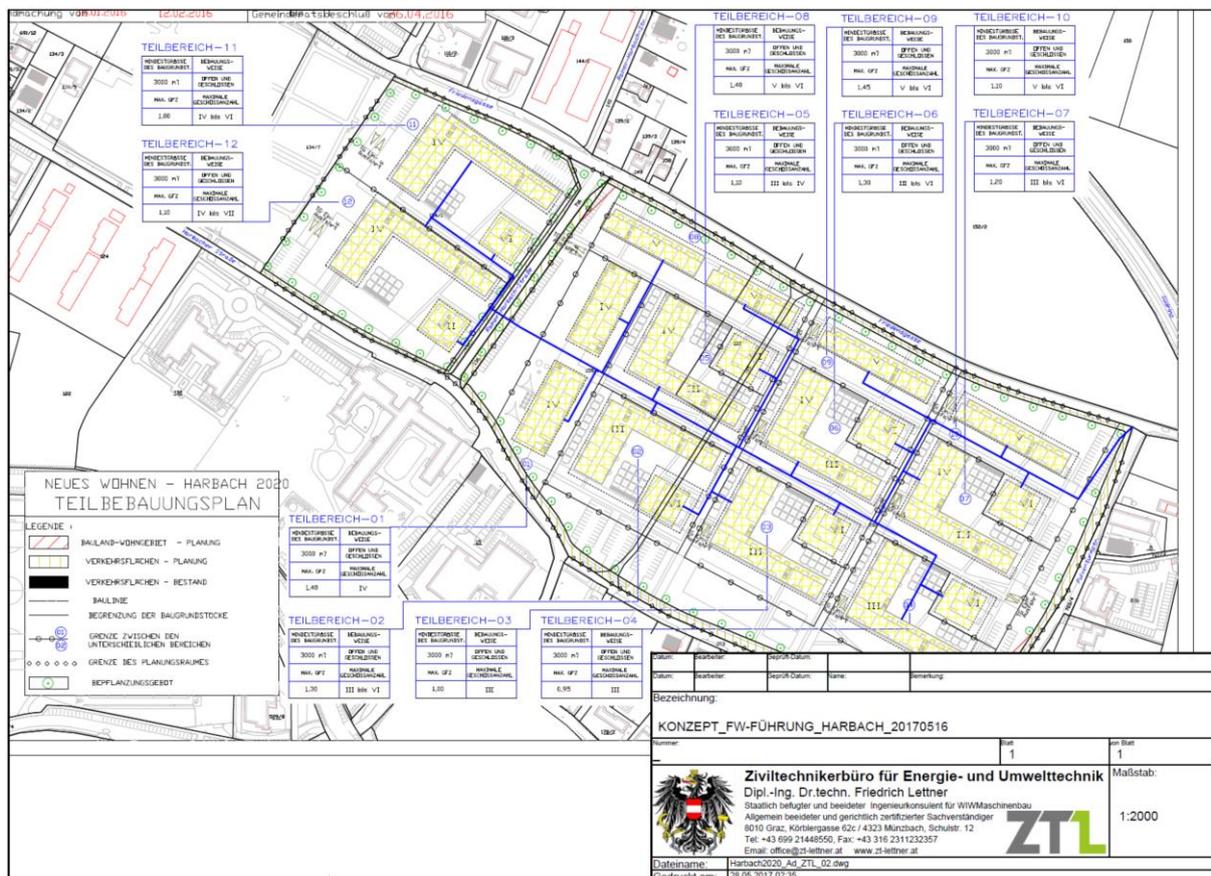


Abbildung 31 Konzept zur Führung der FW-Leitung in der Modellregion Harbach

3.5 Energetische und ökologische Bewertung des Energiesystems

In den folgenden Unterkapiteln werden verschiedene Detailbeurteilungsparameter der untersuchten Varianten (primär- und sekundärseitige Wärmeversorgung), für den Standort Harbach zusammengefasst.

3.5.1 Detailbetriebsparameter des Verteilnetzes

Bezüglich exemplarischer Detailbetrachtungen zum Betriebsverhalten des Verteilnetzes können in diesem Zusammenhang die folgenden Diagramme (Abbildung 32) für den Auslegungslastfall (links) und einen Sommerlastfall (rechts, August) und die Tabelle 8 diskutiert werden: Aus dem Vergleich ist erkennbar, dass im Teillastfall die Druckverluste entsprechend sinken und de facto nur mehr auf den Druckverlust der Übergabestation bzw. der entsprechenden Hydraulik absinken und gleichzeitig die Temperaturen im Netz aufgrund der geringen Auslastung und höheren Verweilzeit, bzw. höheren relativen Wärmeverluste sinken, die Versorgungszeit aufgrund der geringeren Geschwindigkeit steigt.

Tabelle 8 Übersichtstabelle der relevanten Netzparameter (exemplarisch) für Harbach / Klagenfurt

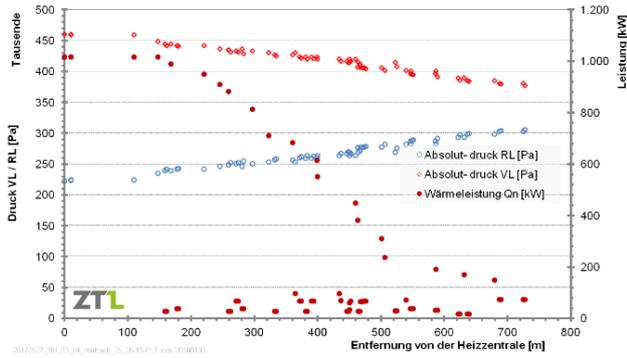
Harbach - Auslegungsfall, 90/40, DS3			
Monat			13
Leistungsfaktor	[%]		100
Netz-Speiseleistung	[kW]		1.141
Netz-Abnehmerleistung	[kW]		1.117
Netzverlust	[kW]		24
Netzwirkungsgrad	[%]		98
Netzverlust	[%]		2
Einsgespeiste Exergie	[kW]		191
Abgegebene Exergie	[kW]		186
Exergetischer Wirkungsgrad	[%]		97
Minimaler Druck im Netz	[Pa]		223.241
Maximaler Druck im Netz	[Pa]		551.390
Rücklaufdruck um Heizhaus	[m]		22,3
Druckverlust Netz	[m]		32,8
Vorlaufdruck im Heizhaus	[m]		55,1
Volumenstrom	[m³/h]		19,9
Druckverlust-Faktor Netz c	[m/(m³/h)²]		0,08
Glatt/Rau	[mm]		
Pumpleistung theoretisch, ideal	[kW]		1,82
Exergiegehalt Netz-Speiseleistung	[%]		16,8
Exergiegehalt Netz-Abgabeleistung	[%]		16,7
Temp. Netzspeisung VL	[°C]		90,0
Temp. Netzspeisung RL	[°C]		39,7
Temp. Min. Abnehmer VL	[°C]		88,3
Minimale geodätische Höhe	[m]		440
Kesselhaus-Höhe	[m]		440
Maximale geodätische Höhe	[m]		440
Ausdampfdruck inkl. Reserve	[Pa]		223.240
Durchschn. Netz-Druckreserve	[%]		320 ¹⁾
Durchschn. Netz-Leistungsreserve	[%]		105 ¹⁾
gesch. Netz-Grenz-Speiseleistung	[kW]		2.337
gesch. Netz-Grenz-Abnehmerleistung	[kW]		2.288

1) ... grob geschätzt bei gleichen Systemtemperaturen - Grenzen sind durch genaue Rechnung an der Grenze detailliert zu bestimmen.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Auslegungsfall



Lastfall Mitte August

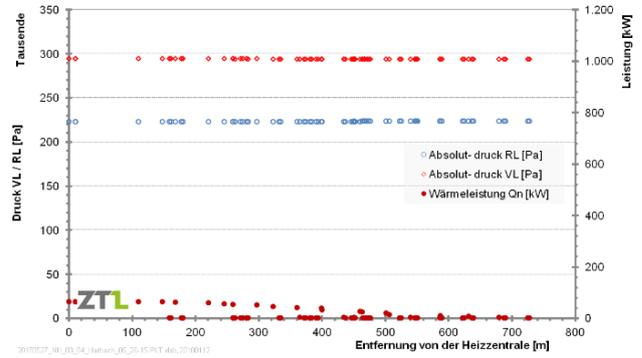


Abb - Druck- und Leistungsentwicklung im Verteilnetz

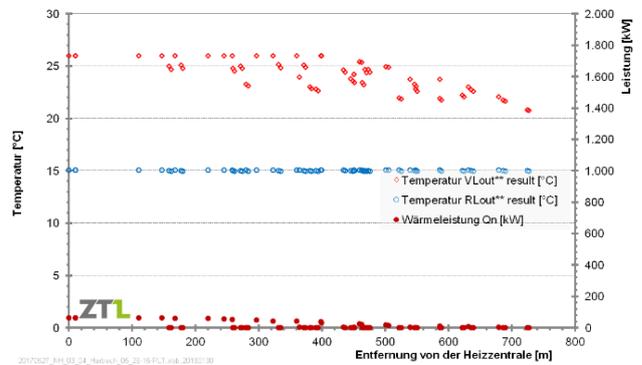
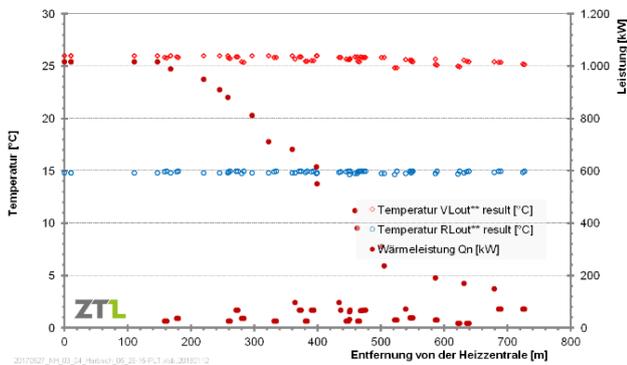


Abb - Vor- und Rücklauftemperatur und Leistungsentwicklung im Verteilnetz

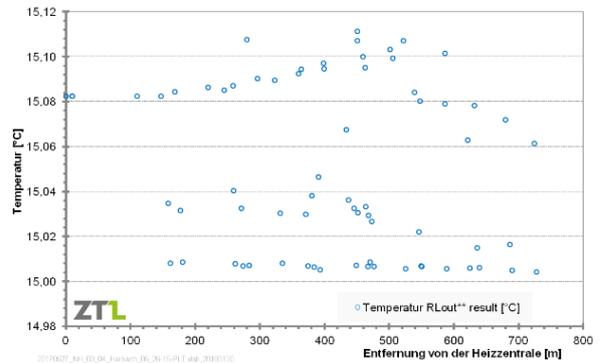
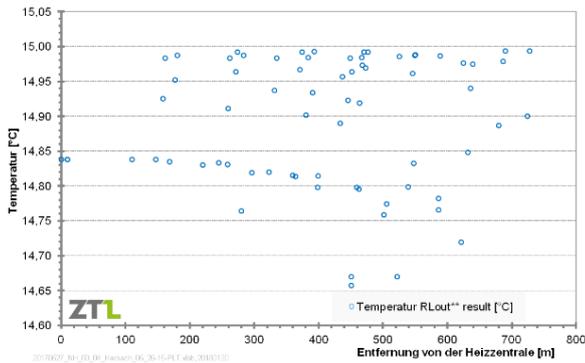


Abb - Rücklauftemperaturentwicklung im Verteilnetz

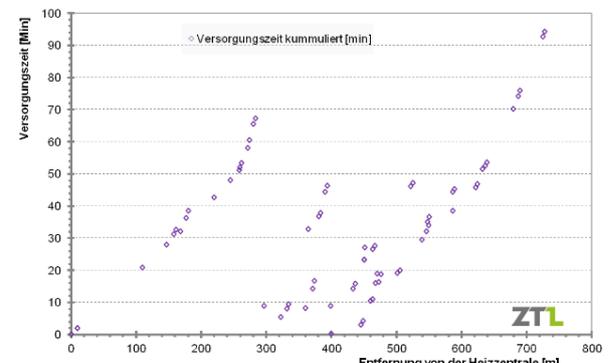
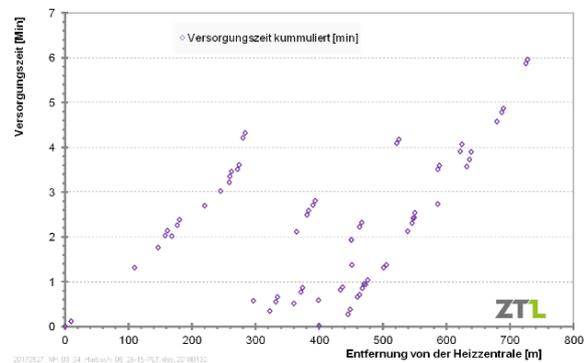


Abb - Versorgungszeiten der Knotenpunkte bis hin zu den Übergabepunkten

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

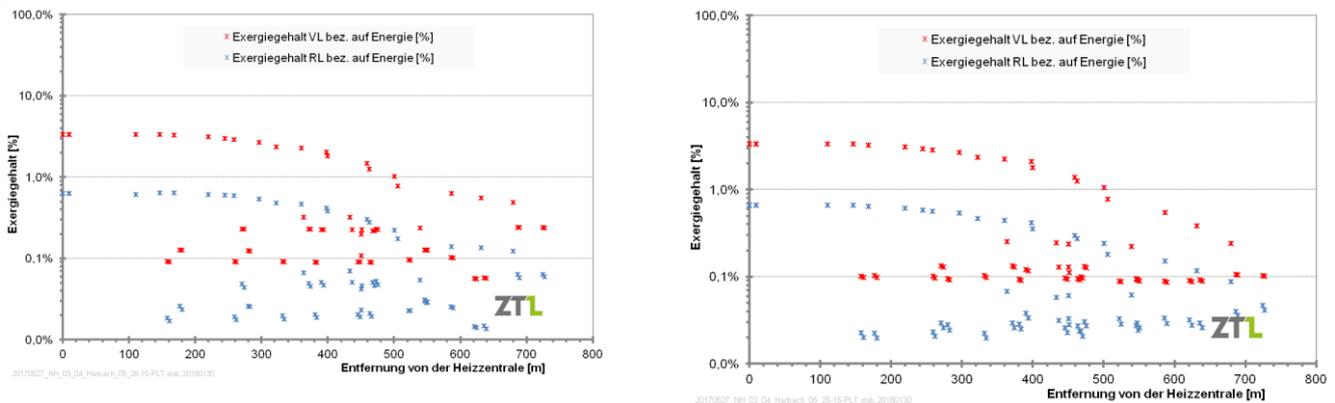


Abb - Exergiegehalt im Verteilnetz

Abbildung 32 Betriebsverhalten des Verteilnetzes anhand Druck, Leistung, Temperatur, Verweilzeit und Exergieinhalt im Verteilnetz

3.5.2 Global-Betriebsparameter des Verteilnetzes

Für die verschiedenen, untersuchten Varianten werden vorab die Globalergebnisse diskutiert – siehe Abbildung 33. Dabei bedeuten die entlang der Abszisse eingetragenen Berechnungsfall-Kürzel bspw. „90/40 DS3 A3“ folgendes:

- „90“ steht für die System-Versorgungs-Einspeise-Vorlaufzeitemperatur von 90 °C im Auslegefall.
- „40“ steht für die primäre Rücklaufzeitemperatur von 40 °C an der Übergabestation bei Auslegungsbedingungen (welche selbstverständlich über die mittlere Außentemperatur in den Berechnungen mitgleiten).
- „DS3“ steht für „Dämmserie 3“ – dies bedeutet eine Klassifizierung hinsichtlich der Dämmstärke der eingesetzten Rohre – im Allgemeinen werden Dämmserien entsprechend steigender Dämmstärke aufsteigend nummeriert. Bei anderen Rohrtypen kann auch ein Kürzel für den Rohrtyp, bspw. „PLT“ für PLT-Rohr der Fa. Pipelife oder „k. Dämmung“ für ein Stahlrohr ohne Dämmung stehen.
- „A3“ steht für den Berechnungsfall VarA und darunter die dritte Untervariante (entsprechend Systemtemperaturen).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

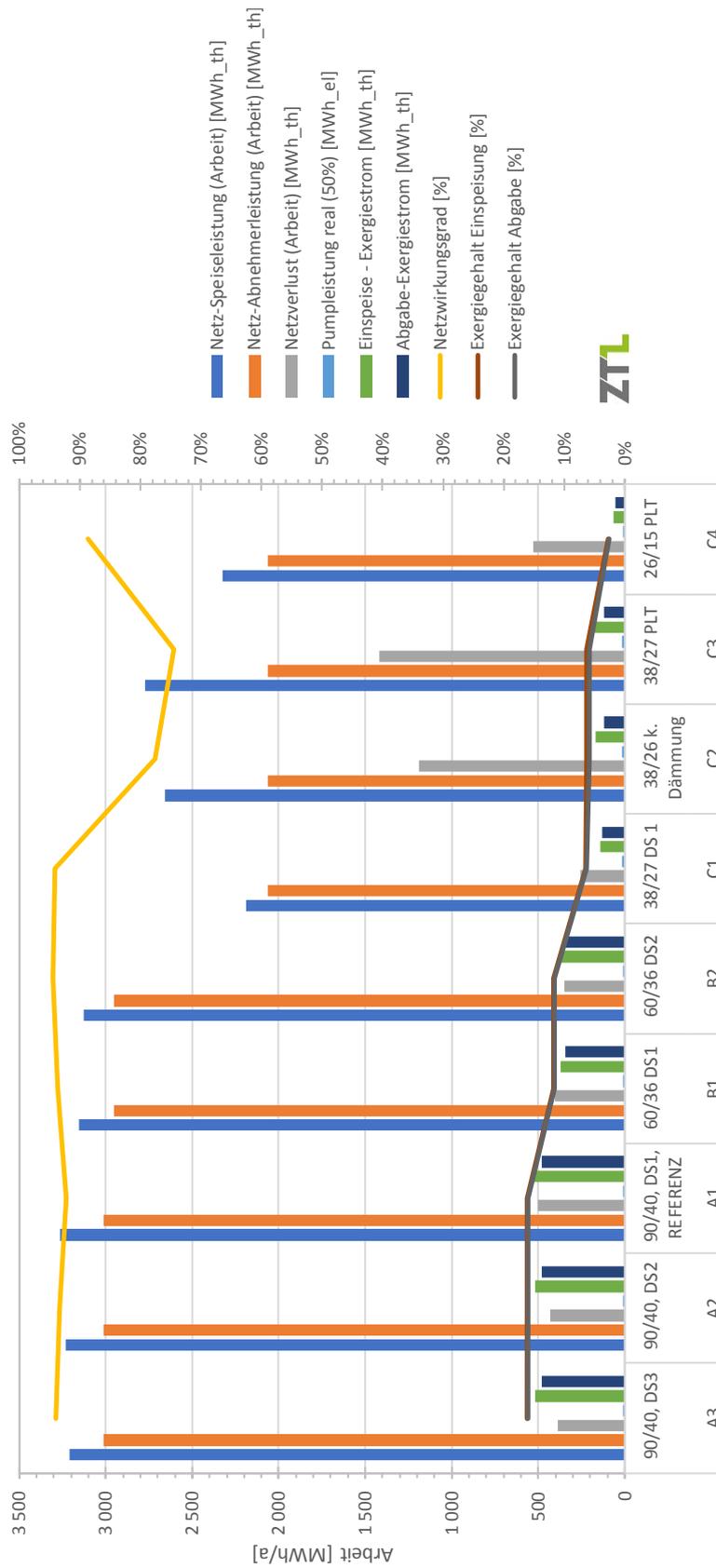


Abbildung 33 Betriebsparameter des Verteilnetzes für unterschiedliche Temperaturniveaus und Dämmklassen

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Unterschiede in der abgegebenen Arbeit zwischen den Varianten A und B gegenüber C darin begründet sind, dass der Warmwasserbereitungsteil teilweise hinsichtlich Nachheizung auf die erforderlichen WW-Zapf- und Speichertemperaturen elektrisch oder mit Booster-Stationen erfolgt, wodurch Energiebedarf von der thermischen Seite auf die elektrische Seite verschoben wird (siehe auch spätere Betrachtungen des Primärenergiebedarfes). Hinsichtlich der Wärmeverluste des Verteilnetzes zeigt sich die starke Abhängigkeit von den Systemtemperaturen und den Dämmklassen, wodurch aus dem Blickwinkel der Verluste erst bei sehr niedrigen Versorgungstemperaturen vernünftige Wärmeverluste realisierbar sind. Nicht dargestellt, aber in diesem Zusammenhang gleich zu erwähnen, sind die damit einhergehenden Dimensionen des Verteilnetzes. Bei sinkender Systemtemperatur sinken auch die Temperaturspreizungen. Der Leistungsbedarf sinkt jedoch nicht im gleichen Ausmaß. Dadurch erhöhen sich die erforderlichen Dimensionen aufgrund der rohrhydraulischen Auslegung deutlich (mit der Folge stark steigender Investitionskosten für Rohr und Grabung). In Richtung kalter Netze wäre hier sicher auch noch die Variante der de facto reinen Anergie-Versorgung als Quellsystem für Wärmepumpen zu analysieren. Aufgrund der Temperaturniveaus zeigen die Exergiegehalte korrelierende Tendenzen. Hinsichtlich der Gesamtbilanz ist in diesem Zusammenhang nochmals auf den, bei den sekundärseitigen Varianten C und D (leitungsversorgungstechnisch ist die Variante C und D nahezu ident) anfallenden Strombedarf für die Booster-Station und dessen Folgen hinzuweisen – dies ist im Kapitel 3.5.3 anhand der Sankey-Diagramme ersichtlich.

3.5.3 Kennzahlen für das Bereitstellungs-, Verteil- und Sekundärsystem

Hinsichtlich der charakteristischen energetischen Kennzahlen für die Modellregion Harbach sind nachfolgend der gesamte Energiebedarf, der Lastverlauf sowie Sankey-Diagramme für Energie und $CO_2_{\text{äqu}}$ dargestellt. Der Heizenergiebedarf für die vier betrachteten Wärmeabgabekonzepte (VarA bis VarD) ist in der Abbildung 34 oben dargestellt. Der Nutzenergiebedarf (NUE = HWB + WWB) liegt bei allen Varianten bei etwa 2732 MWh/a. Der Heizwärmebedarf beträgt dabei 1625 MWh/a und der Warmwasserbedarf 1107 MWh/a. Der notwendige Heizenergiebedarf (HEB) hängt nun vom gewählten Wärmeabgabekonzept ab. In VarA sind knapp 3013 MWh/a aus der Fernwärme notwendig. Die Reduktion der Leistung und der Betriebszeiten bringen in der VarB eine Reduktion auf 2954 MWh/a mit sich. Der Wechsel auf ein Wärmepumpenkonzept (VarC) auf tiefem Temperaturniveau und dezentraler Nachheizung der Warmwasserbereitung mit Strom auf das notwendige Temperaturniveau, reduziert den Wärmeanteil des Heizenergiebedarfs (HEB*) auf 2049 MWh/a, wobei zusätzlich noch 993 MWh/a an Strom benötigt werden. Hier gilt es zu beachten das der HEB* Umweltwärme (aus Grundwasser, Tiefensonde, Solarthermie oder Abwärme) auf tiefem Temperaturniveau (15-30 °C) sein kann. Die letzte Variante (VarD) unterscheidet sich von der VarC dahingehend, dass dort anstelle der E-Patrone, eine Booster-Station zur dezentralen Warmwasserbereitung genutzt wird. Diese Booster-Station greift auf das verfügbare Temperaturniveau im Wärmeverteilstromnetz (ca. 35 °C) zurück und bringt es durch Stromeinsatz auf das notwendige Temperaturniveau der Warmwasserbereitung. Somit steigt der HEB* auf 2234 MWh/a (Umweltwärme) an, der Strombedarf wird aber auf 277 MWh/a reduziert. In Abbildung 34 unten sind die zu den absoluten Werten zugehörigen spezifischen Kennwerte dargestellt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Der spezifische Heizwärmebedarf liegt demnach bei etwa 20 kWh/m²a. Der spezifische Warmwasserbedarf (WWB) bei etwa 13 kWh/m²a. Der spezifische Heizenergiebedarf (HEB) liegt zwischen 30 und 36 kWh/m²a.

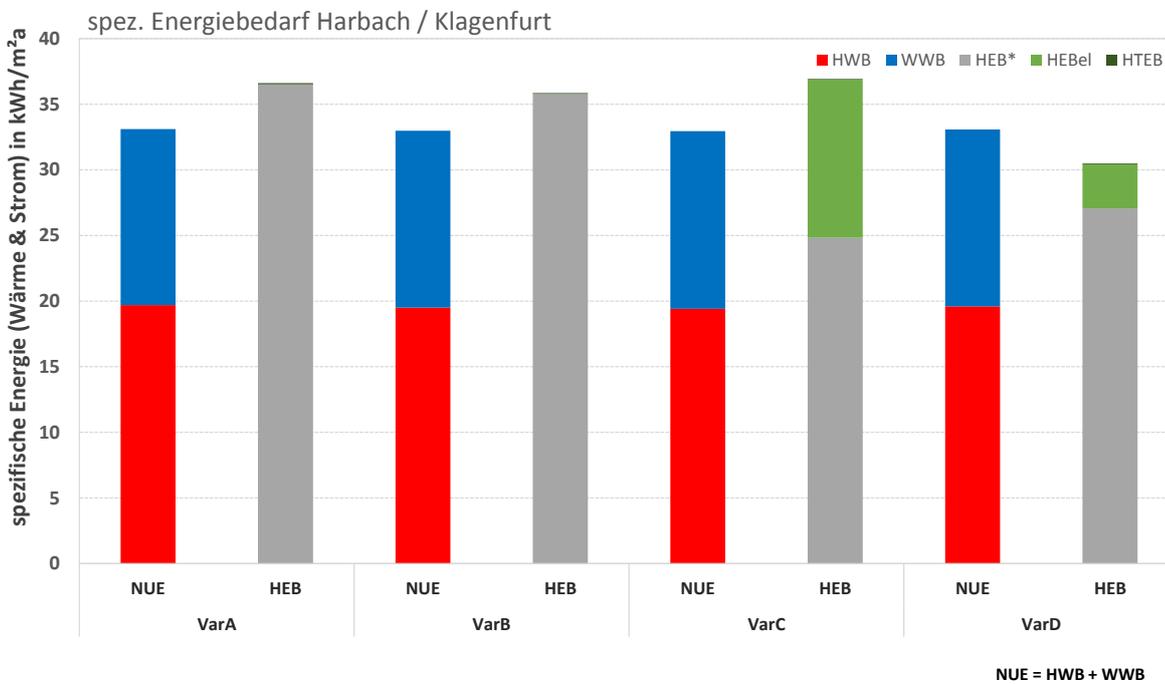
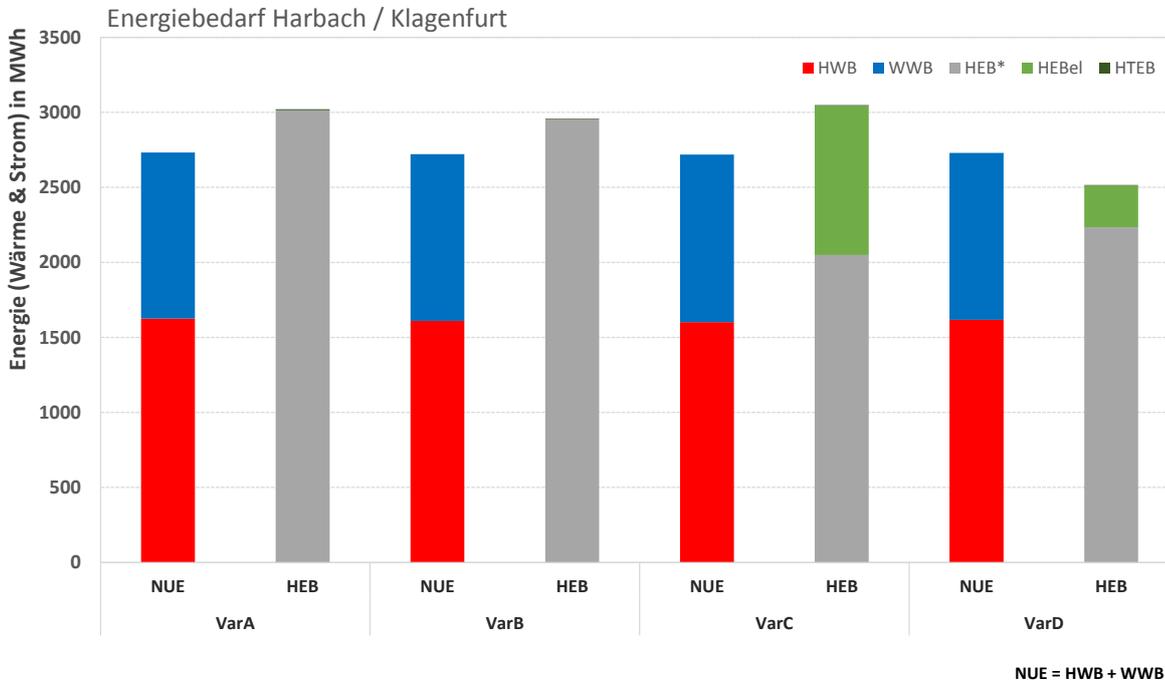


Abbildung 34 Energiebedarf und spezifischer Energiebedarf der Modellregion Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In Abbildung 35 sind der Heizlastverlauf an der Schnittstelle der Fernwärmeübergabestation für die VarA exemplarisch dargestellt. Dabei sind die Verläufe für die 22 Gebäude im Areal Harbach für zwei Jännerwochen für jedes einzelne Gebäude ersichtlich (Abbildung 35 oben). In der Abbildung 35 unten, sind die Heizlasten der einzelnen Gebäude (VarA) über der Außenlufttemperatur aufgetragen. Hier stellt sich eine enorme Breite der Lastanforderungen (-10 °C: ca. 20-100 kW) ein, die auf die Warmwasserbereitung in der VarA über dezentrale Wärmeübergabestationen zurückzuführen sind.

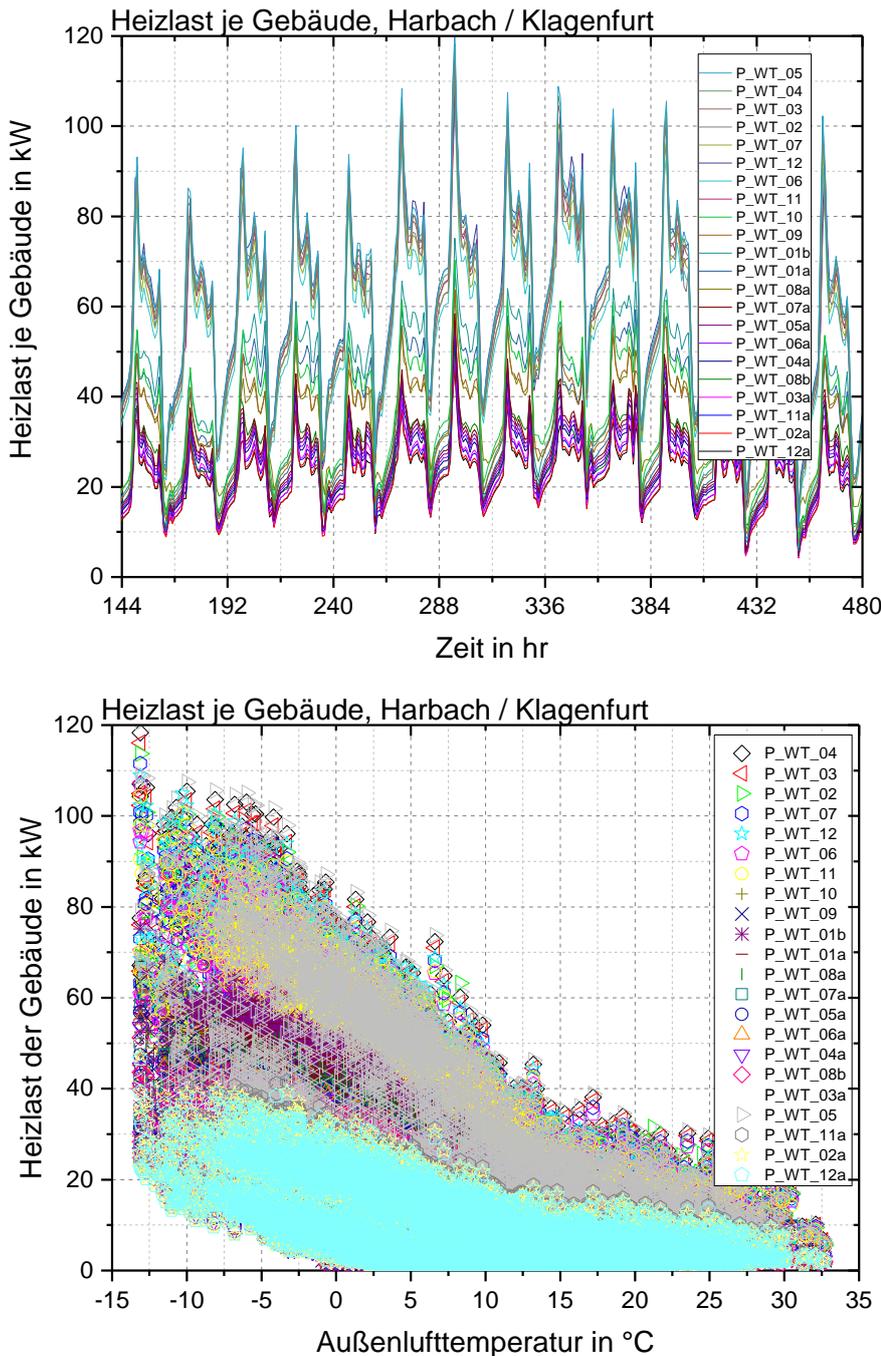


Abbildung 35 Heizlast (HWB+WWB; VarA) über der Zeit (zwei Wochen im Jänner) und über der Außenlufttemperatur für die einzelnen Gebäude in Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In den nachfolgenden Abbildungen sind ebenso die Heizlasten des Areals Harbach dargestellt. Diesmal ist dies aber die Heizlast des gesamten Areals (VarA). In Abbildung 36 links ist die Heizlast im Jahresverlauf zu sehen. Hierbei werden kurzfristig Peakleistungen von knapp 1600 kW erreicht. In den Sommermonaten sind etwa 50 bis 400 kW notwendig um die Warmwasserbereitstellung zu gewährleisten. In Abbildung 36 rechts ist die Heizlast über der Außenlufttemperatur aufgetragen. Bei Außenlufttemperaturen über 20 °C kann davon ausgegangen werden, dass die Heizlast nur von der Warmwasserbereitung verursacht wird. Hier sind bis zu 400 kW erforderlich. Bei tiefer werdenden Außenlufttemperaturen kommt immer mehr Leistungsanforderung für die Heizung dazu, was bis 5 °C in etwa zu 1000 kW führt. Die Breite der Leistungsanforderung (400 – 1500 kW) bei tiefen Temperaturen (ca. -10 °C) ergibt sich dadurch, dass in manchen Zeitpunkten nur Heizen oder Warmwasserbereitung gefordert ist (niedrige Leistungswerte), oder beides zugleich (hohe Leistungswerte).

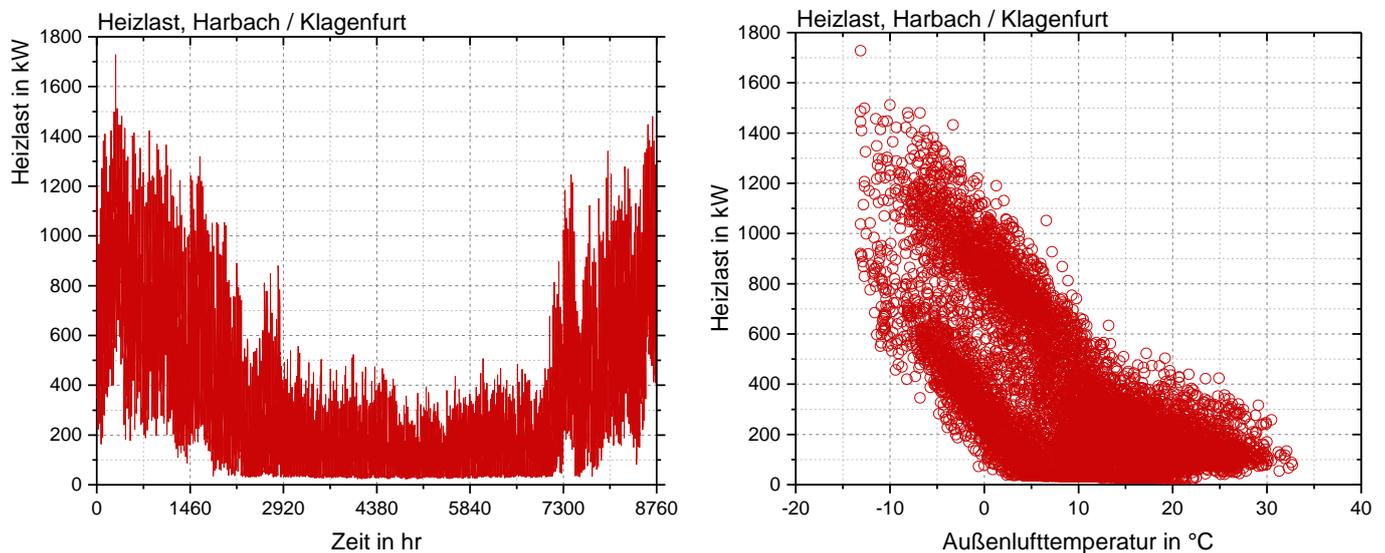


Abbildung 36 Heizlast (HWB+WWB; VarA) über der Zeit und über der Außenlufttemperatur für das gesamte Areal in Harbach / Klagenfurt

Nachfolgend wird exemplarisch für einzelne Gesamtkonzepte hinsichtlich der Wärmeversorgungskonzepte (VarA bis VarD) und der Fernwärmeversorgungskonzepte (FW1 bis FW4 und gleiche Dämmserien (DS1)) ein Sankey-Diagramm mit der Energie (Wärmebedarf & Strombedarf) sowie den jeweiligen CO₂-Äquivalenten dargestellt. Vergleicht man die vier Varianten mit der Dämmung DS1, kann man erkennen, dass der Primärenergiebedarf der Varianten (A1, B1, C1 und D1) sehr knapp beieinander liegt. Der Primärenergiebedarf (PEB_(el+th), thermisch + elektrisch) liegt bei 4400 bis 4700 MWh/a für die benötigte Nutzenergie (HWB+WWB) von etwa 2800 MWh/a. Einerseits kann eine Reduktion der primärseitigen Sollvorlauftemperatur (FW2&VarB) eine Reduktion des Primärenergiebedarfs bringen (Abbildung 38). Andererseits bringt eine Verschiebung des verwendeten Energieträgers, unter den definierten Randbedingungen (Wärmepumpe bzw. E-Patrone), von Fernwärme zu Strom (VarC bzw. VarD) nur geringe Vorteile bei der Primärenergie gegenüber der Basisvariante (Abbildung 39 oder Abbildung 40). Hinsichtlich der Energie, der Exergie und CO₂-Äqu werden im Kapitel 3.6 alle Varianten VarA bis VarD mit der jeweils entsprechenden FW-Versorgung unter der Verwendung aller unterschiedlichen Dämmserien dargestellt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

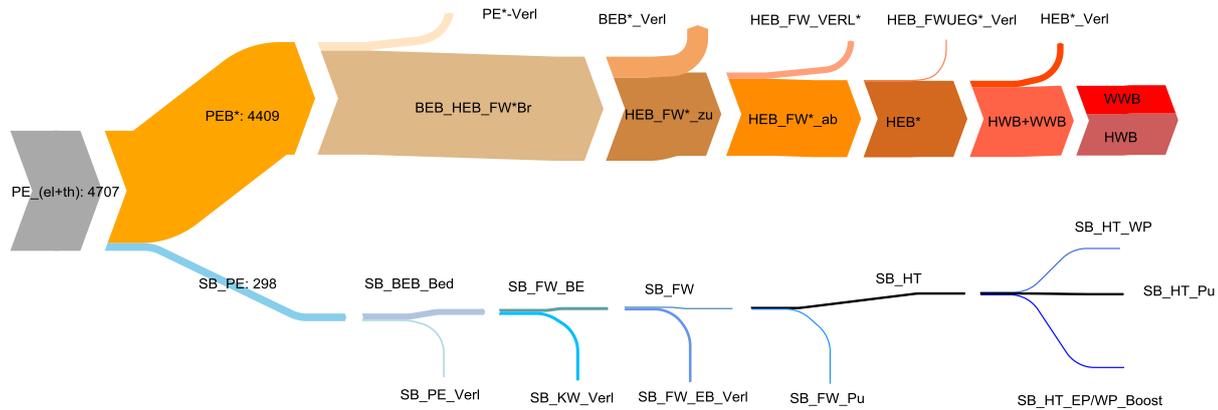


Abbildung 37 Energiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

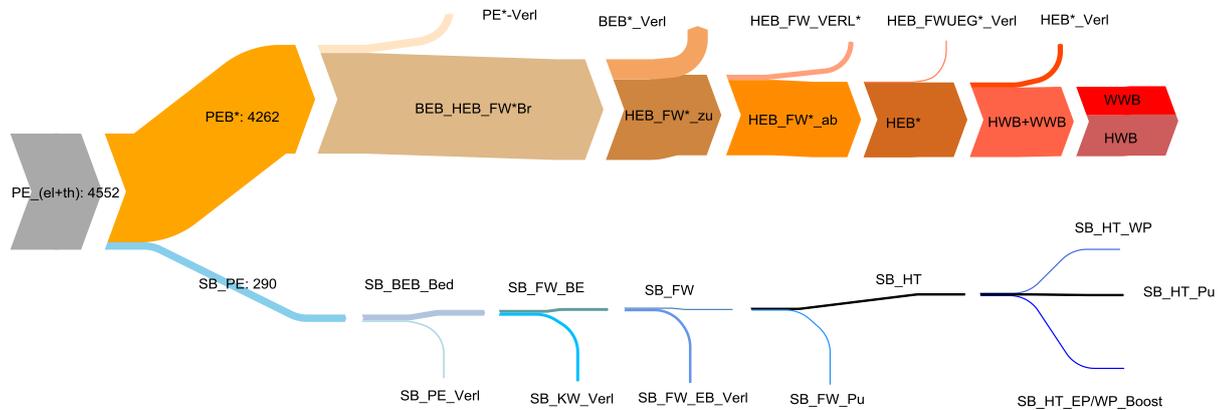


Abbildung 38 Energiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

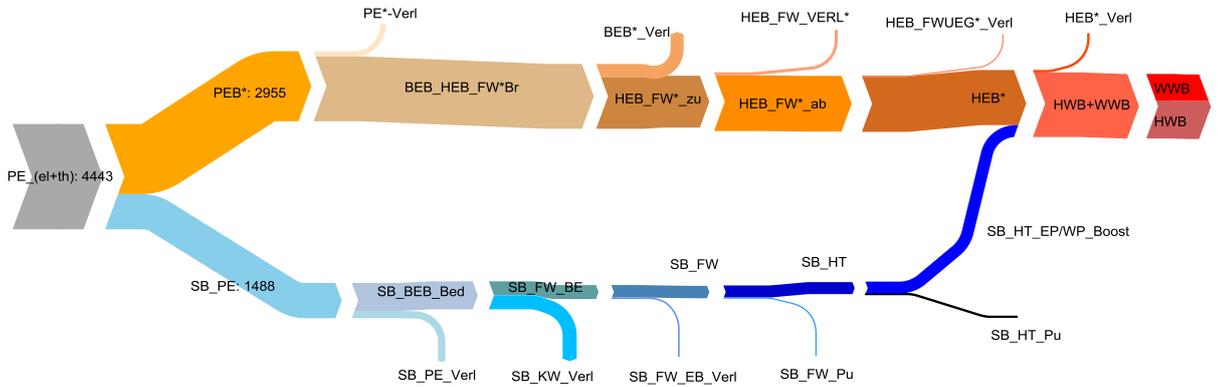


Abbildung 39 Energiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

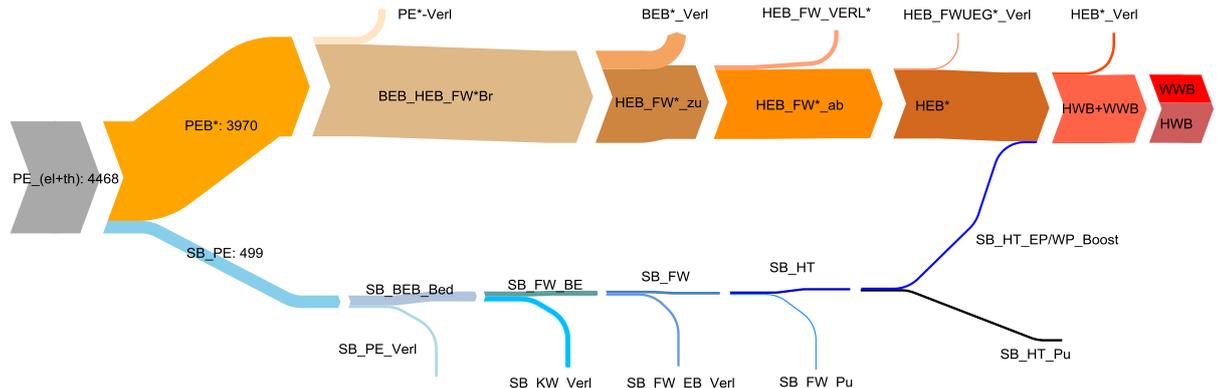


Abbildung 40 Energiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Vergleicht man die vier Varianten mit der gleichen Dämmung DS1, hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes (t CO₂-Äqu/a), so ist hier der Wechsel zwischen den Energieträgern besonders deutlich. In den beiden Varianten (VarA und VarB) mit hohem Fernwärmeanteil sind ein deutlicher Wärmepfad und ein Strompfad im Sankey ersichtlich. Bei den Varianten (VarC und VarD), die mit geringem Temperaturniveau aus der FW und mit Umweltenergie arbeiten ist der Wärmepfad nur gering oder gar nicht ersichtlich. Hier dominiert der Strompfad mit dem dafür notwendigen CO₂ – Ausstoß. Hierbei ist anzumerken, dass hier die Fernwärme aus Biomasse (4 g/kWh) stammt, die Umweltwärme mit 0 g/kWh und der Strom mit dem Österreich Mix (276 g/kWh) bewertet wurde (siehe Tabelle 4).

So zeigt sich, dass unter den gewählten Annahmen der Konversionsfaktoren, die beiden stromlastigen Varianten (VarC und VarD) mit etwa 150 bis 430 t CO₂-Äqu/a deutlich über der erneuerbaren FW-Variante zu liegen kommt. Hier wird lediglich ein CO₂ – Ausstoß von etwa 100 t CO₂-Äqu/a erreicht. Ein Vergleich dreier unterschiedlicher Szenarien hinsichtlich einer geänderten Energieträgerwahl und deren Auswirkung auf den CO₂ – Ausstoß ist nachfolgend zu finden.

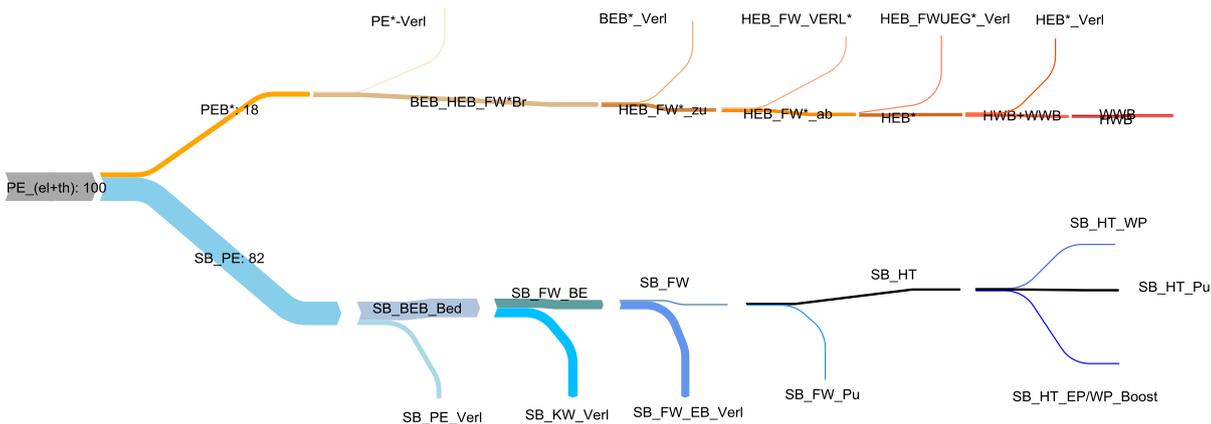


Abbildung 41 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äqu/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

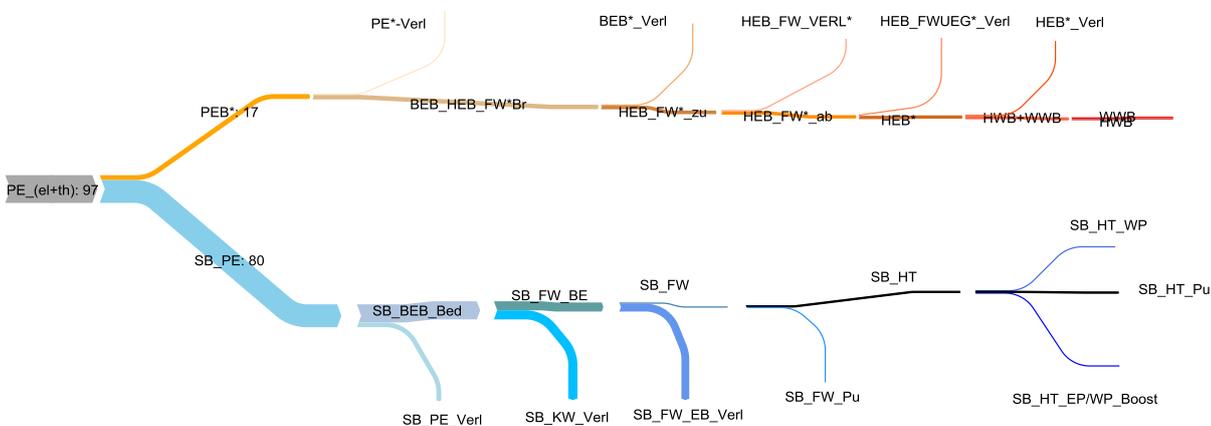


Abbildung 42 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äqu/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

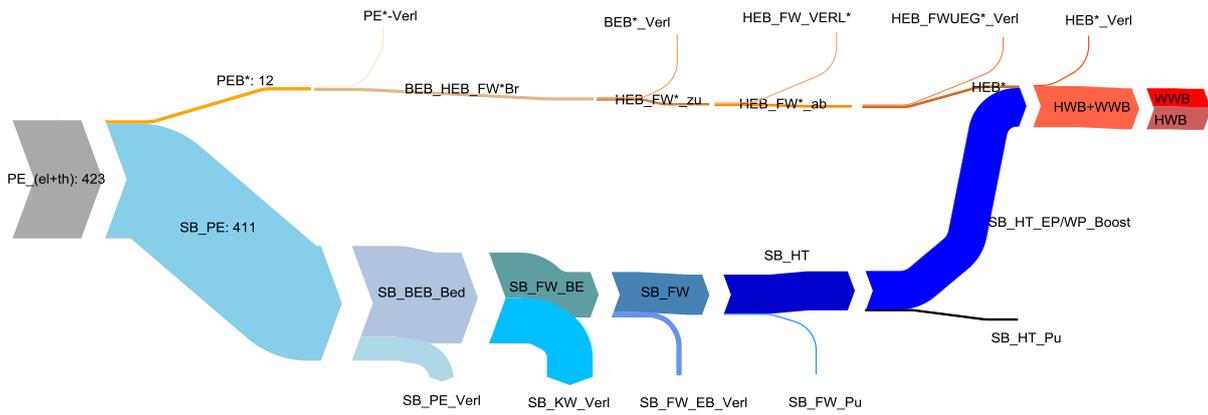


Abbildung 43 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

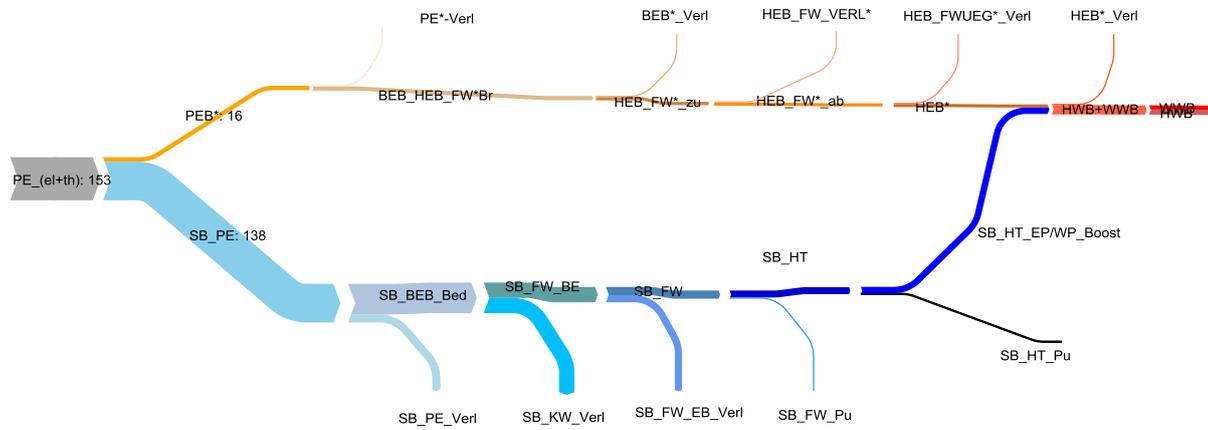


Abbildung 44 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Vergleicht man nun nur noch die K-FW Varianten VarC in der Ausführung DS1 (C1) und PLT (C4) mit denselben Varianten der VarD (D1 & D4) hinsichtlich des Primärenergiebedarfs, so ist hier erkennbar das einerseits die Reduktion des Temperaturniveaus und andererseits der Wechsel auf dezentrale Warmwasserbereitung mit E-Patrone auf Booster-Stationen, keine Reduktion beim Primärenergiebedarf mit sich bringen (siehe z.B. Abbildung 45 und Abbildung 47). Die Reduktion der VLT/RLT von 38/27 °C (C1 mit DS1) auf die ungedämmte Variante mit 26/15 °C (C4 mit PLT) bringt eine geringe Einsparung an Wärmeverlusten mit sich und somit einen Rückgang des Primärenergiebedarfs. Eine weitere Absenkung der VLT/RLT könnte hier eine weitere Verbesserung mit sich bringen. Auf der anderen Seite würde sich die Temperaturspreizung weiter reduzieren, wodurch sich die Rohrdimension und die Kosten erhöhen.

Hinsichtlich des CO₂ – Ausstoßes zeigen sich zwischen den Dämm- und Temperaturvarianten, innerhalb der beiden Serien (VarC und VarD) kaum Unterschiede. Wobei die VarD, aufgrund der dezentralen Nutzung von Booster-Stationen, im Schnitt um etwa 260 t CO₂-Äq/a besser ist als die VarC.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

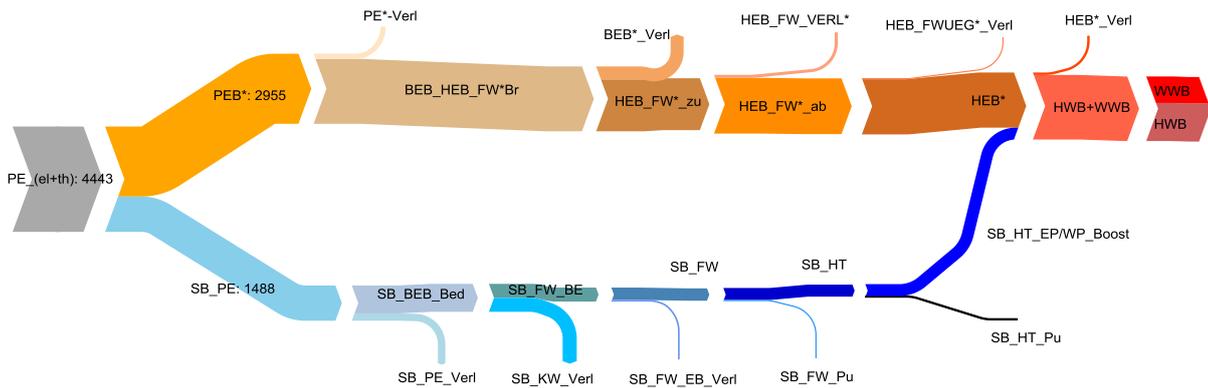


Abbildung 45 Energiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

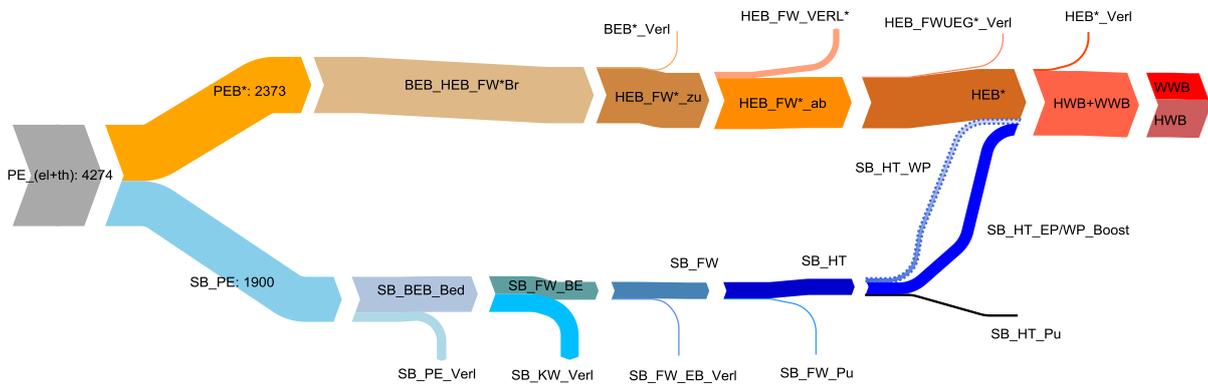


Abbildung 46 Energiebedarf (MWh/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

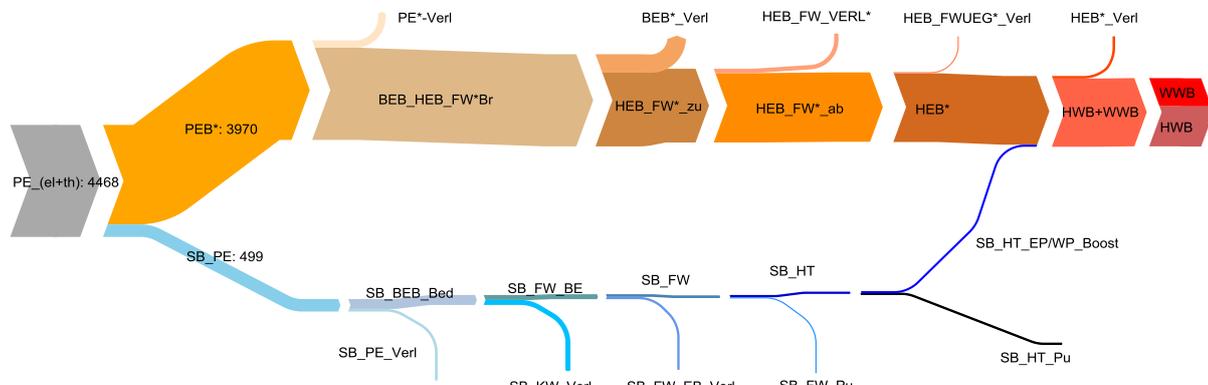


Abbildung 47 Energiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

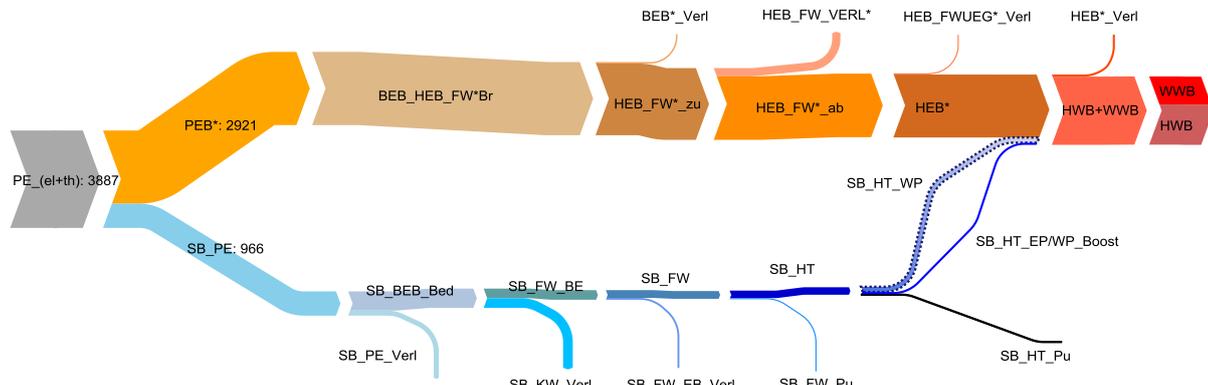


Abbildung 48 Energiebedarf (MWh/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Vergleich dreier Szenarien hinsichtlich der zugrunde gelegten Energieträger

Die Quelle der untersuchten Energieträger beeinflusst das Ergebnis (Primärenergiebedarf und CO₂-Äqu) enorm. Daher sei an dieser Stelle ein exemplarischer Vergleich von drei Szenarien dargestellt. Das **Basis Szenario**, verwendet für die Fernwärme als Energieträger Biomasse. Für den Strombedarf wird vom Österreichischen Strom-Mix ausgegangen. Im **Szenario Konventionell** wird für den Strom ebenso der Österreichische Strom-Mix und für die Wärme wird Fernwärme aus nicht erneuerbarer Quelle verwendet. Im **Erneuerbaren Szenario** kommt beim Strom ein Ökostrom-Mix für Österreich zum Einsatz. Die Fernwärme wird hier wie im Basis-Szenario aus Biomasse angenommen (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9 Konversionsfaktoren zur Ermittlung des PEB und CO₂-Äqu für drei Szenarien, siehe auch Tabelle 4

Szenario	Strom g/kWh	Fernwärme g/kWh	Umweltwärme g/kWh
Basis	276 ¹⁾	4 ³⁾	0
Konventionell	276	291 ⁴⁾	0
Erneuerbar	10 ²⁾	4	0

¹⁾ Strom-Mix Österreich

²⁾ Ökostrom-Mix Österreich (aus Gemis 4.9)

³⁾ Biomasse

⁴⁾ Fernwärme Heizwerk nicht erneuerbar

Im **Basis-Szenario**, haben die beiden stromlastigen Varianten (VarC und VarD) gegenüber dem erneuerbaren Energieträger der Fernwärme keine Möglichkeit, hinsichtlich der CO₂-Äqu-Emissionen besser zu sein. Bezüglich des Primärenergiebedarfs sind die Varianten des Basis-Szenarios sehr ähnlich, wobei die VarA und VarB einen geringeren Primärenergiebedarf als die Varianten VarC aufweisen. Erst einzelne Varianten der VarD können mit dem Bedarf der VarA und VarB mithalten, bzw. den Primärenergiebedarf unterbieten (Tabelle 10).

Werden die Wärme als auch der Strom für die Wärmeversorgungskonzepte aus konventionellen Energieträgern bezogen, so zeigt sich ein deutlicher Vorteil bei den CO₂-Äqu-Emissionen für die verlustminimierten K-FW Varianten (VarC C4 und VarD D4). Beim Primärenergiebedarf zeigt sich nur ein geringer Unterschied zwischen den Varianten des **konventionellen Szenarios**.

Kommen die Wärme als auch der Strom aus erneuerbaren Energieträgern (Biomasse bzw. Ökostrom-Mix), dann zeigt sich ein sehr homogenes Bild bei den CO₂-Äqu-Emissionen der Wärmeversorgungskonzepte (**erneuerbares Szenario**).

Je nach Szenario können spezifische CO₂-Äqu-Emissionen, zwischen sehr guten 4 g CO₂-Äqu/kWh-a und schlechten 638 g CO₂-Äqu/kWh-a erreicht werden. Zusammengefasst kann somit gesagt werden, dass es keine eindeutige Entscheidung hinsichtlich einer Favorisierung eines Konzeptes geben kann, da es sehr stark von den vorliegenden Randbedingungen, hinsichtlich der Quelle der verwendeten Energieträger abhängt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 10 Primärenergiebedarf und CO₂-Äqu der betrachteten Wärmeversorgungskonzepte für den Standort Harbach / Klagenfurt

Szenario	Bezeichnung	Einheit	A1 90/40, DS1	A2 90/40, DS2	A3 90/40, DS3	B1 60/36, DS1	B2 60/36, DS2	C1 38/26, DS1	C2 38/26, k.D.	C3 38/26, PLT	C4 26/15, PLT	D1 38/26, DS1	D2 38/26, k. D.	D3 38/26, PLT	D4 26/15, PLT
	HWB+WWB	[MWh/a]	2733	2733	2733	2722	2722	2722	2722	2722	2722	2722	2722	2722	2722
Basis	PEB ^(el+th)	[MWh/a]	4622	4654	4707	4552	4512	4443	5112	5270	4274	4468	5366	5581	3887
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	98	99	100	97	96	423	436	437	525	153	171	174	267
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWha]	35.9	36.2	36.6	35.7	35.4	155.2	160.1	160.7	192.7	56.4	62.9	63.9	98.0
Konventionell	PEB ^(el+th)	[MWh/a]	4983	5018	5075	4907	4864	4689	5411	5582	4274	4799	5768	6000	3887
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	1446	1456	1472	1424	1411	1342	1552	1601	525	1389	1670	1738	267
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWha]	529.0	532.7	538.7	523.1	518.4	493.1	570.0	588.3	192.7	510.3	613.5	638.3	98.0
Erneuerbar	PEB ^(el+th)	[MWh/a]	4673	4706	4759	4603	4562	4701	5377	5536	4603	4555	5462	5678	4055
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	21	21	21	20	20	29	32	33	22	22	26	27	11
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWha]	7.6	7.6	7.7	7.5	7.4	10.8	11.9	12.1	8.2	8.0	9.4	9.8	4.2

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Zusammenfassend sind in Abbildung 49 für den Standort Harbach / Klagenfurt und den dort betrachteten Fernwärmeausbaus des Quartiers, der Primärenergiebedarf, die CO₂-Äqu-Emissionen und die spezifischen Kosten je MWh Nutzenergie dargestellt. Die zu liefernde **Nutzenergie** ist in Neustadt mit 2733 MWh/a, für alle Varianten ident.

Der **Primärenergiebedarf** ändert sich zwischen 3887 MWh/a und 5581 MWh/a. Das Maximum tritt in der Variante D3 auf (ungedämmtes Rohr mit 38/27 °C). Der minimale Primärenergiebedarf tritt in der Variante D4 auf. Hier wird mit geringer VLT/RLT und Booster-Stationen gerechnet.

Bei den **CO₂-Äqu-Emissionen** zeigt sich ein Bild, das stark von den zugrunde gelegten Energieträgern geprägt ist (Biomasse-FW und konventioneller Strom Mix). Dadurch ergeben sich hier die VarA und VarB als Varianten mit geringsten CO₂-Äqu-Emissionen. Die stromintensiven Varianten (VarC und VarC) können aufgrund hohen CO₂-Äqu-Emissionen von Strom, die Werte der klassischen FW (Biomasse) nicht erreichen. Bei den **spezifischen Kosten je MWh Nutzenergie** zeigt sich ein recht homogenes Bild. Die Differenz zwischen den minimalen und maximalen Kosten betragen 1,6 €/MWh, wobei im Mittel mit 7,9 €/MWh zu rechnen ist.

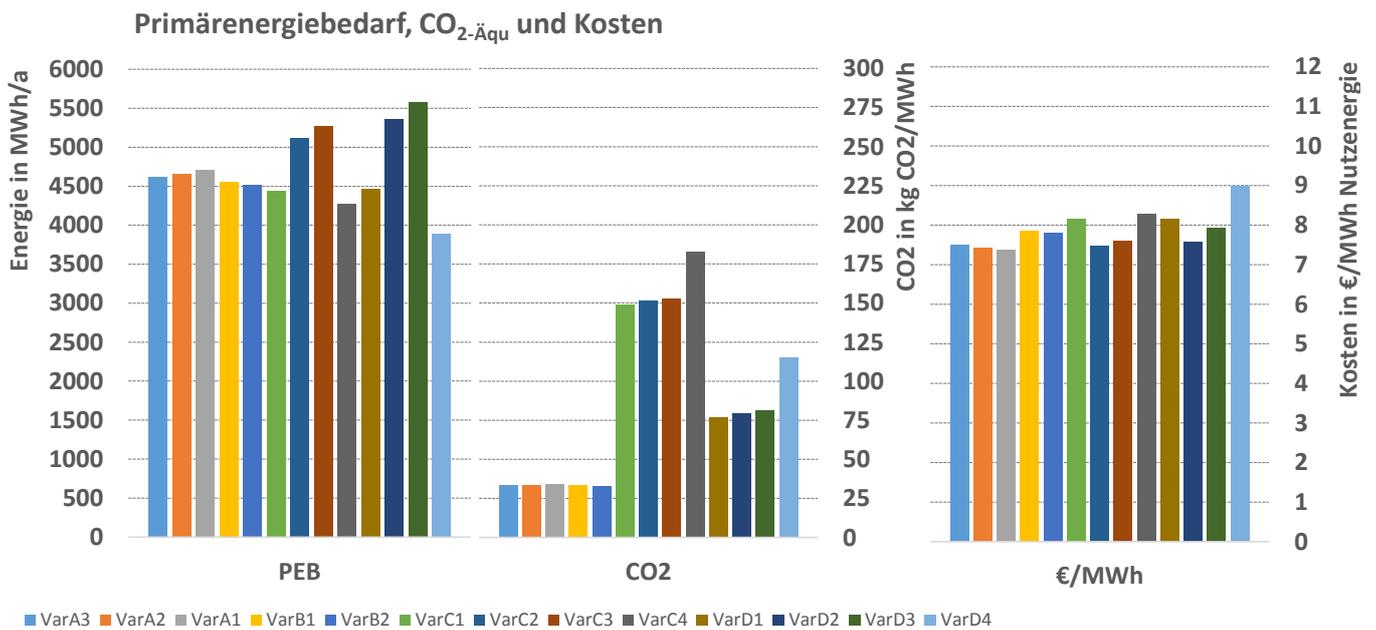


Abbildung 49 Übersicht für den Standort Harbach / Klagenfurt, bezüglich dem Primärenergieaufwand, dem CO₂-Äqu-Emissionen und den spezifischen Kosten je MWh Nutzenergie (Nutzenergie = 2733 MWh/a)

3.6 Sankey – Diagramme für Energie, CO₂-Äqu. und Exergie

Nachfolgend sind die Sankey-Diagramme aller betrachteten Varianten für die Modellregion Harbach / Klagenfurt dargestellt. Nachfolgend sind die Sankey Diagramme, die den Weg von der Nutzenergie (thermisch wie auch elektrisch) bis hin zur Primärenergie (in MWh/a) darstellen. Des Weiteren beinhaltet das Kapitel jene Sankey Diagramme, die den CO₂-Äqu. Ausstoß der Wärmeversorgungskonzepte in Tonnen p.a. behandeln. Zu Letzt werden die Exergieströme (in MWh/a) der betrachteten Varianten für Harbach dargestellt.

Sankey – Diagramme Harbach Energie

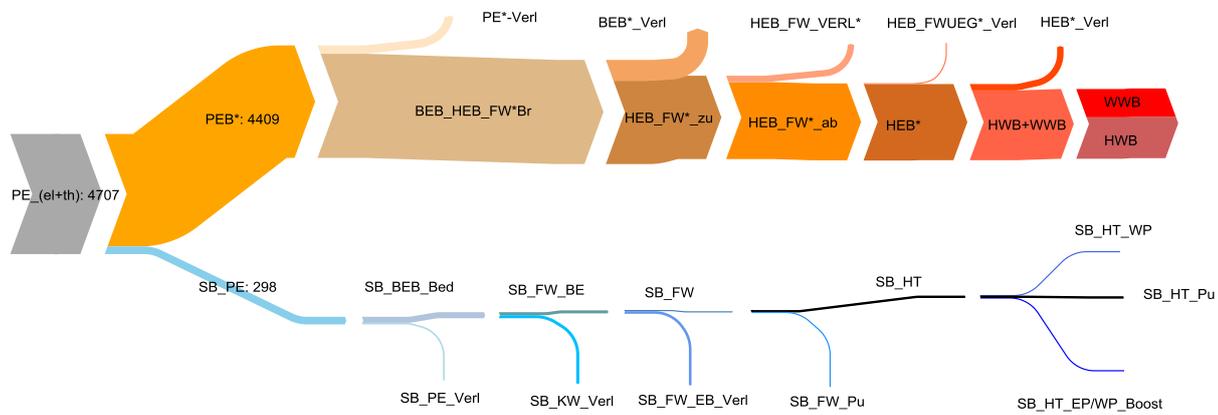


Abbildung 50 Energiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

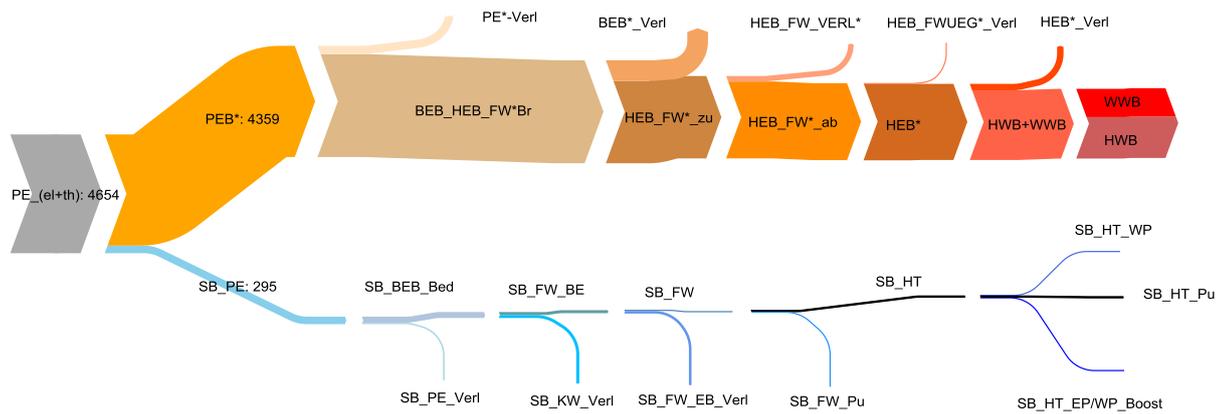


Abbildung 51 Energiebedarf (MWh/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

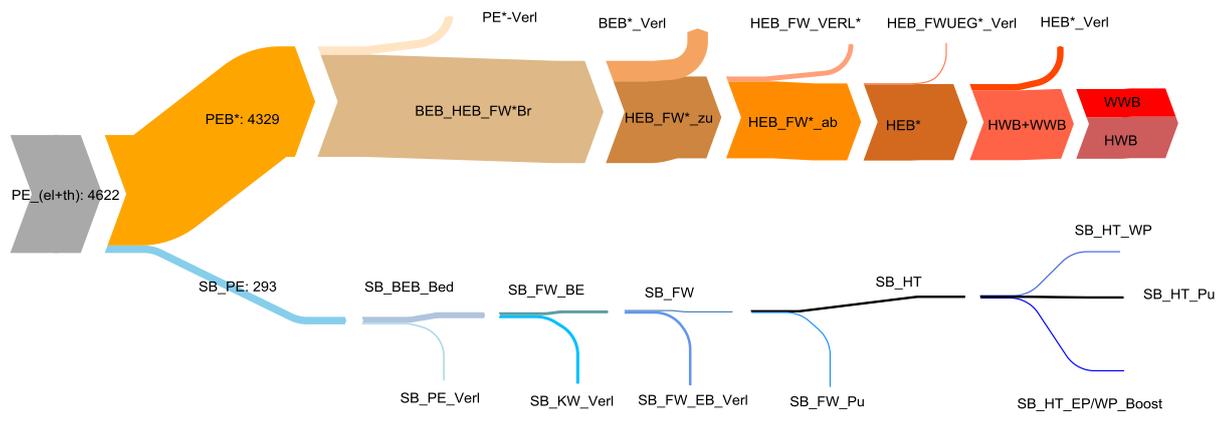


Abbildung 52 Energiebedarf (MWh/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

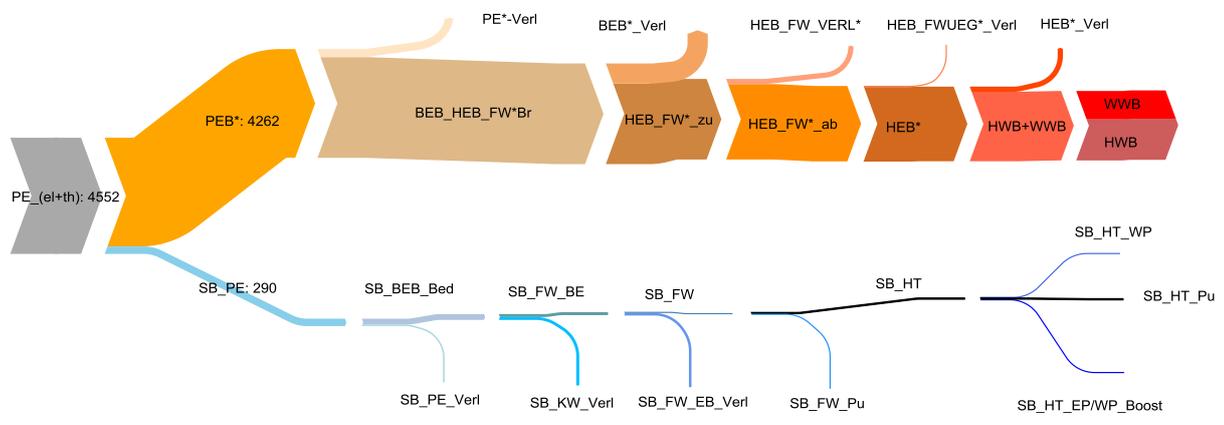


Abbildung 53 Energiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

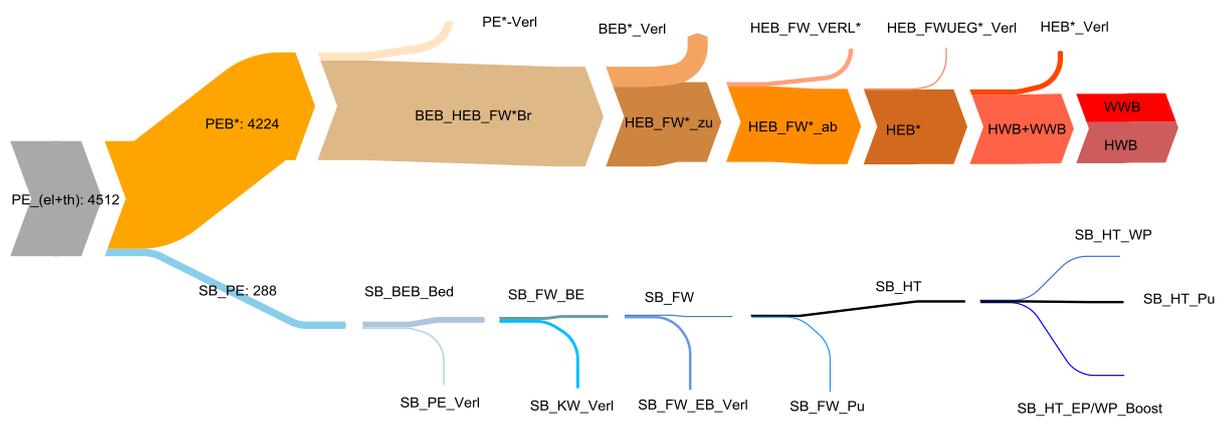
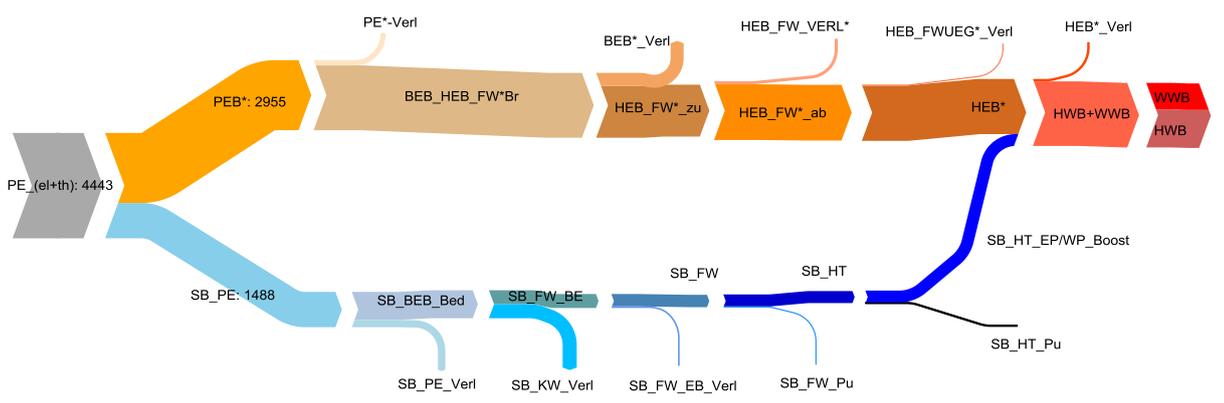


Abbildung 54 Energiebedarf (MWh/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 55 Energiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

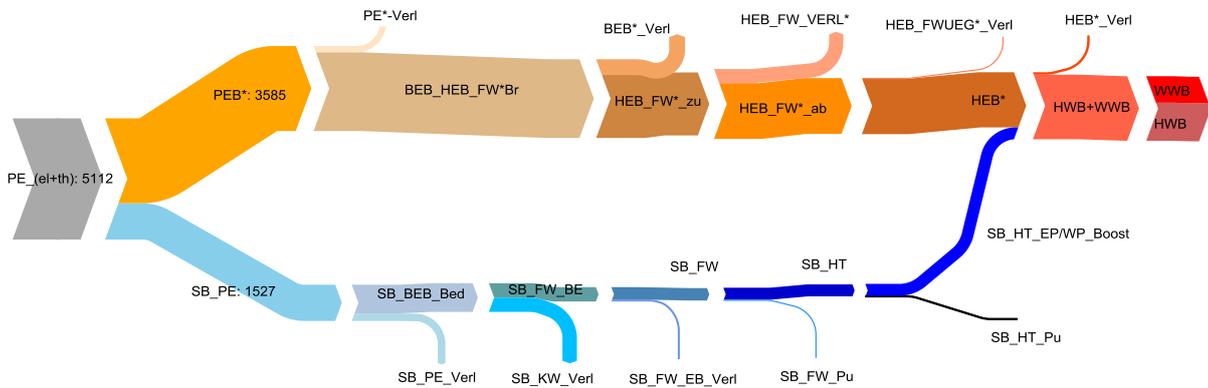


Abbildung 56 Energiebedarf (MWh/a) der VarC2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

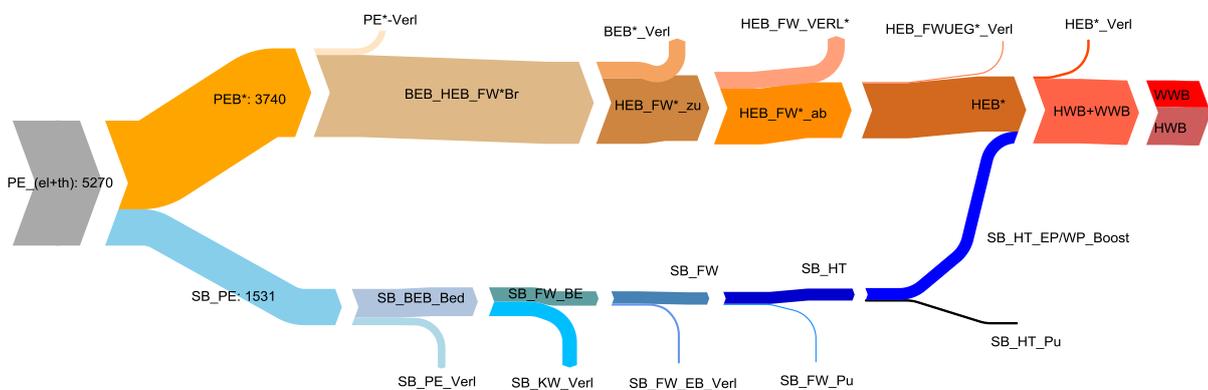


Abbildung 57 Energiebedarf (MWh/a) der VarC3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

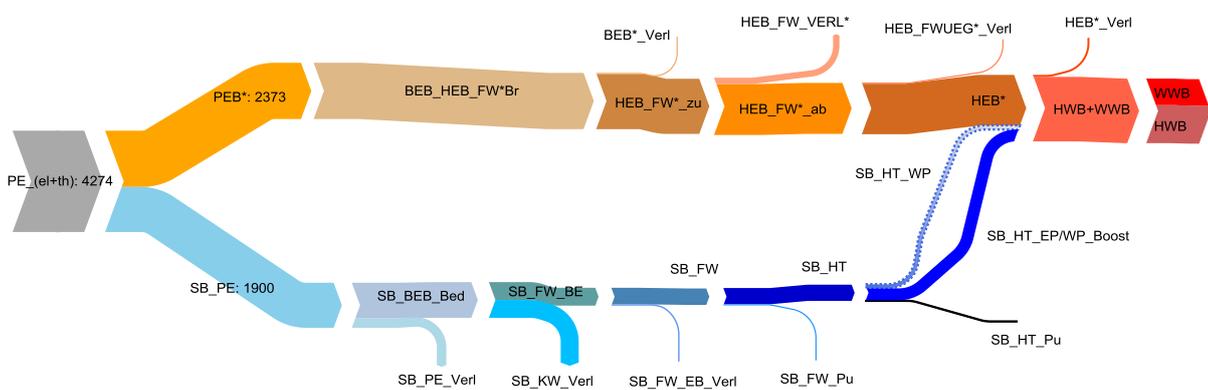
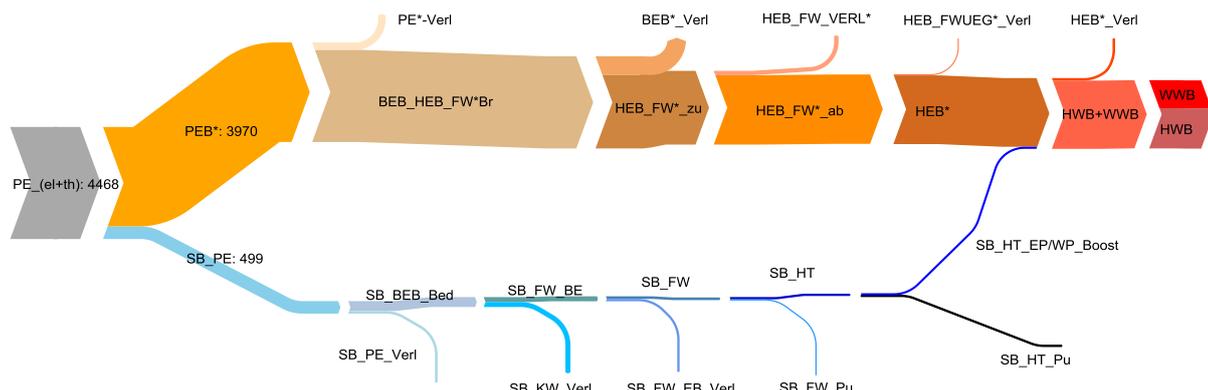


Abbildung 58 Energiebedarf (MWh/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 59 Energiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

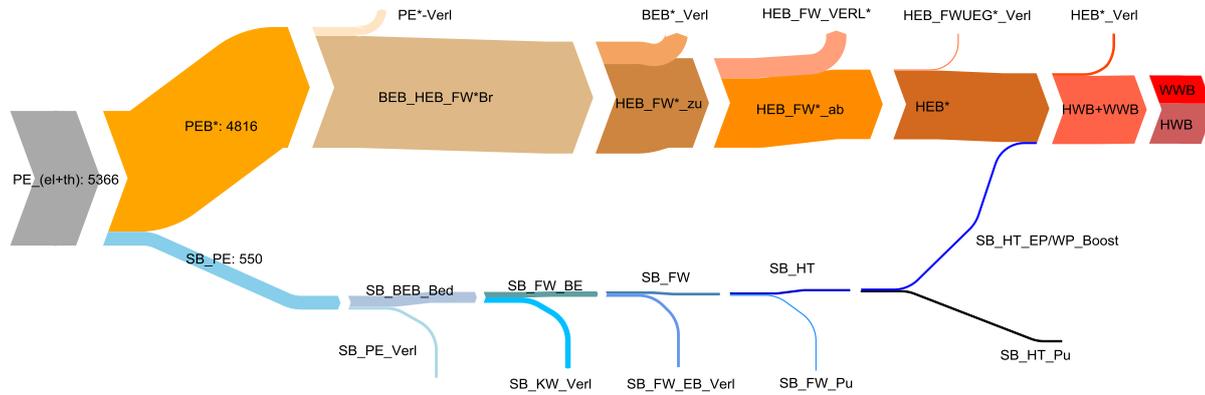


Abbildung 60 Energiebedarf (MWh/a) der VarD2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

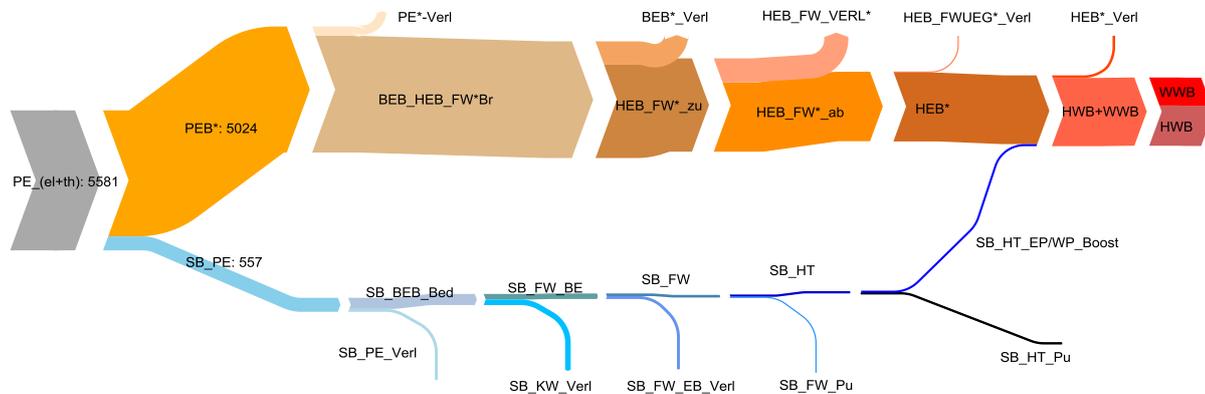


Abbildung 61 Energiebedarf (MWh/a) der VarD3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

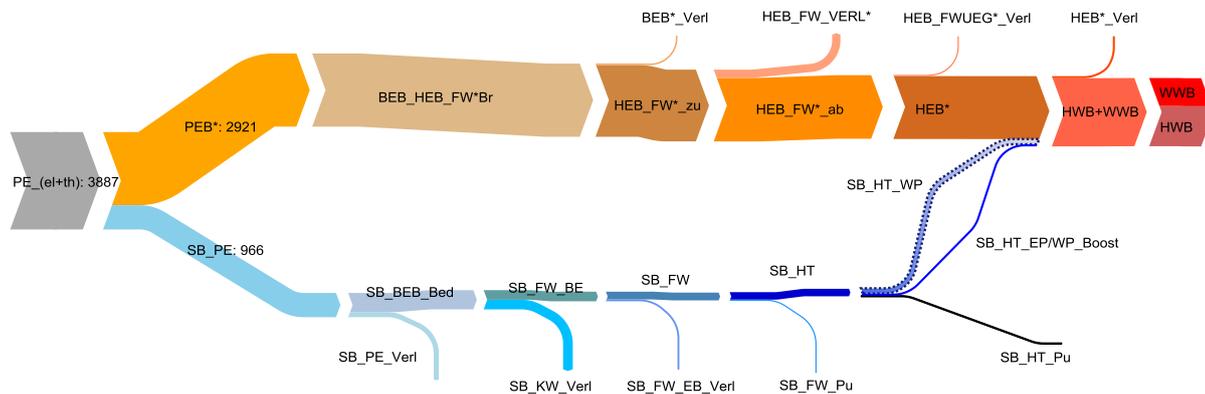


Abbildung 62 Energiebedarf (MWh/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach / Klagenfurt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Sankey – Diagramme Harbach CO₂-Äqu.

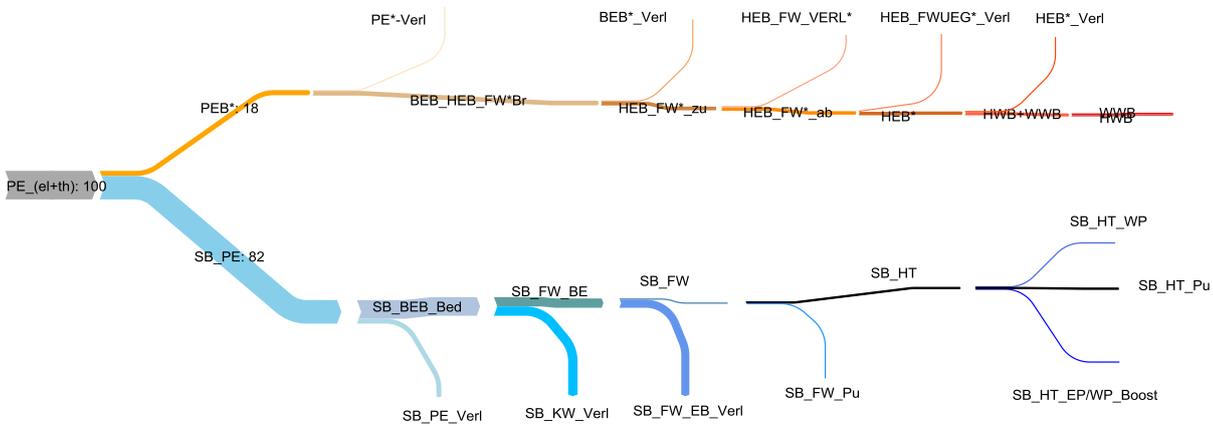


Abbildung 63 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

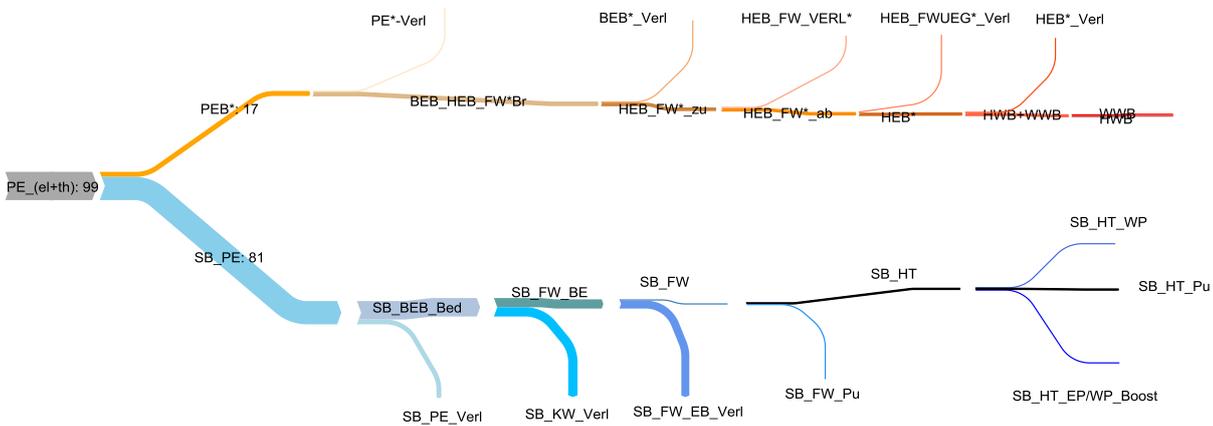


Abbildung 64 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

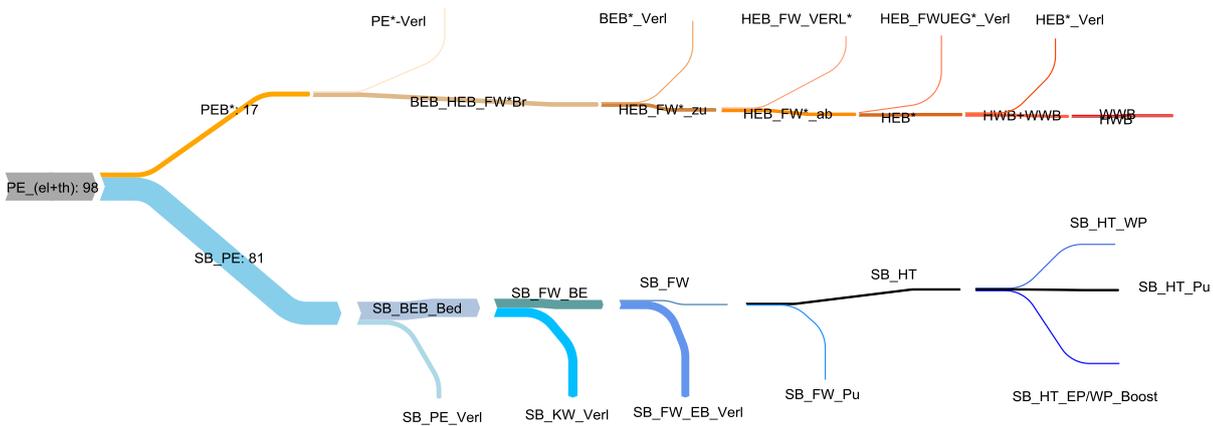


Abbildung 65 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

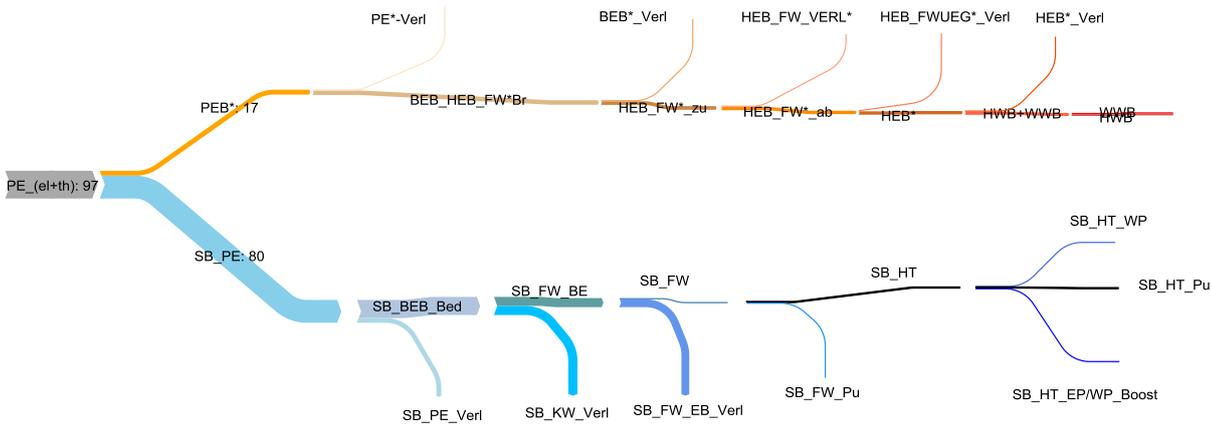


Abbildung 66 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

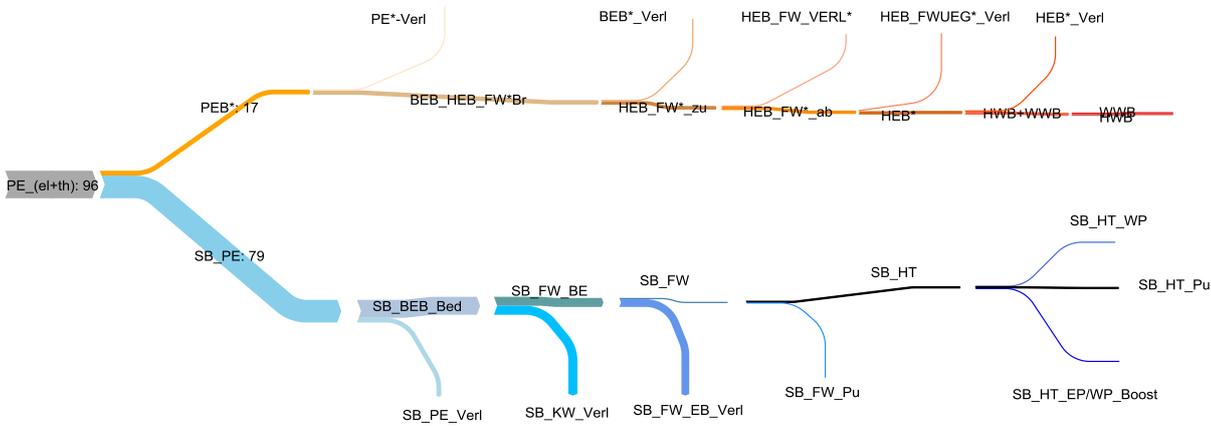


Abbildung 67 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

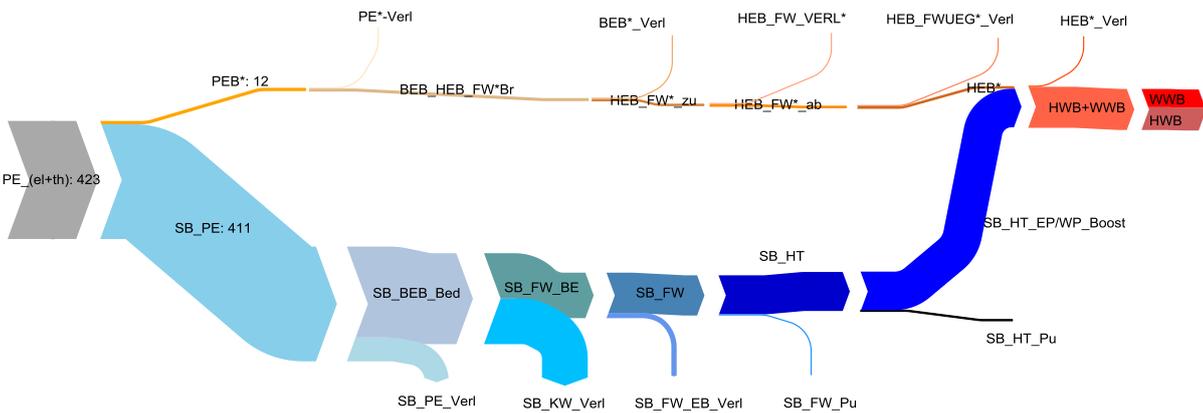


Abbildung 68 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

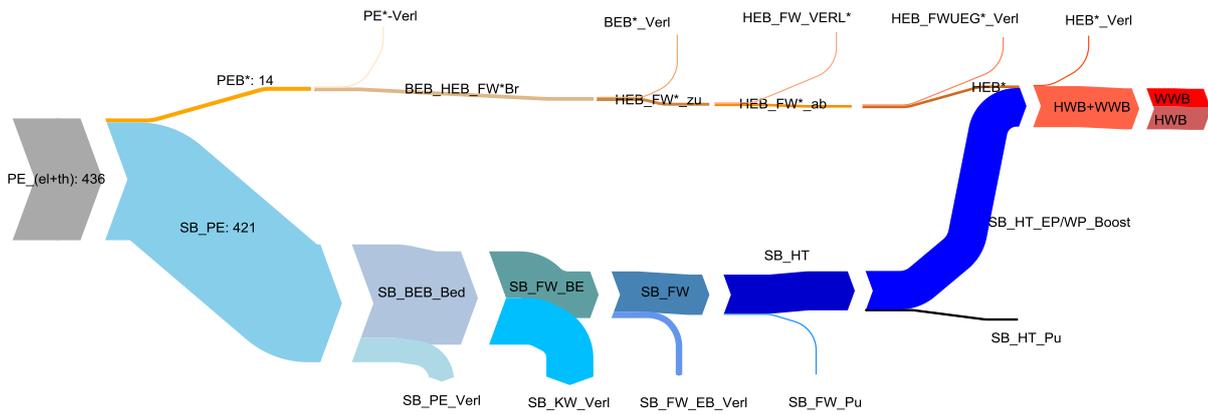


Abbildung 69 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

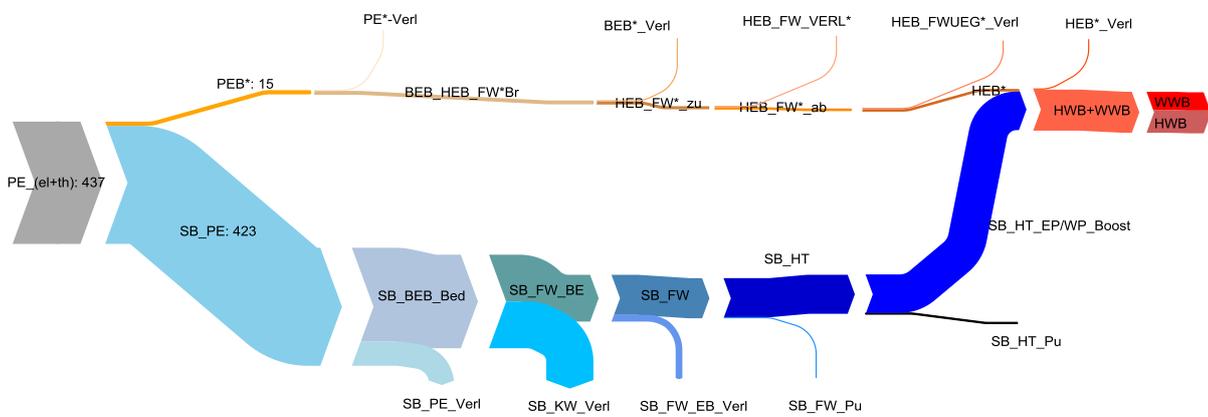


Abbildung 70 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

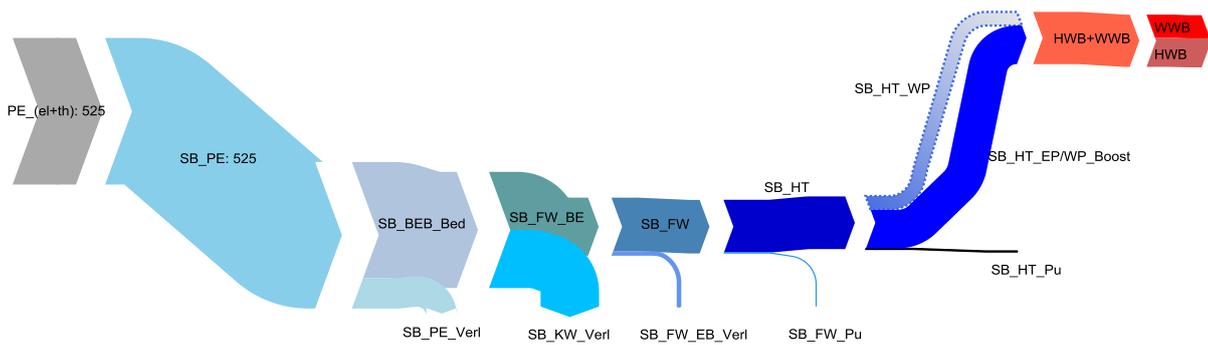


Abbildung 71 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

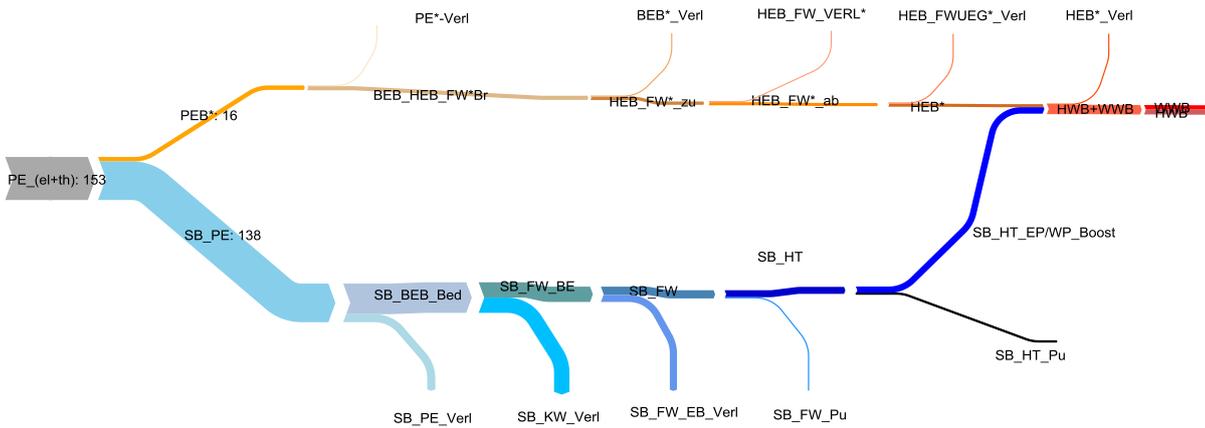


Abbildung 72 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

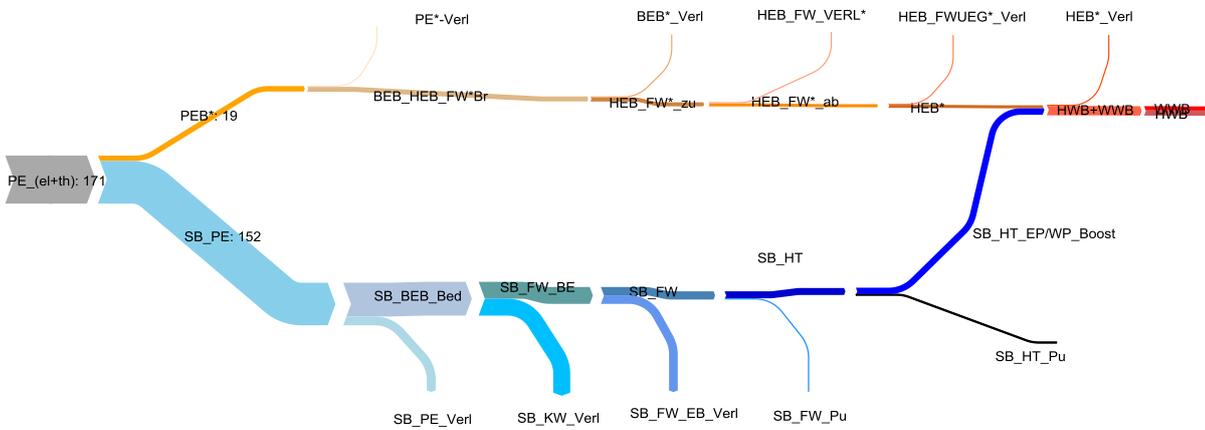


Abbildung 73 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

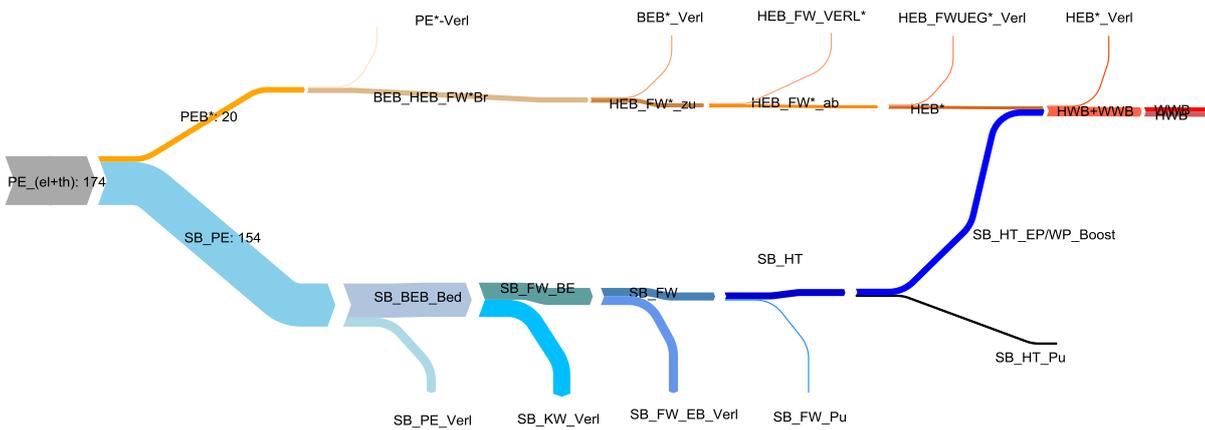


Abbildung 74 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

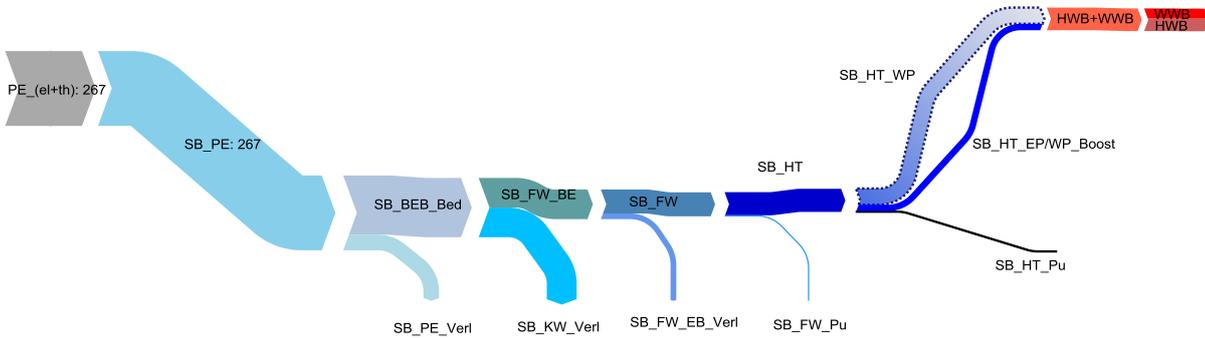


Abbildung 75 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Sankey – Diagramme Harbach Exergie

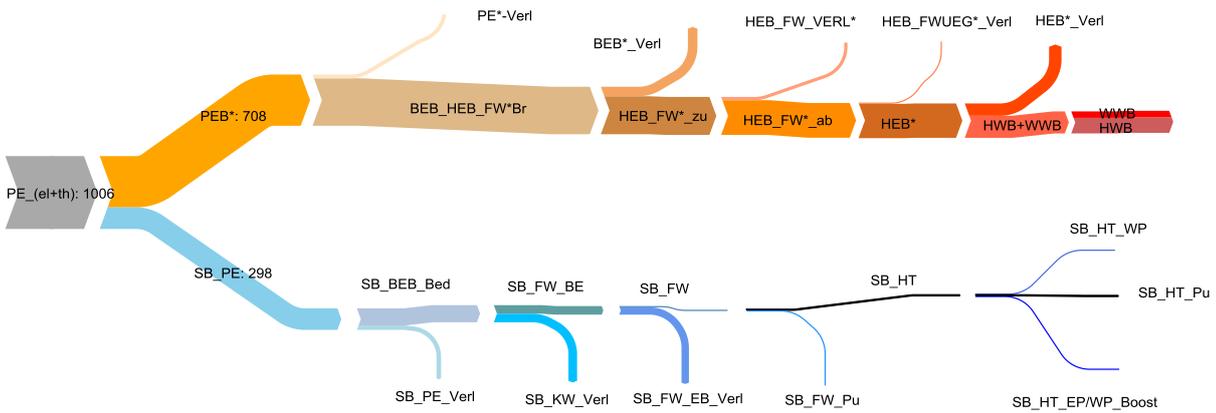


Abbildung 76 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

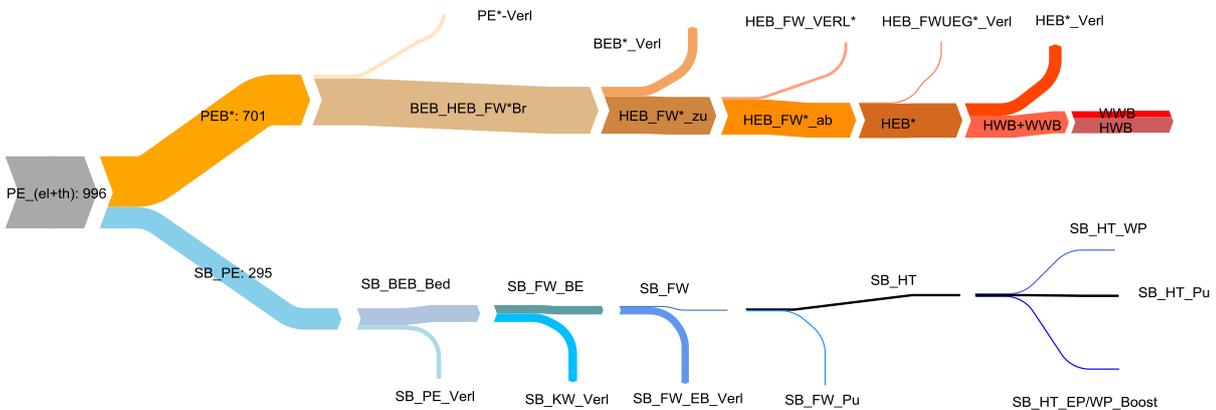


Abbildung 77 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

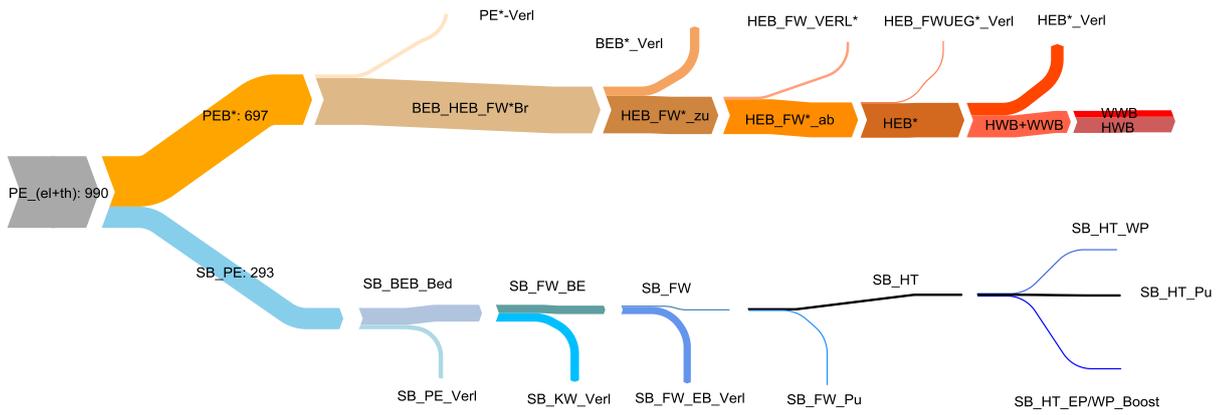


Abbildung 78 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

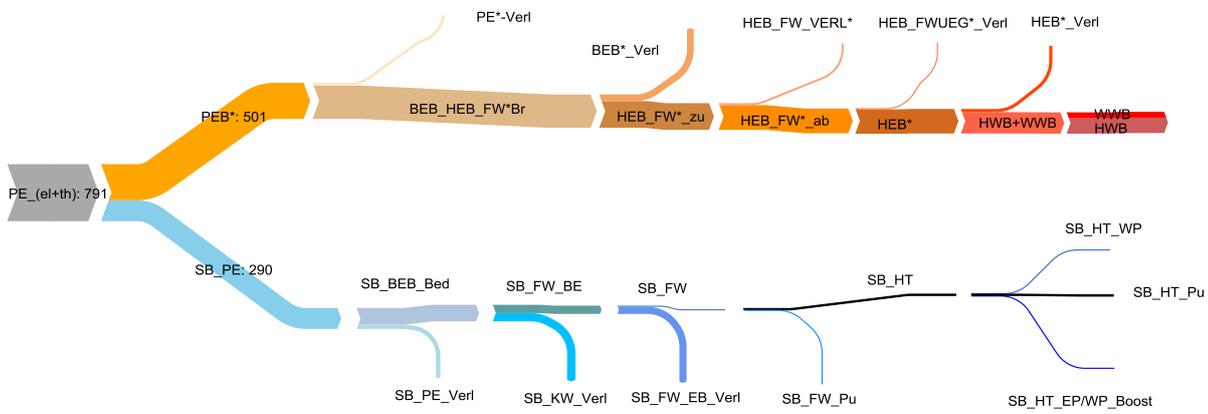


Abbildung 79 Exergiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

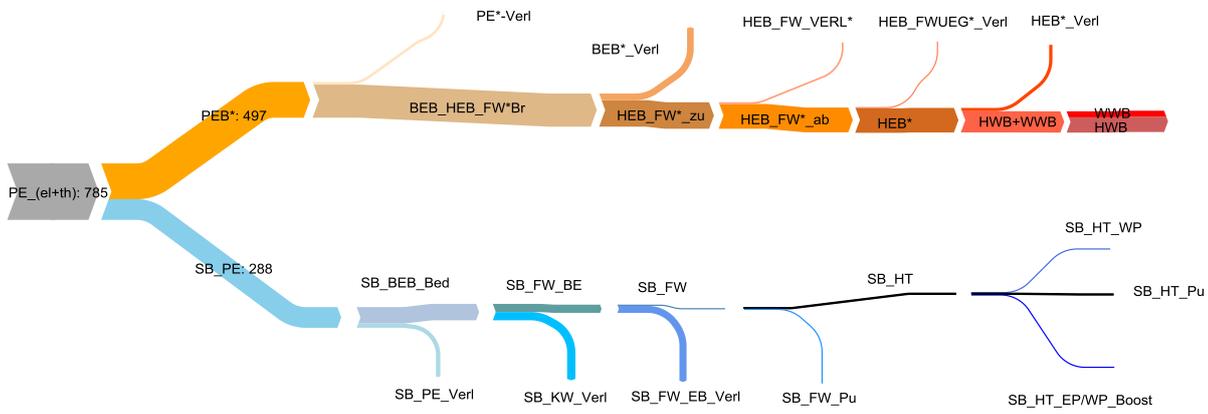


Abbildung 80 Exergiebedarf (MWh/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

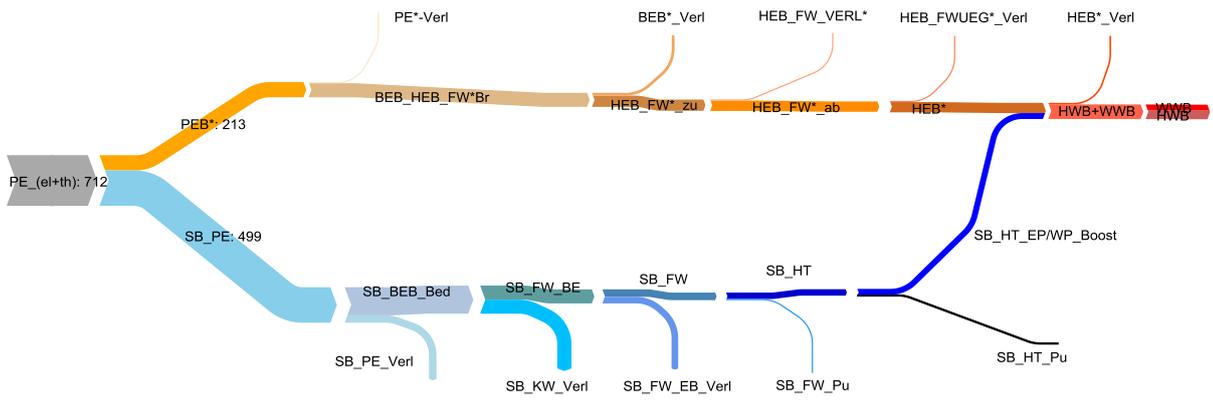


Abbildung 85 Exergiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

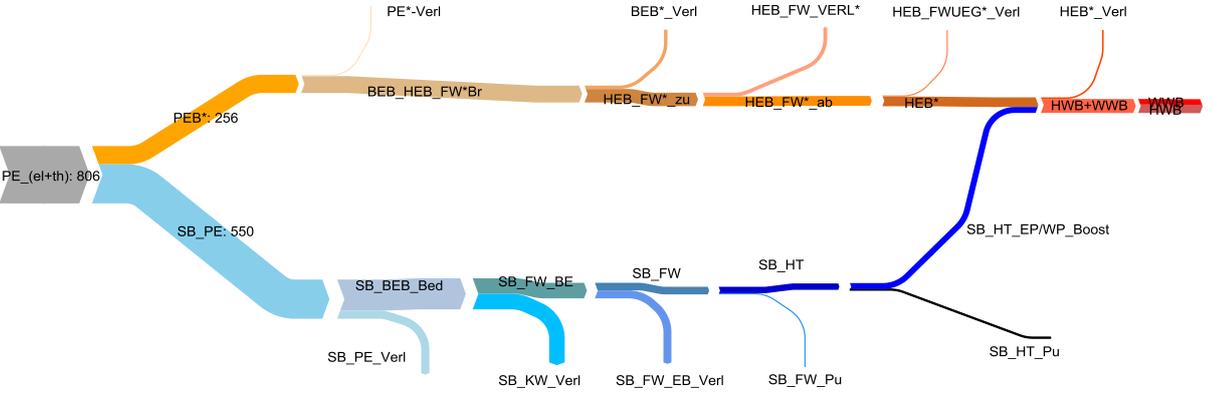


Abbildung 86 Exergiebedarf (MWh/a) der VarD2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

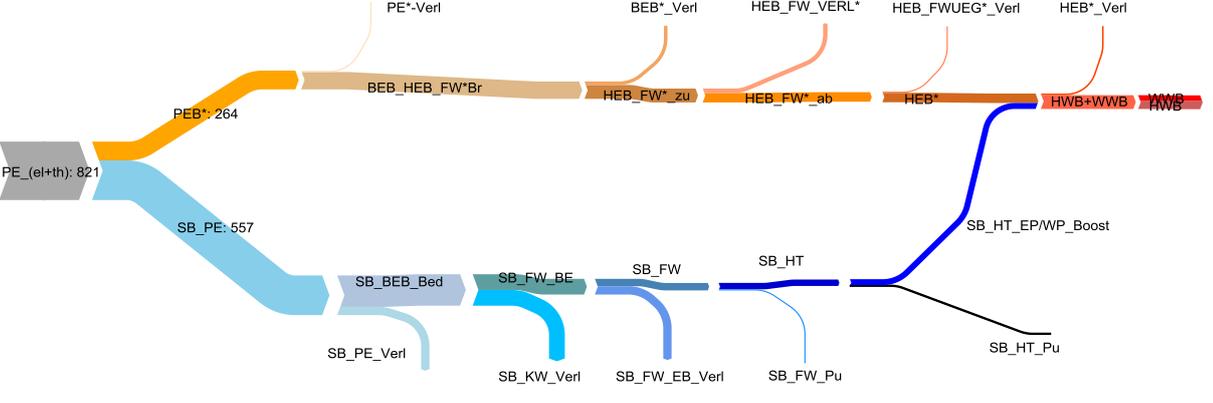


Abbildung 87 Exergiebedarf (MWh/a) der VarD3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

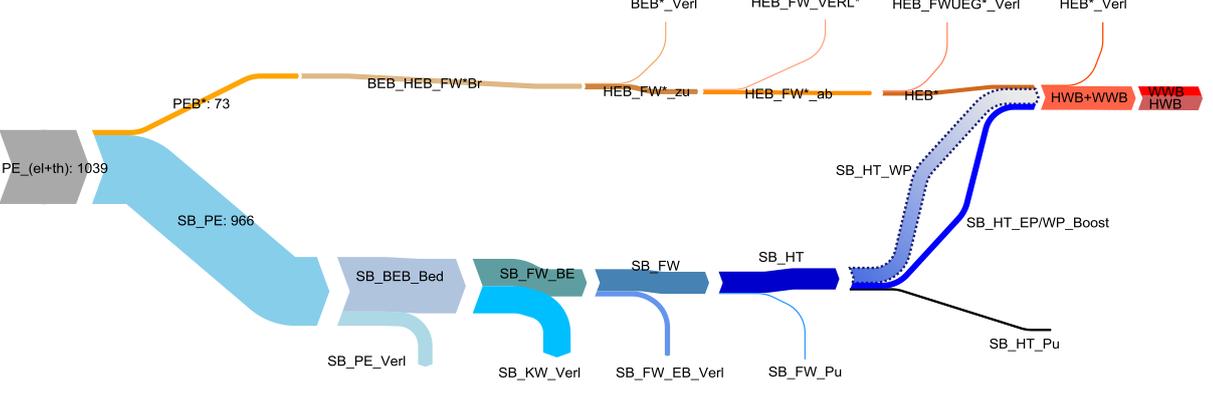


Abbildung 88 Exergiebedarf (MWh/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Harbach

3.7 Techno-ökonomische Bewertung des Energiesystems

Die Bewertung von Energietechnologien unter technischen Aspekten wie bspw. dem Wirkungsgrad sowie ökonomischen Gesichtspunkten wie z.B. den Investitions- und Betriebskosten ist eine wichtige Grundlage für Investitionsentscheidungen im Besonderen und die Einordnung und Bewertung der Technologien im Allgemeinen. Bei der technischen Bewertung kommt ein breites Spektrum an Methoden zur Anwendung, beginnend bei grundsätzlichen thermodynamischen Abschätzungen über Prozesskettenanalysen bis hin zu umfassenden Lebenszyklusanalysen. Die wirtschaftliche Bewertung basiert auf den entsprechenden Methoden der Investitions- und Kostenrechnung (siehe Kapitel 2.7).

Auf Grund der Abschätzung der Investitionskosten, ergibt sich nun für das Modellgebiet Harbach / Klagenfurt nachfolgendes Bild (Tabelle 11) für die ökonomische Bewertung:

Kommend von den klassischen Varianten der Fernwärmeversorgung, mit Auslegungsparametern von Vor- und Rücklauftemperaturen bei 90 bzw. 40 °C, ergibt sich hinsichtlich der Gesamtkosten des Energiesystems, dass der Übergang zu etwas niedrigeren Systemtemperaturen (Varianten B) aufgrund geringerer Spreizungen zu höheren Investitionskosten für das Netz führen (sofern der Bedarf bei der Kundeseite, wie im vorliegenden Fall, nicht gesenkt werden kann). Wird der Weg der Senkung der Systemtemperaturen fortgesetzt, so zeigen die Varianten C und D mit Systemtemperaturen von 38 °C Vorlauf- und 27 °C Rücklauftemperatur i.W. deutlich niedrigere Kosten für den Wärmebezug, da niederkalorische Wärme günstiger abgegeben wird. In Relation dazu steigen aber die Aufwendungen für die Temperaturanhebung (WP oder E-Patrone). Dies zeigt sich auch in den exergetischen und PEB- bzw. CO₂-Bewertungen.

Wird das technische System der Temperaturanhebung auf häuserspezifische Voranhebungen mittels Wärmepumpe gekoppelt mit wohnungsweisen Heizpatronen für die Warmwasserhebung erweitert (Variante C4), so kann auch eine weitere Senkung der Quellen- (Versorgungs-) -temperaturen keine Verbesserung der pekuniären Gesamtaufwendungen leisten. Wird in der Variante D4, ein System aus Wärmepumpen und Booster-Stationen eingesetzt, so werden aufgrund der zusätzlich massiv steigenden Investitions- und damit Kapitalkostenaufwendungen die sodann wieder sinkenden Stromaufwendungen nicht insgesamt zu einer verbesserten wirtschaftlichen Situation führen.

Aufgrund der zuvor geschilderten Zusammenhänge wurde bei der Ergebniszusammenstellung auf Basis der bisherigen Berechnungen eine zusätzliche Variante D5 definiert, welche eine rein Kalte Fernwärmeversorgung durch eine Quellen-/Senken-Brunnenanlage (die Kosten der Brunnenanlage sind in der Position Rohre subsummiert) mit Leitungsnetz als Wärmequelle für häuserzentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpen einsetzt. Dabei wurde angenommen, dass die Wärmepumpen gleich auf Warmwasserbereitungstemperaturen anheben und daher eine weitere sekundäre Anhebung nicht mehr erforderlich ist. Damit lässt sich in Summe der Kapitalkostenaufwand mit den Wärmepumpen wieder reduzieren und die Gesamtkosten bewegen sich in gleicher Größenordnung wie beim Referenzfall. Eine zusätzliche Nutzung von ‚echter‘ Abwärme (Wasteheat) und eine weitere Reduktion des Temperaturniveaus (VLT / RLT) kann eine weitere Verbesserung (z.B. bei Variante D5) bringen.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 11 Übersicht hinsichtlich der wirtschaftlichen Bewertung der technischen Versorgungsvarianten und deren Reihenfolge für Harbach

Variante	A3	A2	A1	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D4	D5
	90/40_DS3	90/40_DS2	REF. 90/40_DS1	60/36_DS1	60/36_DS2	38/27_DS1	38/26 k. Dämmung	38/27_PLT	26/15_PLT	26/15_PLT	15/10_PLT
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
(durchschn. Nennweite)	38,2	38,2	38,2	51,9	51,9	65,6	65,6	94,1	92,8	92,8	92,8
Grabung (ger. auf 11€)	135 000	129 000	117 000	126 000	126 000	134 000	100 000	108 000	108 000	108 000	108 000
Rohre (ger. auf 11€)	312 000	279 000	251 000	321 000	321 000	390 000	72 000	82 000	82 000	82 000	232 000
Übergabestationen klassisch	82 500	82 500	82 500	83 600	83 600	92 400	92 400	92 400	99 000	92 400	92 400
Heizungsanlage (sekundär, Mehrpreis)	-	-	-	112 000	112 000	448 000	448 000	448 000	448 000	448 000	448 000
Booster	-	-	-	-	-	104 000	104 000	104 000	604 000	1 380 000	500 000
Investivsumme Netto	529 500	490 500	450 500	642 600	642 600	1 168 400	816 400	834 400	1 341 000	2 110 400	1 288 000
Spez. Kosten	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]	[€/lrm]
kalk. Lebensdauer Rohrtrasse	40					820,7	573,4	586,1	941,9	1 482,3	904,7
kalk. Lebensdauer Übergabestationen, WP, Booster	[a]										
kalk. Zinssatz	5%										
Annuitätenfaktor Rohrtrasse	5,83%										
Annuitätenfaktor Übergabestationen, Booster,											
Heizungsmehrkosten	8,02%										
Kapitalkosten Rohrtrasse	[€/a]	23 777	21 446	26 050	26 050	30 538	10 024	11 073	11 073	11 073	19 815
Kapitalkosten Übergabestationen	[€/a]	6 620	6 620	6 708	6 708	7 414	7 414	7 414	7 944	7 414	-
Kapitalkosten Heizungsanlagen-Mehrkosten	[€/a]	-	-	8 987	8 987	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949
Kapitalkosten WP+E-Patrone / WP-Booster	[€/a]	-	-	-	-	8 345	8 345	8 345	48 467	110 735	40 121
Summe Kapitalkosten	[€/a]	32 670	30 398	28 066	41 746	82 246	61 732	62 781	103 432	165 171	95 885
Wärmeverluste	[MWh/a]	193	215	202	174	128	595	710	265	710	-
spez. Verlustkosten	[€/MWh_th]	50	50	50	50	50	20	20	-	-	-
kalk. Wärmeverlustaufwand	[€/a]	9 631	10 744	12 582	10 122	2 566	11 901	14 190	-	-	-
Pumpenergieaufwand	[MWh/a]	8	9	9	9	16	16	14	11	14	20
spez. Pumpenergiekosten	[€/MWh_el]	140									
kalk. Pumpstromaufwand	[€/a]	1 187	1 198	1 261	1 250	2 171	2 285	1 997	1 549	1 997	2 800
kalk. Wärmebezugspreis (Eintritt Netz)	[€/MWh_th]	50	50	50	50	20	20	20	-	-	-
kalk. Wärmekosten (Abnehmerbezug)	[€/a]	150 712	150 712	147 735	147 735	41 210	41 210	41 210	-	-	-
Zusätzlicher Strombedarf für WW-Boosting	[MWh_el/a]	-	-	-	-	500	500	500	670	253	571
kalk. Stromkosten WW-Boosting	[€/a]	-	-	-	-	70 000	70 000	70 000	93 800	35 420	80 000
Wartung und Instandhaltung	[€/a]	10 590	9 810	12 852	12 852	23 368	16 328	16 688	26 820	42 208	25 760
laufende Kosten	[€/a]	172 119	172 464	173 519	170 549	69 315	71 723	74 085	28 369	44 205	28 560
Gesamtkosten	[€/a]	204 790	202 862	201 586	212 295	221 561	203 456	206 867	225 601	244 796	204 445
Rank der niedrigsten Gesamtkosten	[1]	5	2	1	8	9	3	6	10	11	4

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

In Abbildung 90 ist die grafische Gegenüberstellung der ökonomischen Bewertung der Versorgungsvarianten für die Modellregion Harbach / Klagenfurt dargestellt. Hier sind deutlich die Minderkosten beim Rohrnetz der VarC (bzw. VarD) erkennbar (dunkelgrün). Andererseits sind auch die Mehrkosten seitens der Heizungsanlage (Fußbodenheizung - orange) und der dezentralen Warmwasserbereitung (dez. WW-Booster-Stationen - hellblau) deutlich ersichtlich. Im Schnitt sind somit ca. 10 % an Mehrkosten für die K-FW, im Fall Harbach zu erwarten. Eine konsequente Umsetzung des K-FW Ansatzes könnte die Kosten (Variante D5) auf den Level der konventionellen Konzepte reduzieren.

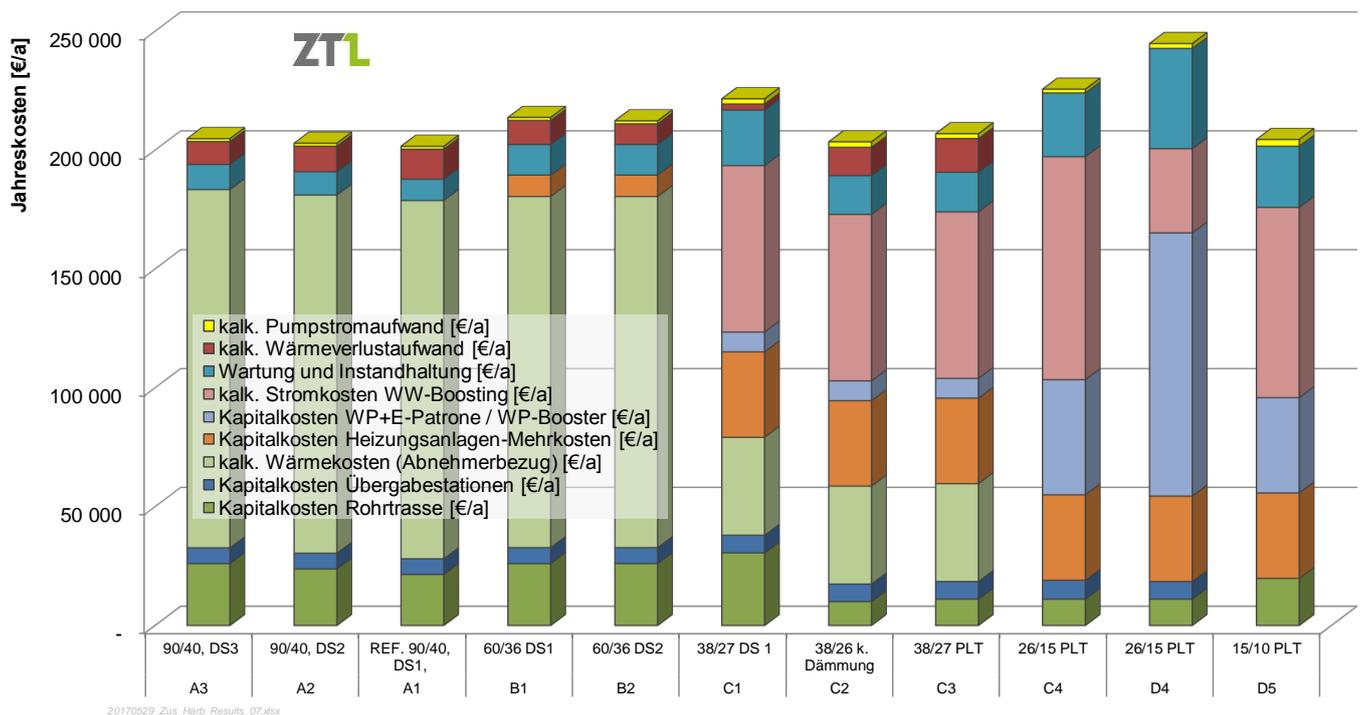


Abbildung 89 Gegenüberstellung der Ergebnisse der wirtschaftlichen Bewertung der Versorgungsvarianten für Harbach

3.8 Umsetzungsstrategie

Auf Basis der technischen und ökonomischen / ökologischen Analysenergebnisse der dargestellten Varianten lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Bereits in der Planungsphase, beziehungsweise der Errichtungsphase **vermiedene Energiebedarfe** reduzieren ganz generell im Sinne von „**Primärmaßnahmen**“ den weiteren Investitions- und Betriebsaufwand jedes Neubaus und auch des betrachteten Modellareals. In technischer Hinsicht wirken sich diese Reduktionen des Nutzenergiebedarfs auf die Energiebereitstellungskette aus und erhöhen damit die Effizienz des Neubaus bzw. der Sanierung. Diese Maßnahmen geschehen zwar ohne Nachweis, sind jedoch von höchster Priorität und deshalb hier an erster Stelle angeführt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hinsichtlich der **Nutzung Kalter Fernwärme** ist primär zu unterscheiden, ob die Wärmequelle, die zur Speisung des entsprechenden Verteilnetzes eingesetzt werden soll, ausschließlich echte „Wasteheat“ liefert, oder ob die Abwärmenutzung ebenso auch wieder einen Brennstoffenergieaufwand generiert. Demnach wären unter den Wasteheat-Szenarien beispielsweise die folgenden Anwendungsfälle denkbar:

- a. Ansonsten nutzlos an die Umgebung rückzukühlender Wärmeeinfall – also Wasteheat im eigentlichen Sinne
- b. Notwendige Nutzung von Abwärmern (als Sowieso-Notwendigkeit), damit zum Beispiel Mindesteffizienzen einer KWK-Anlage gehalten werden können (um beispielsweise ein notwendiges Effizienzkriterium einer Anlagengenehmigung oder eines Effizienznachweises für Ökostromtarifizierung zu erfüllen);
- c. Eine schrittweise erweiterte, kaskadische Nutzung (Kühlung) von Rückläufen von industriellen oder sonstigen Wärmenetzen bei de facto keinem Anfall von zusätzlichem Brennstoffaufwand und der Generierung des notwendigen Bereitstelleraufwandes durch zusätzliche Bereitsteller- und Einspeisepotenziale (z.B. nutzbare latente Abgaswärme (Kondensatorwärme); oder bspw. höhere Bereitstellungspotenziale von thermischen Solaranlagen, udgl.).

In Harbach zeigt sich hier der Fall b), nämlich, dass im Einzugsgebiet der Klagenfurter Fernwärme entsprechende Abwärmepotenziale zur Verfügung stehen und für Harbach nutzbar wären. Der Ansatz bezüglich der Nutzung eines saisonalen Energiespeichers im Kapitel 3.2 verfolgt diese Möglichkeit. Aus der Sicht der Erschließung eines Areals werden von den klassischen Versorgungsnetz-Parametern abweichende Netzparameter (im Wesentlichen die Rohrdämmung und das Temperaturniveau) ausschließlich in jenen Erschließungsfällen in Frage kommen, wenn Gebiete vorliegen, in denen keine sonstige Wärmeversorgungsinfrastruktur im engeren und weiteren Umfeld vorhanden ist und darüber hinaus die Bebauungsstruktur und –qualität verbindlich festgelegt werden kann. Des Weiteren sollten auch dezentrale Wärmeversorgungssysteme keine bessere Wirtschaftlichkeit zeigen.

Im **Falle von Harbach** könnte die Wärmeversorgung als Subsystem an einem bestehenden Versorgungssystem gesehen werden (detto in Weiz – siehe später, Kapitel 4) und dabei einerseits eine Rücklaufnutzung angedacht werden. Andererseits kann auch im Großraum Klagenfurt an die notwendigen Effizienzkriterien von KWK-Anlagen und dergleichen im Hinblick auf erreichbare Anlagenauslastung und Mindesteffizienzen gedacht werden, womit die betrachtete Variante einer langfristigen Speichermöglichkeit (Kapitel 3.2) eine interessante Option wäre.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse aus der Blickrichtung des Gesamtenergieeinsatzes, dass die weniger gedämmten beziehungsweise ungedämmten Verteilvarianten erst bei tatsächlich tieferen Versorgungstemperaturniveaus (unter 30 °C) sinngebende Effizienzkennzahlen liefern, sofern die Wärme nicht als echte „Wasteheat“ kostenlos oder aufwandsfrei hinsichtlich Endenergieträgeranfall zur Verfügung steht und keine alternative Nutzungsmöglichkeit bestehen würde.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Bezüglich der **Umsetzung im engeren Sinn** kann im Hinblick auf die notwendigen technischen Komponenten angegeben werden, dass sich die Verfügbarkeit der notwendigen Komponenten im dezentralen Wohnungs-Booster-Bereich als stark eingeschränkt darstellt. Des Weiteren sind entsprechende Langzeiterfahrungen nicht gegeben. Hier würden vermessene Pilotprojekte als sinnvoll erachtet werden.

Hinsichtlich der **praktischen Umsetzbarkeit** kann abgeleitet werden, dass die praktische Einsetzung der Kalten Fernwärme parallel zur Heranführung der Komponenten zur Marktreife auch auf konzeptioneller Ebene vorzubereiten ist. Dazu werden Pilotprojektierungen hilfreich sein, anhand derer man, im Laufe der Zeit einerseits, praktische planerische und andererseits Betriebs- und Usererfahrungen, gewinnen könnte. Darüber hinaus benötigt man Demonstrationsprojekte für die Bewusstseinsbildung und Gewinnung von Planern, Kommunen, Wohnbauträgern und Wohnungsgenossenschaften.

Im Hinblick auf die **Ermittlung und Abschätzung von** ortsgebundenen **Potenzialen** sind die entsprechenden Tools vorhanden (beispielsweise GIS, IDA ICE, DHFOS etc.), anhand derer man beispielsweise unter Berücksichtigung von gegebenenfalls vorhandenen Abwärmekatastern (bspw. KPC oder Vor-Ort-Erhebungsdaten), Ressourcenkatastern und dergleichen, sehr rasch und kosteneffizient Vorranggebiete für leitungsgebundene Wärmeversorgungsgebiete abschätzen kann. Damit wäre es dann beispielsweise in der Raumordnungs- oder Baulegislativ vor einer Gebietserschließung möglich vorliegende Potenziale hinsichtlich eines brauchbaren Wärmeversorgungs Konzeptes zu überprüfen und auch einen Nachweis zu verlangen, der bestätigt, dass bezüglich der Gesamtenergieaufwendung ein sinnvoller Bereitstellungsmix gefunden und realisiert werden kann. Ferner wäre es sicher hilfreich, kommunikativ auf der Bewusstseinschiene die sogenannten „Stakeholder“ zu informieren und zu schulen.

4 Modellregion Weiz/Neustadt

Die zweite betrachtete Modellregion ist der Ortsteil Neustadt der Stadt Weiz. Das oststeirische Weiz ist die Hauptstadt des gleichnamigen Bezirkes und die größte Stadt der Oststeiermark. Sie ist nach Feldbach die einwohnermäßig zweitgrößte Stadt der Oststeiermark bzw. die zehntgrößte Stadt der Steiermark und gilt auf Grund mehrerer Industrieunternehmen als Industriestadt. Seit der Fusion der Gemeinden Weiz und Krottendorf mit Jänner 2015 steht die urbane Region Weiz- Krottendorf (ca. 11.200 Einwohner) neuen Potenzialen gegenüber, die es zu erschließen gilt. In der Stadt Weiz „findet Energie Stadt“. Diesem Slogan verpflichtet plant und realisiert die Stadt und ihre verbundenen Unternehmen innovative Energieprojekte (Ausbau der Biomasse-Fernwärme, thermische Sanierung nahezu aller öffentlicher Gebäude, größte Passivhaus-Siedlung Österreichs, Waste Water Wärmepumpe, Eisspeicher: HotIce Weiz, PV-Strom und Klärgas-Kraftwärmekopplung für Kläranlage, Ausbau Stadtbahn) und wird dafür auch regelmäßig ausgezeichnet: u.a. e₅-Gemeinde mit dem European Energy Award in Gold und österreichischer Klimaschutzpreis (2010, 2015).

Es gab und gibt mehrere Projekte in Weiz die sich mit der nachhaltigen und effizienten Wärmeversorgung von Gebäuden beschäftigen. Aktuell wird z.B. ein Projekt bearbeitet, in dem ein Wärmeversorgungskonzept detailliert vermessen und untersucht wird, das als ökologische Alternative realisiert werden kann, wenn am Standort des Wohnhauses keine Fernwärme verfügbar ist (Hierz, et al., 2017). Des Weiteren wurde im Herbst 2017 der Bauhof Weiz neu errichtet, wobei mit diesem Sondierungsprojekt der Entwicklungsprozess hin zu einem Bauwerk mit Energieeffizienz und Energiespeicherung mit möglichst hoher Eigenenergiebedarfsdeckung, unterstützt worden ist. Dieser Bauhof ist gleichzeitig die Übergabestation vom Bestandsnetz, hin zum neu mit Fernwärme zu versorgenden Stadtteil Neustadt).

Tabelle 12 Modellregion Neustadt / Weiz: Gebäudealter, Anzahl Gebäude und Flächen je Gebäudetyp

Bauperiode	Anz. Geb.	BGF m ²	BGF je Geb. m ² /#	E & ZFHs	MFHs	Sonstige	Unbekannt
bis 1919	2	1054	527	1	1	0	0
1919-1944	15	2506	167	11	4	0	0
1945-1960	59	8945	152	38	18	3	0
1961-1970	66	12073	183	44	18	4	0
1971-1980	45	11246	250	32	10	3	0
1981-1990	55	10830	197	47	8	0	0
1991-2000	18	3335	185	13	3	2	0
2001-2010	42	34329	817	35	4	3	0
2011-2016	14	6099	436	9	3	2	0
unbekannt	125	6364	51	1	1	7	116
Summe	441	96781	219	231	70	24	116

BGF ... Bruttogeschoßfläche, E & ZFH ... Ein und Zweifamilienhäuser, MFH ... Mehrfamilienhäuser

Diese Modellregion besteht aus etwa 440 Gebäuden, vorwiegend Ein- und Zweifamilienhäuser, älteren Baualters, wodurch mit einer eher geringen Wärmedichte zu rechnen ist (siehe Abbildung 90 und Tabelle 12). An vier Stellen des Stadtteiles Neustadt sind Neubauten von Mehrfamiliensiedlungen (in Summe etwa 320 WE) geplant. Abwärmepotenzial ist lokal (im betrachteten Stadtgebiet) nur in geringem Ausmaß verfügbar, in der Stadt Weiz selbst, gibt es durchaus beträchtliches Abwärmepotenzial aus der lokalen Industrie (siehe auch Kapitel 4.1.3).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 13 Modellregion Neustadt / Weiz: Energieträger der Wärmeversorgungskonzepte je Bauperiode

Bauperiode	Heizöl	Erdgas	Biomasse	Fernwärme	Strom	Sonst. & Unbek.
bis 1919	0	2	0	0	0	0
1919-1944	4	3	3	2	0	3
1945-1960	25	16	5	6	0	7
1961-1970	35	12	3	7	2	7
1971-1980	24	7	6	2	1	5
1981-1990	21	5	15	3	9	2
1991-2000	8	4	0	1	4	1
2001-2010	4	10	2	18	4	4
2011-2016	1	3	1	2	7	0
unbekannt	1	0	1	1	1	121
Summe	123	62	36	42	28	150

Seitens der aktuellen Wärmeversorgung, werden derzeit 28 % der Gebäude mit Öl, 14 % mit Erdgas, 10 % mit Fernwärme und 8 % mit Biomasse versorgt. Weitere 6 % der Gebäude werden mit dem Energieträger Strom geheizt (Tabelle 13). Damit ergibt sich ein deutliches Potential von ca. 60-70 % des gesamten Wärmebedarfs von Neustadt, der auf den ökologischen Energieträger Fernwärme umgestellt werden kann.

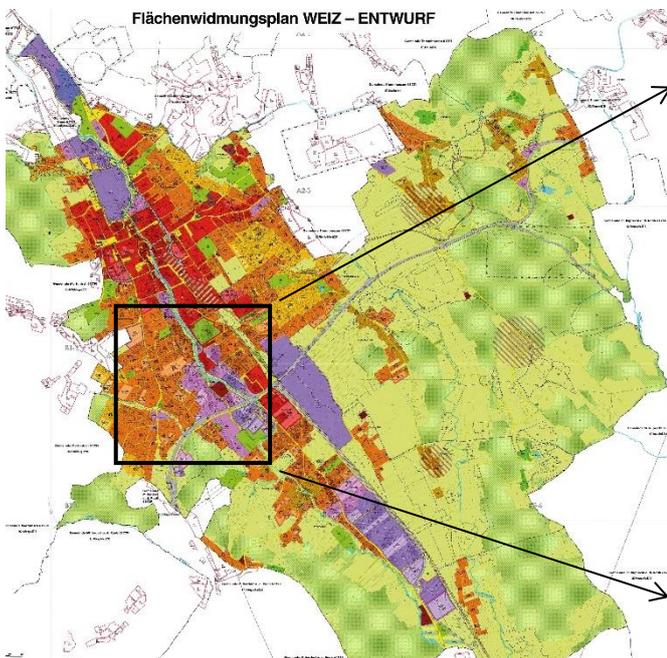


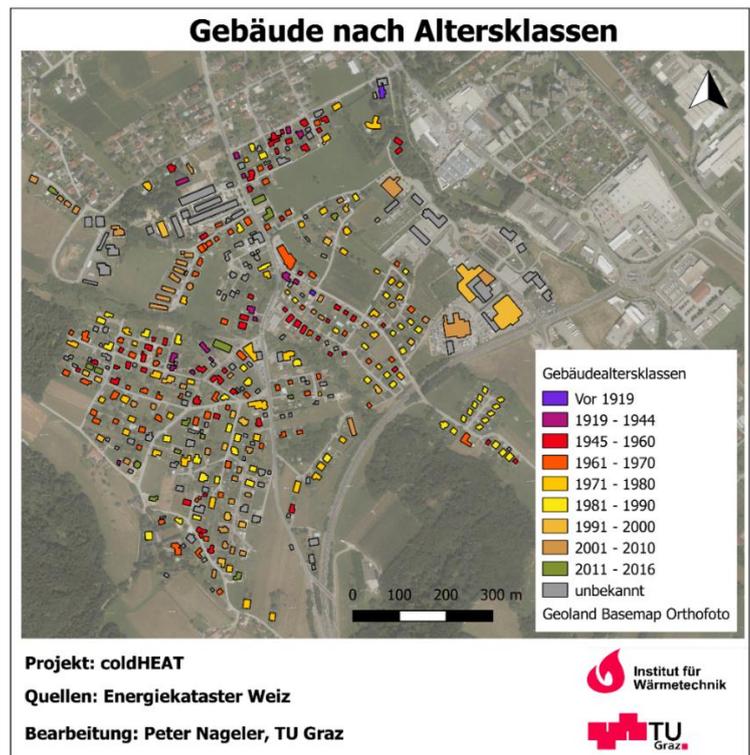
Abbildung 90 Stadtgebiet Weiz (© Stadt Weiz) und ausgewähltes Bestands-Gebiet Neustadt (© Google Maps)

Zusätzlich zur Tabelle 12 und Tabelle 13 sind in der Abbildung 91 und der Abbildung 92 die Ergebnisse grafisch dargestellt. In der Abbildung 91 sind die Gebäude nach Altersklassen zu sehen. Die Modellregion beinhaltet vorrangig Gebäude älteren Baualters. Nur wenige Gebäude sind von 2001 und später. Die unbekanntenen Gebäude sind zumeist kleinere Nebengebäude und Firmenhallen ohne klares Alter.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

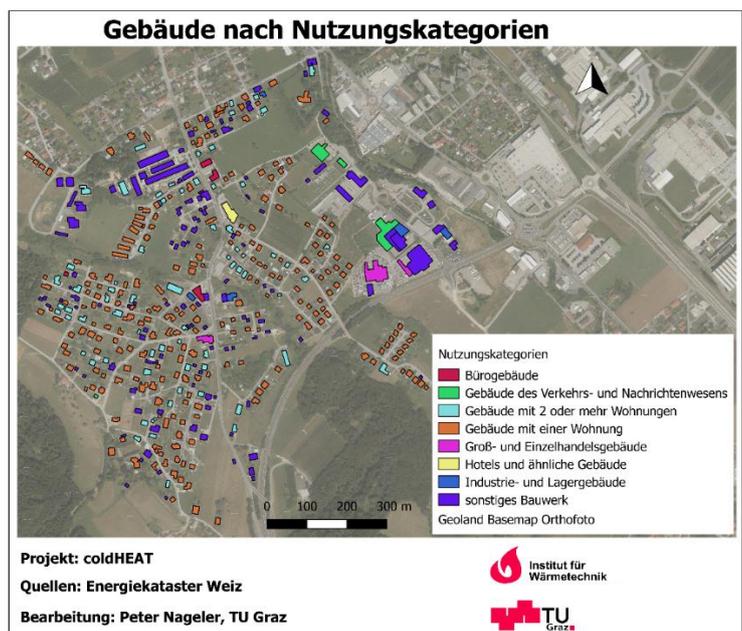
Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 91 Modellregion Neustadt / Weiz – Gebäude nach Altersklassen



In der Abbildung 92 sind die Gebäude nach Nutzungsklassen dargestellt. Dabei ist ersichtlich dass die Modellregion vorrangig aus Wohnbauten (E & ZFH und MFH) bestehen. Neben vereinzelter Groß- und Einzelhandelsgebäude (Autohändler, Fleischerei, Umspannwerk, etc.) sind auch einige Gebäude in der Kategorie der sonstigen Gebäude. In der Kategorie finden sich neben zumeist kleineren Nebengebäuden einige Firmenhallen, ohne einer klaren Zuordnung zum Gewerbe. Hier sollte eine Verfeinerung bzw. eine Verbesserung der Datengrundlage durchgeführt werden.

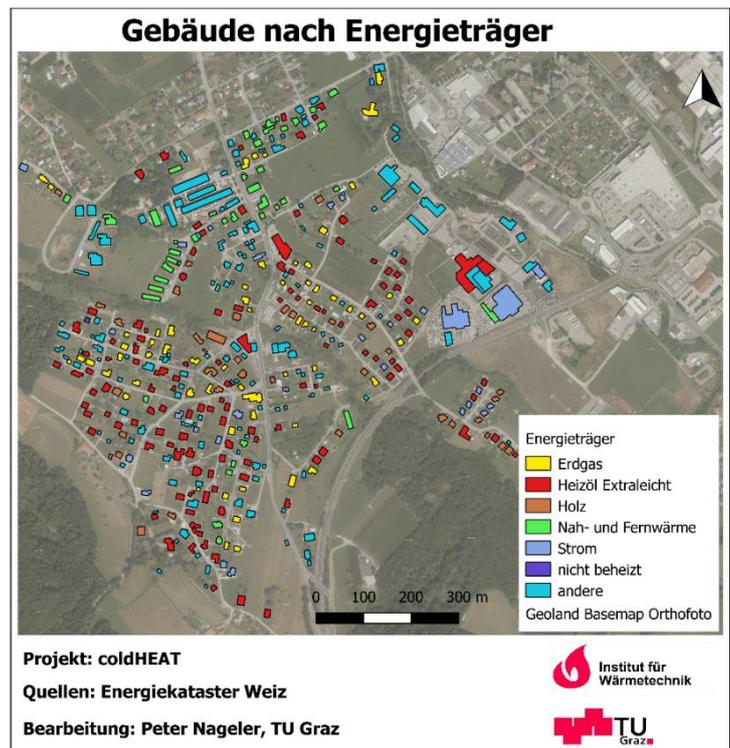
Abbildung 92 Modellregion Neustadt / Weiz – Gebäude nach Nutzungskategorien



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 93 Modellregion Neustadt / Weiz –
Gebäude nach Energieträger



In der Abbildung 93 sind die Gebäude nach Energieträgern dargestellt. Der Energieträger Öl und Gas versorgt vorrangig kleinere Wohnbauten. Fernwärme wurde in neueren Mehrfamilienbauten bereits eingesetzt. Teilweise werden Firmen und E & ZFH mit Strom (via Wärmepumpen) beheizt. Der energetisch relevante Teil der sonstigen Energieträger betrifft vor allem Firmenhallen, deren Nutzung ebenfalls nicht eindeutig aus den Daten hervorgeht. Hinsichtlich des hohen Heizlastanteils der unbekannt, anderen Energieträger, sollte auch hier an einer Verfeinerung bzw. an einer Verbesserung der Datengrundlage gearbeitet werden. Ziele in Neustadt / Weiz: Neben der Umsetzung von Nachverdichtungsvorhaben und von Maßnahmen zur thermischen Sanierung von Bestandgebäuden wird eine Niedertemperaturwärmeversorgung angedacht. Die Wärmeversorgung soll auch hier für die NutzerInnen „leistbar“ und ökologisch nachhaltig realisiert werden.

Ein weiteres Ziel ist es, die Abwärmepotenziale von Industrie- / Gewerbebetrieben aus dem näheren Umfeld in das Wärmeversorgungskonzept zu integrieren und so für Neustadt nutzbar zu machen. Die technische Machbarkeit wird im Rahmen des Projekts dargestellt und dient der Fernwärme Weiz als Entscheidungshilfe für die weitere Vorgehensweise bei der Vorbereitung der Umsetzung des FW-Entwicklungsgebietes Weiz-Neustadt. Damit soll es nicht nur zu einer Verringerung von Energiekosten für die EndenergienutzerInnen kommen, sondern es können auch die energiepolitischen Ziele (Klimaschutz, geringerer Primärenergieeinsatz) erreicht werden. Weiters erfolgt die Bewertung der ökologischen und ökonomischen Sinnhaftigkeit der ausgewählten K-FW Konzepte gegenüber dem konkurrierenden Energieversorgungskonzept im Stadt-Entwicklungsgebiet Weiz-Neustadt. Ebenso erfolgt eine Identifikation und Bewertung von allgemeingültigen und standortspezifischen sozio-ökonomischen Aspekten der K-FW.

4.1 Räumliche Modellierung

In diesem Kapitel werden der Wärmebedarf und der Kühlbedarf auf Adressebene für das Projektgebiet Weiz abgeschätzt. Dies geschieht für zwei Zeitperioden, zunächst für die aktuelle Situation (gestützt auf Klimadaten von 2001 bis 2010) und anschließend als Szenario für die zukünftige Entwicklung (gestützt auf Klimadaten von 2041 bis 2050). Der Bedarf an Wärme und Kühlung wird in Heatmaps (Dichtekarten) dargestellt. Weitere Analysen des Wärmebedarfs grenzen die Potenzialgebiete der Kalten Fernwärme ab.

4.1.1 Modelltechnische Abschätzung des Energiebedarfs für Weiz 2010 & 2050

Der Energiebedarf für Raumwärme, Warmwasser und Kühlung, wurde durch nutzerInnenabhängige Energiekennzahlen für jedes Gebäude abgeschätzt (Rehbogen, et al., in Press). Für diesen Zweck wurden Informationen zu jedem Gebäude gebündelt und bewertet. Markante Gebäudeeigenschaften wie das Gebäudealter oder Gebäudetyp entscheiden unter anderem über den Energiebedarf.

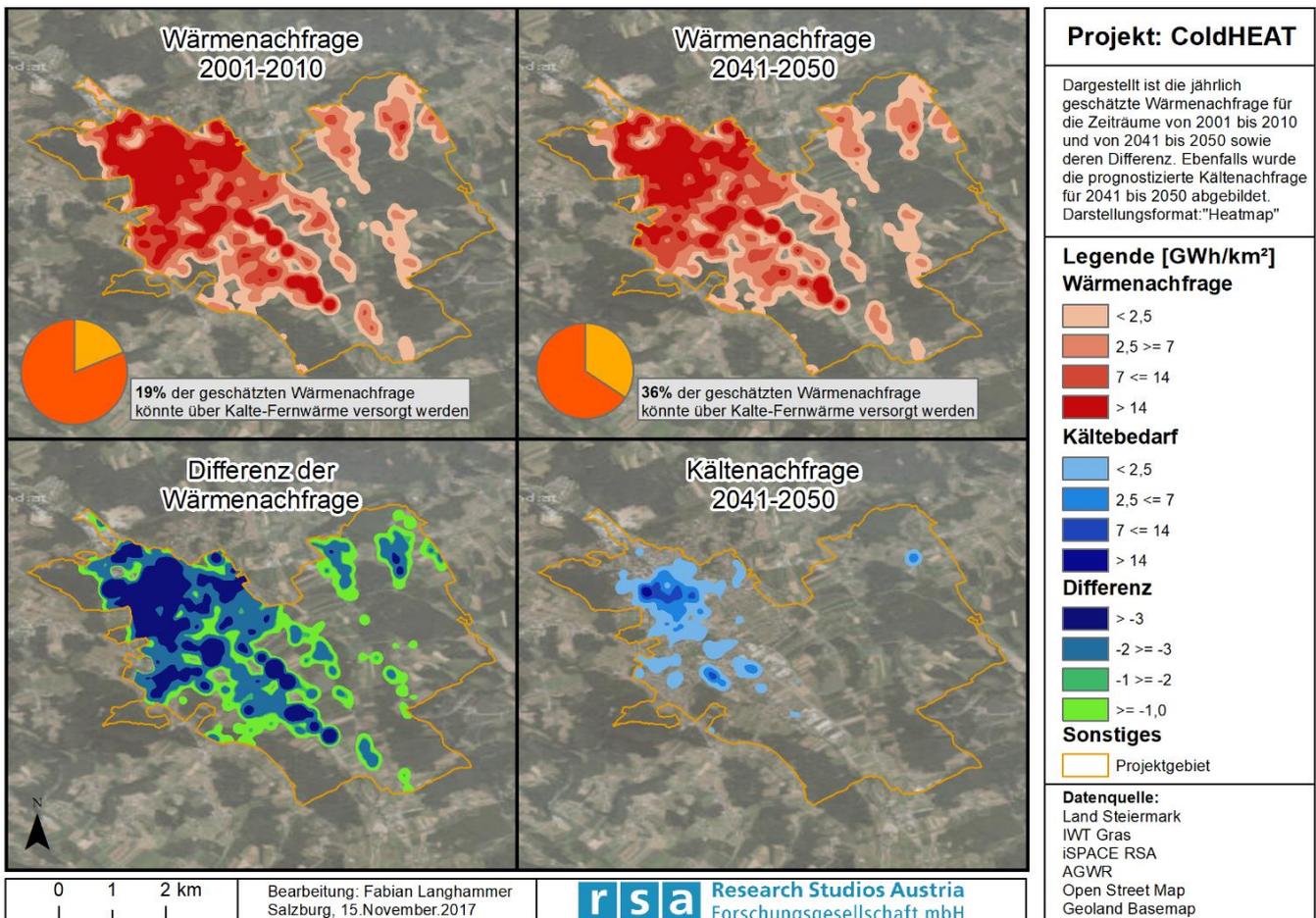


Abbildung 94 Gegenüberstellung der Wärmenachfrage der Szenarien 2001-2010 sowie 2041-2050, ebenfalls dargestellt ist die abgeschätzte Kältenachfrage des Zukunftsszenario

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die kartografische Darstellung erfolgte als sogenannte Heatmap (siehe Abbildung 94). Mit dieser Funktion konnte aus den einzelnen Punkt-Gebäudeinformationen (z.B.: der Energiebedarf) Dichten berechnet und abgebildet werden. Alle Gebäude, welche bestimmte Kriterien erfüllen werden als potenzielle Kalte Fernwärme Abnehmer deklariert. Eine dieser Bedingungen ist der Heizenergiebedarf pro Quadratmeter.

Die GIS-basierte automatisierte Methode zur thermischen Analyse des Gebäudebestandes wurde in der Modellregion Neustadt / Weiz anhand der 441 Gebäude angewandt. Untersucht wurde, auf der Grundlage der vorliegenden Datenlage, inwieweit sich der Heizenergiebedarf (HEB*) bei unterschiedlichen Wärmeversorgungstemperaturen und Konzepten im Wärmeverteilungssystem der Gebäude (Ist-Stand) ändert.

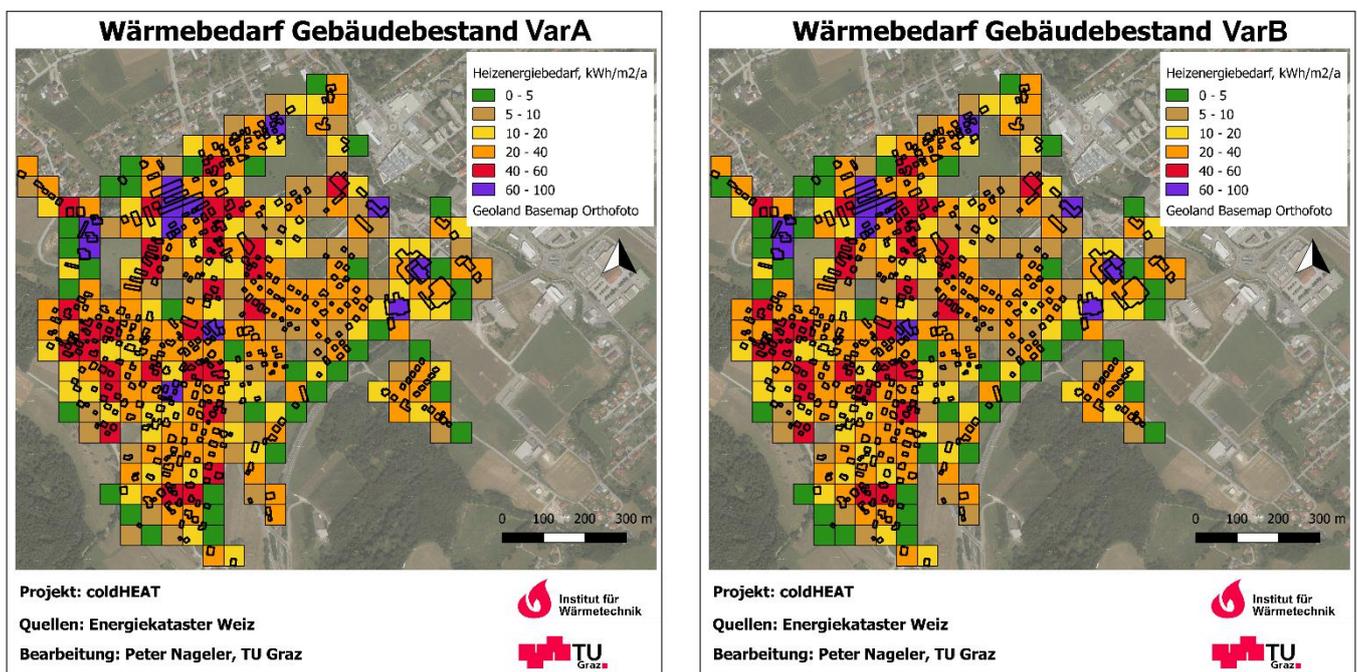


Abbildung 95 Räumliche Darstellung des spezifischen Heizenergiebedarfs (HEB*) für die Modellregion Neustadt / Weiz, für die Wärmeversorgungsvariante VarA und VarB

In den beiden Grafiken der Abbildung 96 sind die Wärmeversorgungsvarianten VarA (links) und VarB (rechts) dargestellt. Hier wird von einer sekundärseitigen Wärmeversorgungstemperatur von 58 °C in den Gebäuden ausgegangen. Der Unterschied zwischen der VarA und B besteht in der Möglichkeit der VarB das ein dezentrales Speichervolumen für das Warmwasser zur Verfügung steht (siehe Abbildung 10). Dadurch können Leistungsspitzen der Warmwasserbereitung im FW-Netz abgefangen werden. Am spezifischen Heizenergiebedarf ändert sich nur wenig zwischen den beiden Varianten.

In der Abbildung 96 ist ebenso der Heizenergiebedarf der Gebäude in Neustadt dargestellt. Hier allerdings für die VarC (siehe Abbildung 10), bei der die sekundäre Wärmeversorgungstemperatur auf 35 °C reduziert ist. Dadurch kann, bei entsprechender Adaptierung der Wärmeabgabeflächen, zwar der gesamte Heizwärmebedarf gedeckt werden, der Warmwasserbedarf aber nur zum Teil. Es braucht hier also noch zusätzlich Strom für eine E-Patrone (VarC) oder für eine Booster-Station (VarD).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hier ist ersichtlich, dass der spezifische Heizenergiebedarf deutlich zurückgeht. Einerseits aufgrund der genannten Umverteilung von Wärme nach Strom und andererseits aufgrund der Reduktion der Wärmeverluste des sekundären Wärmeverteilnetzes.

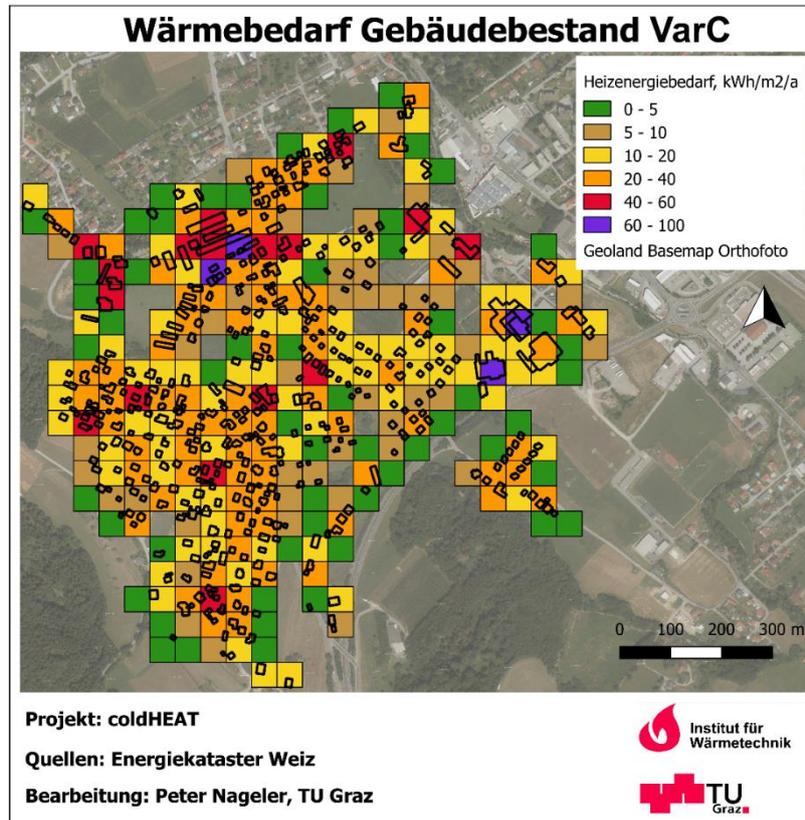


Abbildung 96 Räumliche Darstellung des spezifischen Heizenergiebedarfs (HEB*) für die Modellregion Neustadt / Weiz, für die Wärmeversorgungsvariante VarC bzw. VarD

Kalte Fernwärme Potenziale

In den folgenden Heatmaps wird die Veränderung der Potenzialgebiete für K-FW durch die im Szenario berücksichtigten Einflüsse (Neubau, Klimaveränderung usw.) dargestellt. Berücksichtigt wird nur der Energiebedarf von Gebäuden, welche die ausgewählten Bedingungen für K-FW erfüllen. Im Zukunftsszenario sind durch Neubau und Sanierung neue potenzielle K-FW Gebäude hinzugekommen. Jedoch sinkt der Energiebedarf pro Gebäude im Zukunftsszenario entsprechend der prognostizierten klimatischen Veränderung. Durch diese Einflüsse reduzieren Hotspots aus der Gegenwart ihren Energiebedarf an K-FW, zugleich entstehen unter anderem durch Neubau neue Hotspots für die Nutzung von K-FW. Die eingefärbten Bereiche sind bedingt durch die K-FW-Nutzungskriterien am wahrscheinlichsten sinnvoll mit K-FW zu erschließen. Weitere Analysen zur K-FW werden im Kapitel 4.1.4 „Identifikation von Vorranggebieten“ zusammengetragen.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

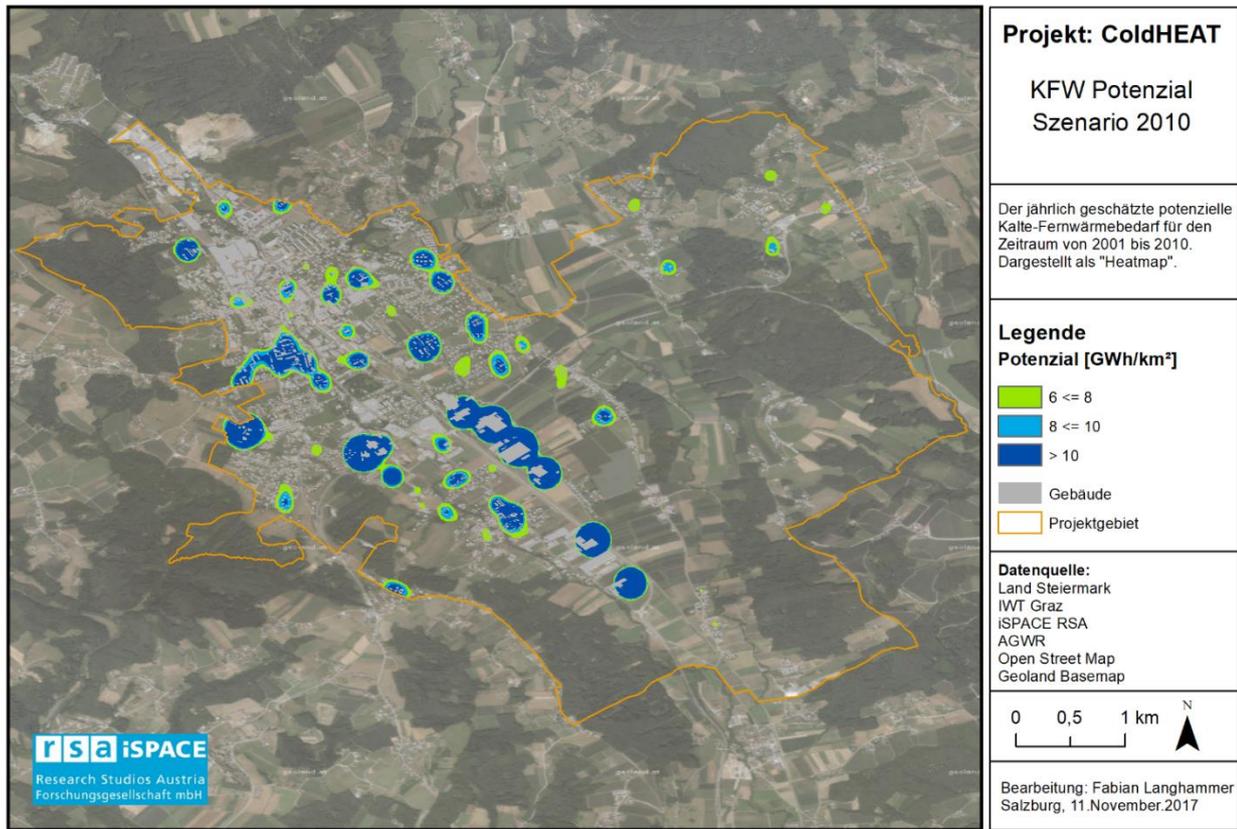


Abbildung 97 Darstellung der K-FW-Potenziale für 2001-2010

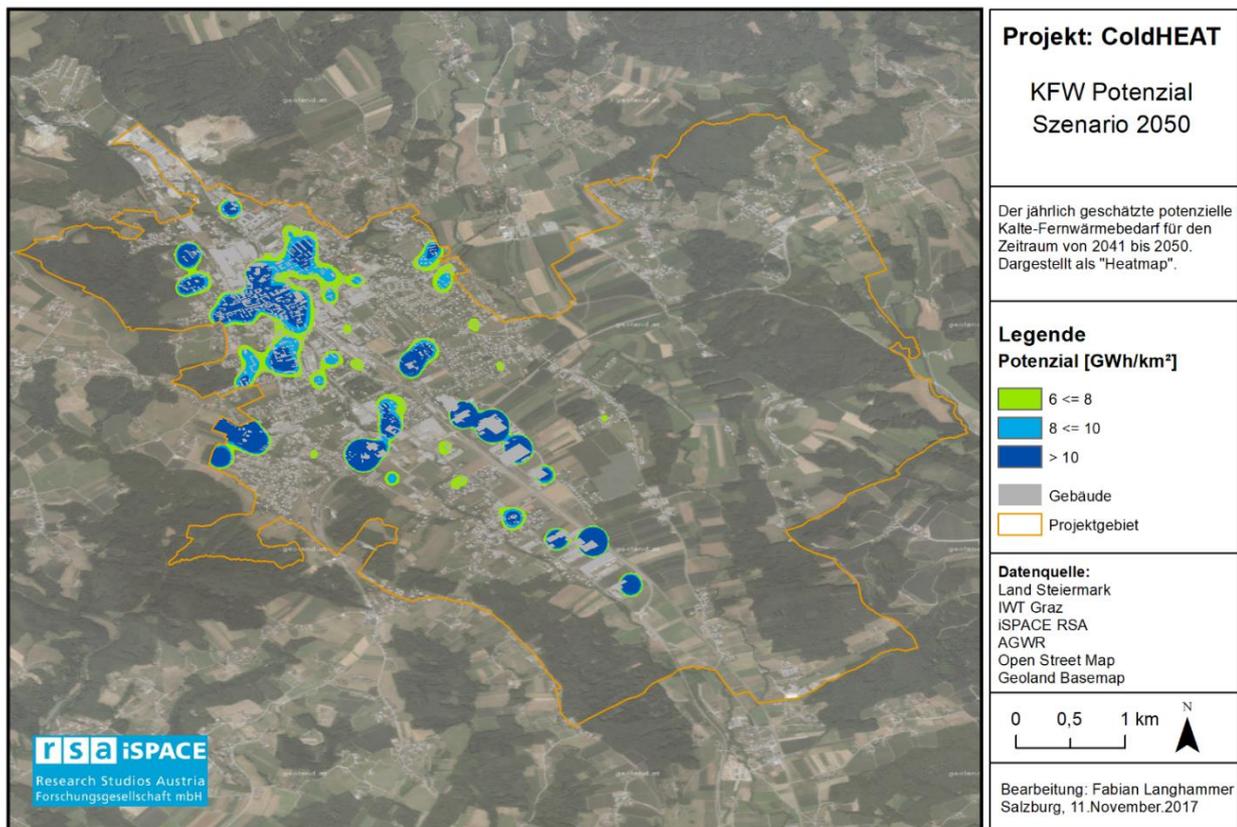


Abbildung 98 Darstellung der K-FW-Potenziale für 2041-2050

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

4.1.2 Identifikation, räumliche Verortung und Quantifizierung relevanter Einspeisepotenziale

Für eine Abschätzung der Einspeisepotenziale wurden verschiedene Energiepotenziale untersucht. Kartographisch dargestellt werden mögliche Potenziale von Erdsonden sowie von Solarthermie. Ebenfalls wurde die potenzielle Abwärme der ansässigen Industrie untersucht.

Die Abschätzung der **Potenziale von Erdsonden** erfolgte ausschließlich auf bebauten Grundstücken. Das Potenzial der Erdsonden wurde durch statistische und räumliche Verfahren bestimmt (Biberacher, 2010). Der theoretisch mögliche Summenwert, sollte jede freie Fläche mit Erdsonden versehen werden, beläuft sich auf 26 GWh im Jahr. Der Mittelwert der Sonden pro Grundstück beläuft sich auf 10,2 Stück. Das Intervall der möglichen Sonden erstreckt sich von einer Sonde bis hin zu einem Maximum von 790 Stück pro Grundstück. Diese 26 GWh könnten, unter mit Wärmepumpen, in Nutzwärme umgewandelt werden. So könnten unter der Verwendung von 7,9 GWh Strom aus den 26 GWh Umgebungswärme auf tiefem Temperaturniveau, etwa 34 GWh Wärme auf nutzbarem Temperaturniveau erzeugt werden.

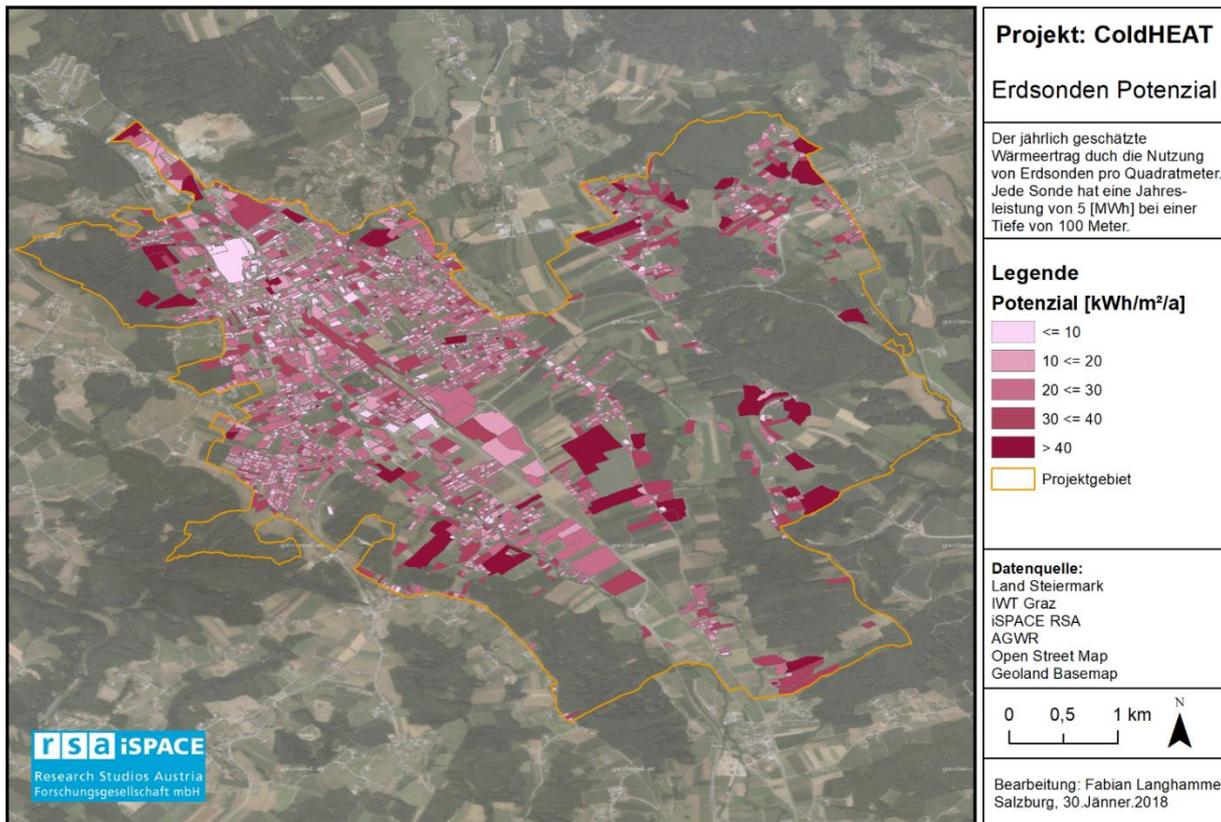


Abbildung 99 Relatives Erdsonden Potenzial der Grundstücke pro Quadratmeter und Jahr

Das nutzbare **solarthermische Potenzial** auf Dachflächen in Weiz wurde auf Basis der Gebäudegrundflächen ermittelt (Castellazzi, 2016). Resultierende geeignete Dachflächen basierend auf einer gemittelten Annahme zu Ausrichtung und Neigung werden unter Annahme eines repräsentativen Standardkollektors, sowie einer typischen Mischnutzung (Warmwasserbereitung & teilsolare Raumheizung) bilanziert um das nutzbare Potenzial je Dachfläche abschätzen zu können.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

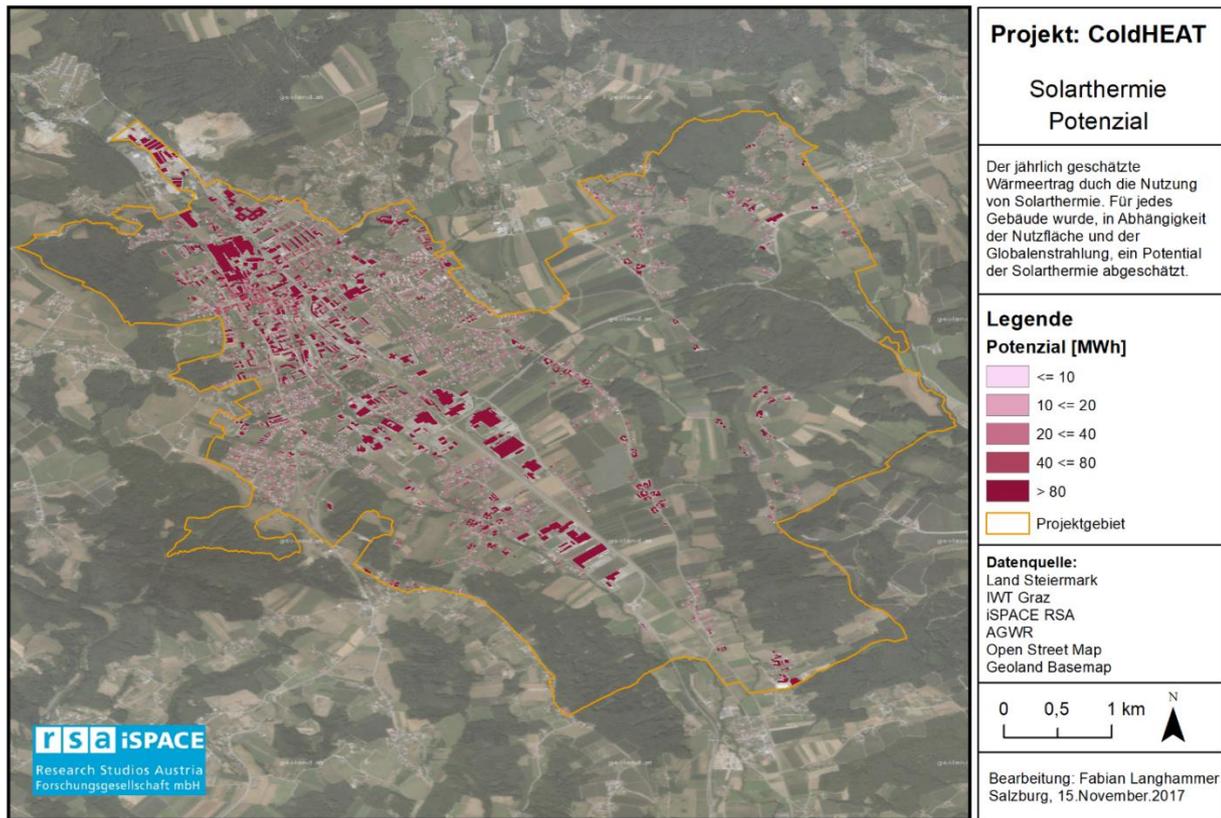


Abbildung 100 Solarthermie Potenzial je Dach und Jahr

So konnte ein Summenwert von 120 GWh nutzbarer solarthermischer Potenziale pro Jahr für das gesamte Projektgebiet ermittelt werden. Pro Gebäude wird somit ein Durchschnittswert von 42 MWh p.a. erzielt. Sollte das Dachflächenpotenzial als Basis für **Photovoltaik** genutzt werden, dann könnte ein Summenwert von etwa 34 GWh p.a. an Strom angesetzt werden.

4.1.3 Modellbasierte Festlegung des möglichen, topologisch optimalen Netzverlaufs

Eine Netzmodellierung aus räumlicher Sicht stützt sich auf drei wesentliche Bestandteile, der ortsgenauen Kenntnis des Verbrauches (Senken), der ortsgenauen Kenntnis des Angebotes an Energie (Quellen) und der möglichen Trassenführung zum Bilanzausgleich zwischen Quelle und Senke (Netz). Der Bedarf an Wärme an den Senken wurde auf Adressebene genau abgeschätzt. Die potentiellen Quellen für das K-FW-Netz von Weiz wurden als potenzielle Abwärme der ansässigen Industrie identifiziert. Berücksichtigt wurde auch das bereits bestehende Heizkraftwerk in der Stadt Weiz. Dieses Heizkraftwerk versorgt, nach eigenen Angaben 65-70 % des gesamten Wärmebedarfs des gesamten Stadtgebiets (Hierz, 2007). Für die Bildung von Szenarien wurden die bestehenden und möglichen zukünftigen Trassenverläufen entlang von Straßen angenommen. Der Verlauf von Straßen stützt sich dabei auf OpenStreetMap Daten. Die Modellierung der Wärmenetze erfolgt über eine kostenoptimierte Versorgung aller NutzerInnen im Projektgebiet Weiz. Für die Optimierung wurde das Open-Source-Programm „Rivus“ für die Projektanforderungen angepasst und eingesetzt (Dorfner, 2015).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die zuvor bestimmten potenziellen K-FW-NutzerInnen haben die zusätzliche Option ihren Wärmebedarf über K-FW zu decken. Dezentrale Angebote der K-FW-Versorgung wird durch die Option des Umwandeln von konventioneller Wärme in K-FW möglich (vgl. in Abbildung 101 „Umwandler Wärme zu Kalter Fernwärme“). Im Szenario 2041-2050 wurden durch industrielle Abwärme zwei K-FW-Quellen hinzugefügt. Gebäude welche nicht als K-FW-NutzerInnen identifiziert wurden, können nur herkömmliche Fernwärme beziehen.

Netzoptimierung Gegenwart

Das Bestandsnetz (orange) versorgt mit konventioneller FW die bereits angeschlossenen Gebäude mit Wärme. An den Netzendpunkten knüpfen Neu- oder Ausbauten in Form von K-FW und FW an. Optimale Erweiterungen des Bestandsnetzes durch konventionelle Fernwärme sind hierbei rot ausgewiesen, während potenzielle Erweiterungen durch K-FW in blau ausgewiesen sind. Diese Trassenführung gewährleistet, dass alle Nachfragepunkte an die für sie in Frage kommenden netzgebundenen Versorgungsoption angeschlossen sind und gleichzeitig ein Minimum an Invest- und Betriebskosten anfällt. Eine netzgebundene Versorgung wird hier in direkter Konkurrenz zu einer Wärmeversorgung durch Wärmepumpen betrachtet.

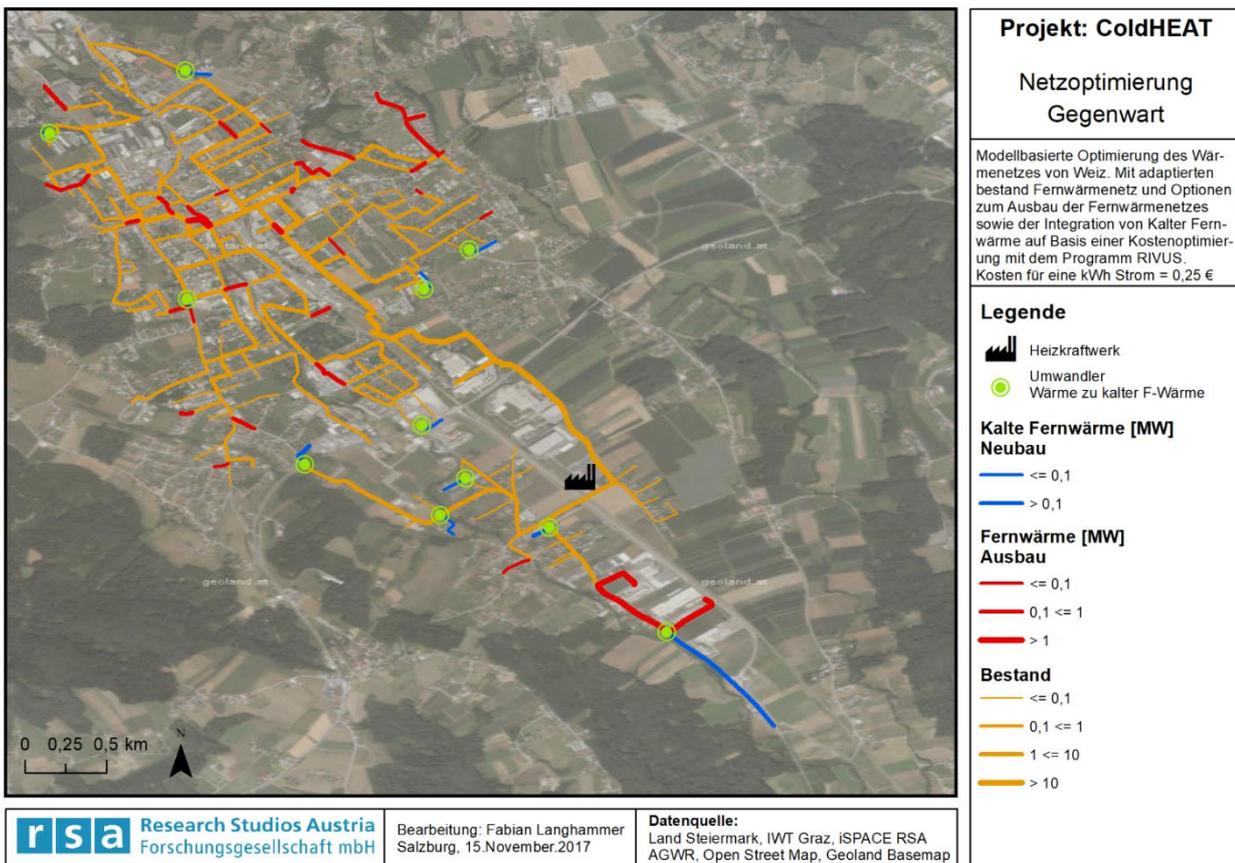


Abbildung 101 Wärmenetzoptimierung in Weiz für 2001 bis 2010 bei einem Strompreis von 25 cent/kWh. Abgestuft dargestellt werden die Leistungen der Wärmeleitungen in Stoßzeiten

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

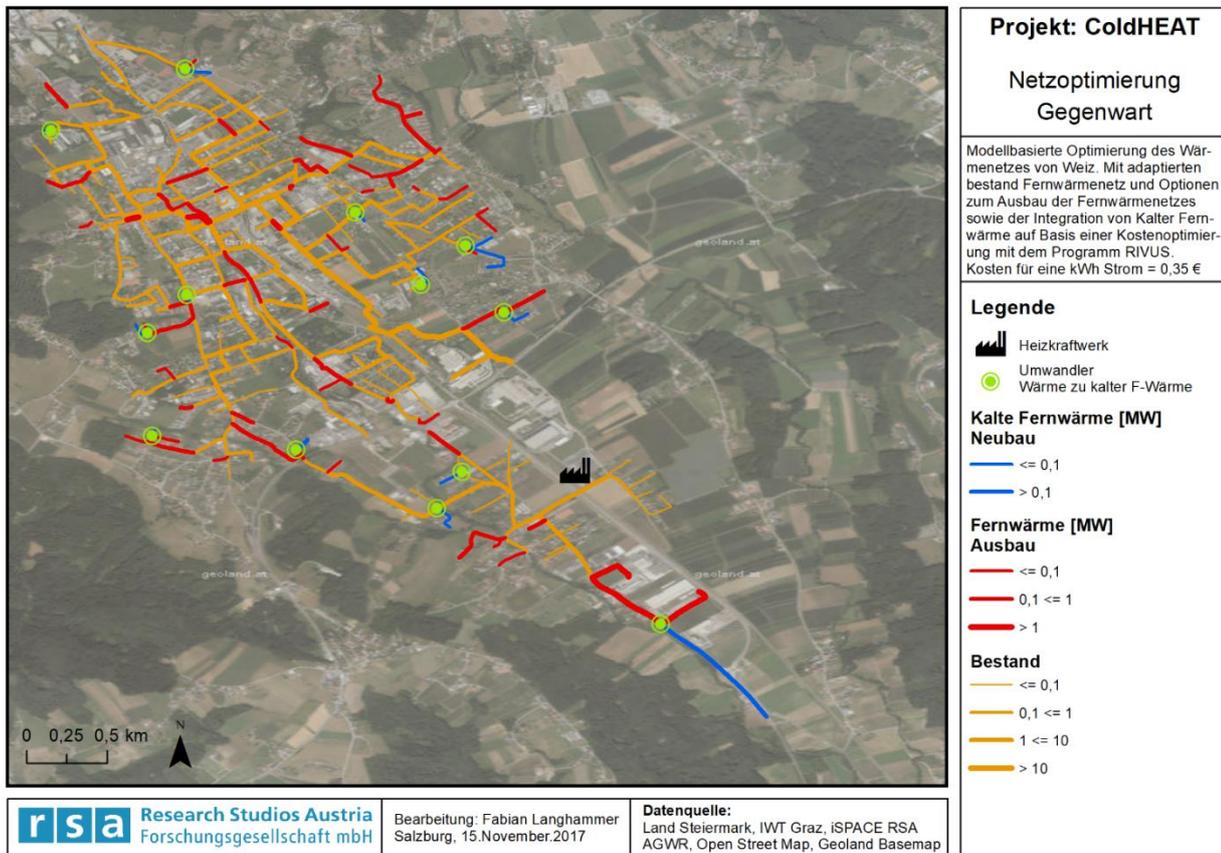


Abbildung 102 Wärmenetzoptimierung in Weiz für 2001 bis 2010 bei einem Strompreis von 35 cent/kWh. Abgestuft dargestellt werden die Leistungen der Wärmeleitungen in Stoßzeiten

Interpretation der Ergebnisse

Durch den erhöhten Strompreis wird das FW-Netz stärker ausgebaut. Das K-FW-Netz hingegen wird kaum stärker ausgebaut, weil die definierte Nutzergruppe/Senke sich im Szenario nicht verändert.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

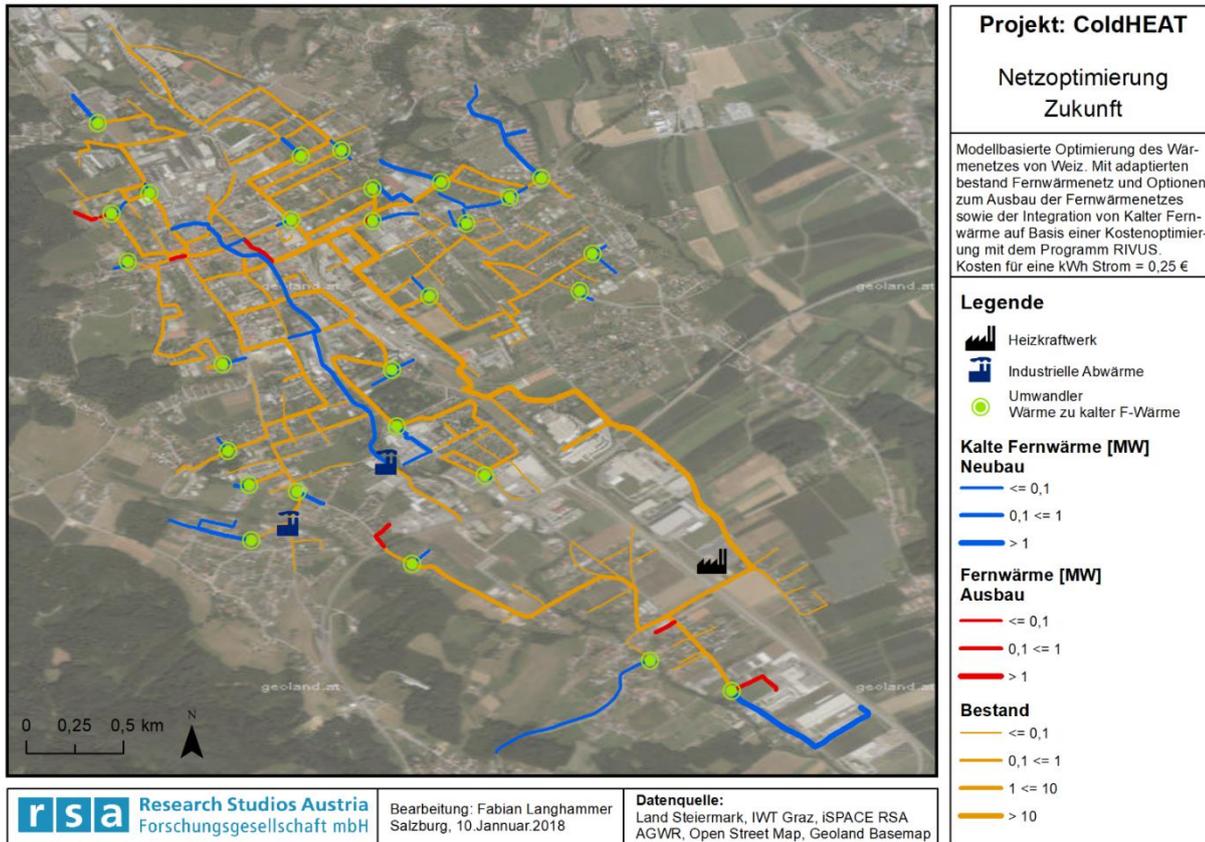


Abbildung 103 Wärmenetzoptimierung in Weiz für 2041 bis 2050 bei einem Strompreis von 25 cent/kWh. Abgestuft dargestellt werden die Leistungen der Wärmeleitungen in Stoßzeiten

Interpretation der Ergebnisse

Im Zukunftsszenario sind durch Sanierung potenziell mehr Abnehmer von K-FW vorhanden und diese beziehen in einem systemkostenoptimalen Fall ihren Wärmebedarf aus dem blau dargestellten kostengünstigeren K-FW-Netz. Das orange dargestellte Bestandnetz versorgt weiterhin den Großteil der Gebäude wird jedoch kaum noch weiter ausgebaut (rot dargestellt).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

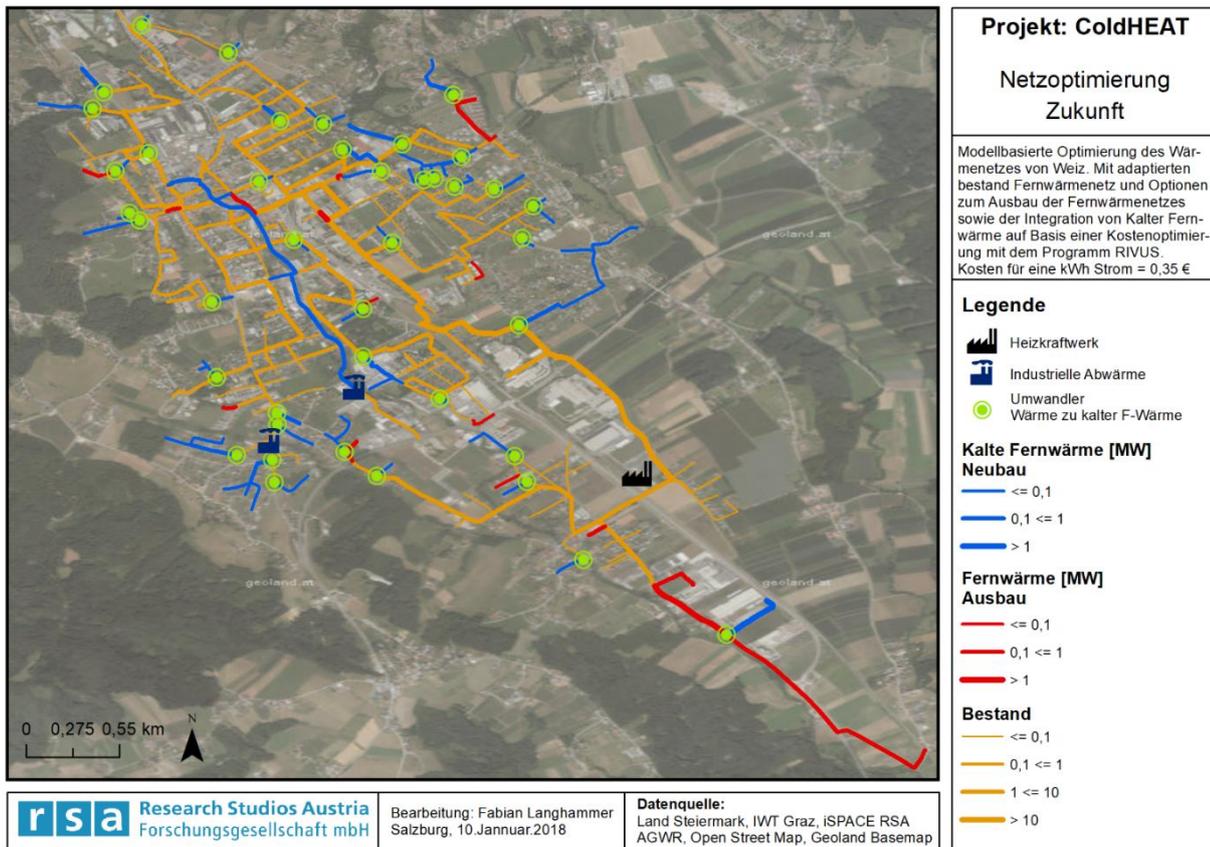


Abbildung 104 Wärmenetzoptimierung in Weiz für 2041 bis 2050 bei einem Strompreis von 35cent/kWh. Abgestuft dargestellt werden die Leistungen der Wärmeleitungen in Stoßzeiten

Interpretation der Ergebnisse

Durch den in diesem Szenario angenommen erhöhten Strompreis von 0.35 €/kWh wird für ein Systemkostenoptimum das K-FW- sowie auch das FW-Netz in stärkerem Maße ausgebaut.

4.1.4 Identifikation von Vorranggebieten

Durch die Auswertung der Ergebnisse aus den im vorigen Absatz skizzierten Szenarien können nun Vorranggebiete für den Ausbau von Kalter Fernwärme identifiziert werden. Kartographisch dargestellt werden Regionen in denen die Bedarfsdichte relevanter Abnehmer von Kalter Fernwärme für 2001 bis 2010 oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegen (vgl. Kapitel 4.1.1) und das Ergebnis einer optimalen Versorgungsstrategie für die Szenarien mit 0.25 €/kWh sowie 0.35 €/kWh einen Ausbau von Kalter Fernwärme für 2001 bis 2010 vorsehen (vgl. Kapitel 4.1.3).

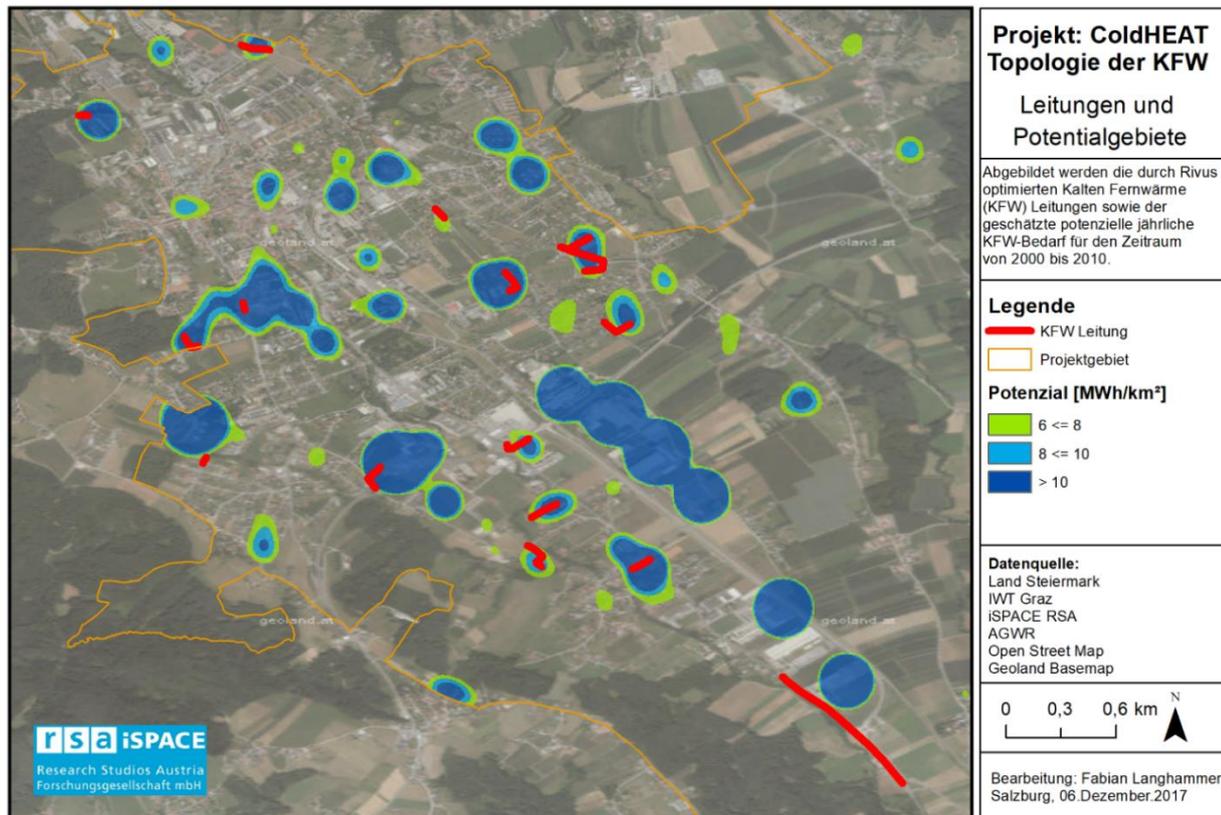


Abbildung 105 Kombination der Heatmap K-FW-Potenzialgebiete mit K-FW-Leitungen aus der Netzoptimierung

4.2 Netztopologie

Auf Basis der Information des städtischen Fernwärme-Netzbetreibers, Herrn Ing. Hierz, ist in Neustadt in absehbarer Zeit mit der Entwicklung der FW-Erweiterung des Ortsteiles Neustadt zu rechnen. Dementsprechend wurde auf Basis der bestehenden Widmung dieses Gebiet einerseits netztechnisch – rechnerisch – erschlossen und sodann unterschiedliche Varianten konventioneller und Kalter Fernwärme durchgerechnet und bewertet. Hinsichtlich der Anbindung des kalten FW-Systems an die bestehende, klassische Fernwärmeversorgung wurde in diesem Fall (Markierung in der Abbildung 106 rote Ringe) Einspritzschaltung aus dem Vorlauf mit Druckerhöhungsstation und wieder Rückspeisung in den Bestandsrücklauf gewählt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hierzu wurde eine geplante Neubausiedlung mit etwa 40 Mehrfamilienhäusern an das Ende einer konventionellen Fernwärme (Grenze Übergabestation – rote Ringe) gesetzt. Hinsichtlich des Wärmedämmstandards wurden dieselben Annahmen wie für das Gebiet in Harbach getroffen. Bezüglich der Analyse der unterschiedlichen Verteilnetzvarianten wird auf das Kapitel technoökonomische Analyse verwiesen (siehe Kapitel 4.5).

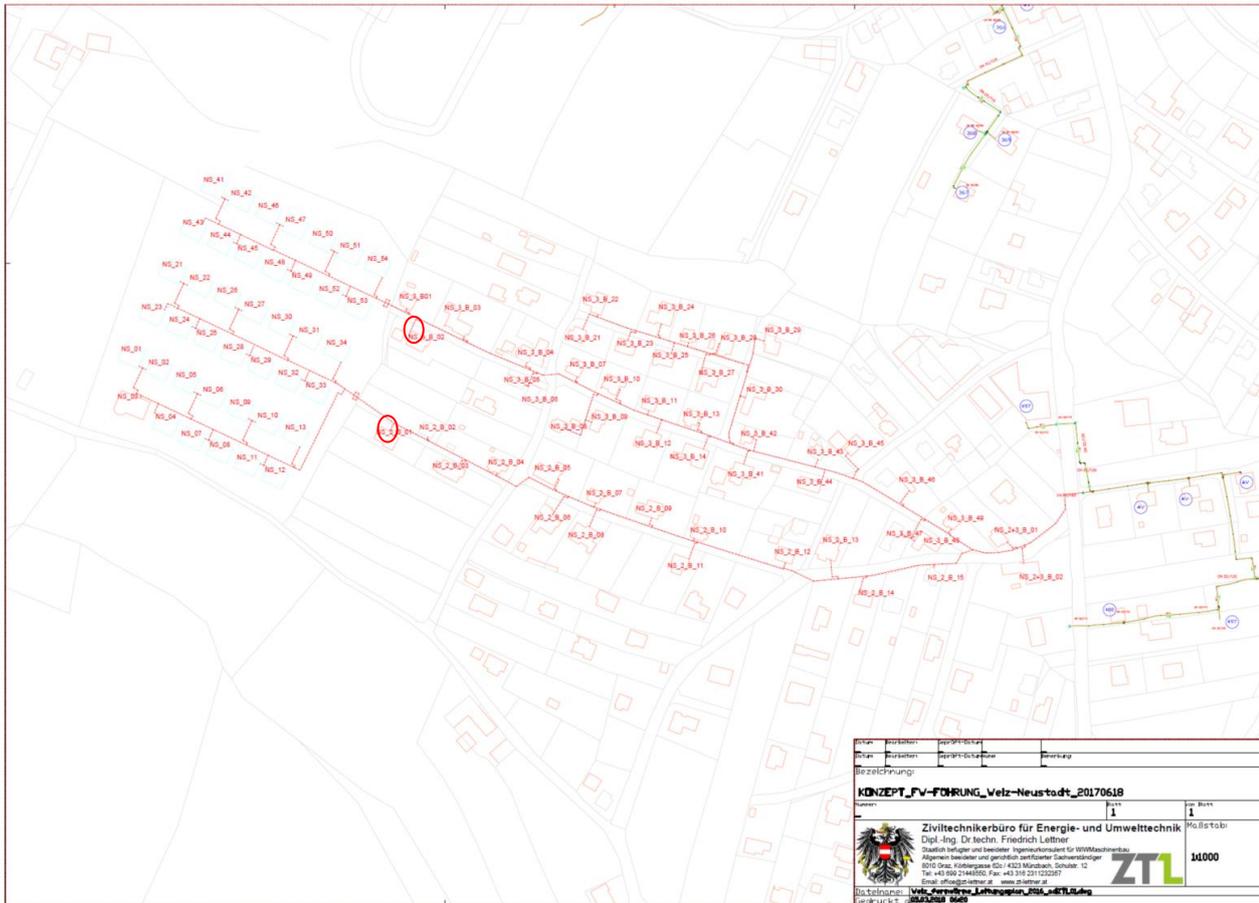


Abbildung 106 Konzept zur Führung der FW-Leitung in der Modellregion Weiz-Neustadt

4.3 Energetische und ökologische Bewertung des Energiesystems

In den folgenden Unterkapiteln werden verschiedene Detailbeurteilungsparameter der untersuchten Varianten (primär- und sekundärseitige Wärmeversorgung), für den Standort Neustadt, zusammengefasst und diskutiert.

4.3.1 Detailbetriebsparameter des Verteilnetzes

Hinsichtlich der Ergebnisse aus der Erschließung der Bestandsobjekte über die Straßenzüge Raabgasse, Brandäckergasse und Nestroygasse, um somit das Neuerschließungsgebiet danach in Richtung Götzenbichl anbinden zu können, stellt sich die Situation wie folgt dar (siehe Netzplan im Kapitel 4.2). Für Neustadt wurden ähnliche Wärmeversorgungsvarianten wie in Harbach gerechnet. Das heißt, es wurden Anbindungen mit konventionellen Fernwärmeparametern (VarA) sowie Kalte Fernwärmevariante analog zu VarC in Harbach berechnet (siehe Tabelle 14). Hierbei muss allerdings erwähnt werden, dass

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

aufgrund der Nicht-Zuordenbarkeit der übergebenen Gebäudedaten, mit der ZTL-hauseigenen DHFOS-Fernwärmesoftware (siehe (Lettner, 2018)) der Leistungs- bzw. Energiebedarf abgeschätzt und für die Netzrechnung bereitgestellt wurde. Nachfolgend werden hier die relevanten Netzparameter exemplarisch für die VarA, mit 90/40 °C, DS1 und dem Auslegungs-Lastfall dargestellt (siehe Abbildung 107 und Abbildung 108).

Tabelle 14 Übersichtstabelle der relevanten Netzparameter (exemplarisch) für Neustadt / Weiz

Weiz - Auslegungsfall 90/40 DS3					
Monat		13			
Leistungsfaktor	[%]	100	Exergiegehalt Netz-Speiseleistung	[%]	19.5
Netz-Speiseleistung	[kW]	1 031	Exergiegehalt Netz-Abgabeleistung	[%]	3.1
Netz-Abnehmerleistung	[kW]	993	Temp. Netzspeisung VL	[°C]	90.0
Netzverlust	[kW]	38	Temp. Netzspeisung RL	[°C]	39.5
Netzwirkungsgrad	[%]	96	Temp. Min. Abnehmer VL	[°C]	86.2
Netzverlust	[%]	4	Minimale geodätische Höhe	[m]	469
Einsgespeiste Exergie	[kW]	201.25	Kesselhaus-Höhe	[m]	440
Abgegebene Exergie	[kW]	31.16	Maximale geodätische Höhe	[m]	490
Exergetischer Wirkungsgrad	[%]	15	Ausdampfdruck inkl. Reserve	[Pa]	223 240
Minimaler Druck im Netz	[Pa]	370 247	Durchschn. Netz-Druckreserve	[%]	167 ¹⁾
Maximaler Druck im Netz	[Pa]	830 429	Durchschn. Netz-Leistungsreserve	[%]	63 ¹⁾
Rücklaufdruck um Heizhaus	[m]	46.3	gesch. Netz-Grenz-Speiseleistung	[kW]	1 686
Druckverlust Netz	[m]	36.7	gesch. Netz-Grenz-Abnehmerleistung	[kW]	1 623
Vorlaufdruck im Heizhaus	[m]	83.0			
Volumenstrom	[m³/h]	17.8			
Druckverlust-Faktor Netz c	[m/(m³/h)²]	0.12			
Glatt/Rau	[mm]				
Pumpleistung theoretisch, ideal	[kW]	1.82			

¹⁾ ... grob geschätzt bei gleichen Systemtemperaturen - Grenzen sind durch genaue Rechnung an der Grenze detailliert zu bestimmen.

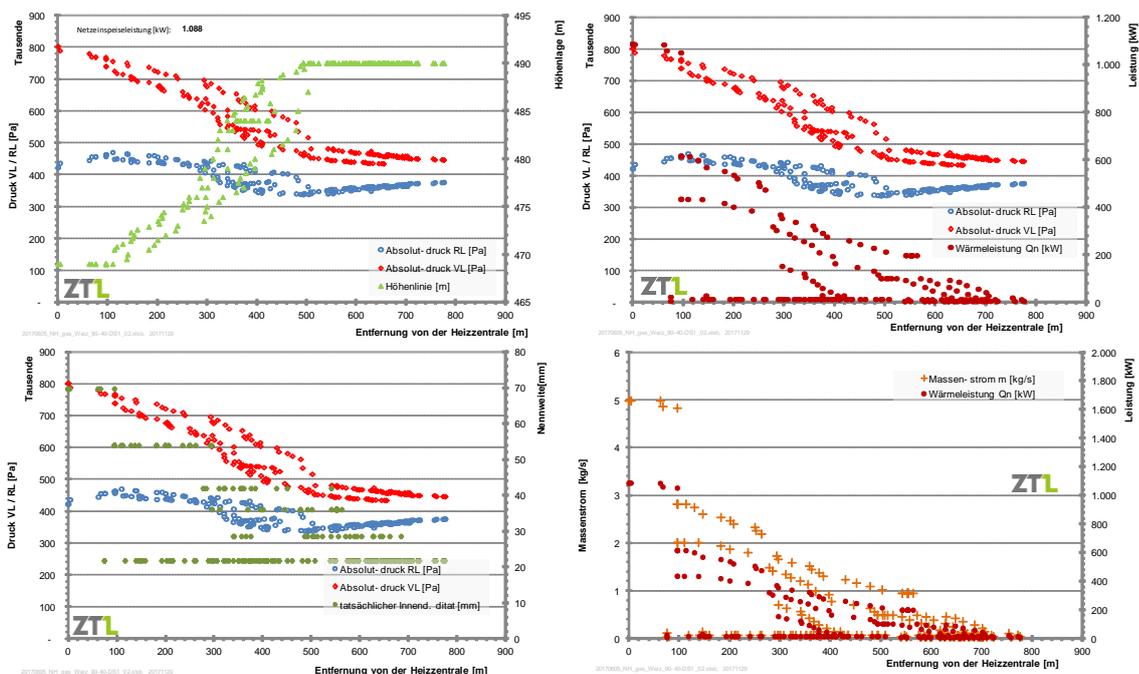


Abbildung 107 Druck-, Leistungs- und Massenstromentwicklung im Verteilnetz - Neustadt / Weiz für die Netzvariante der klassischen Versorgung mit 90/40 und DS1

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

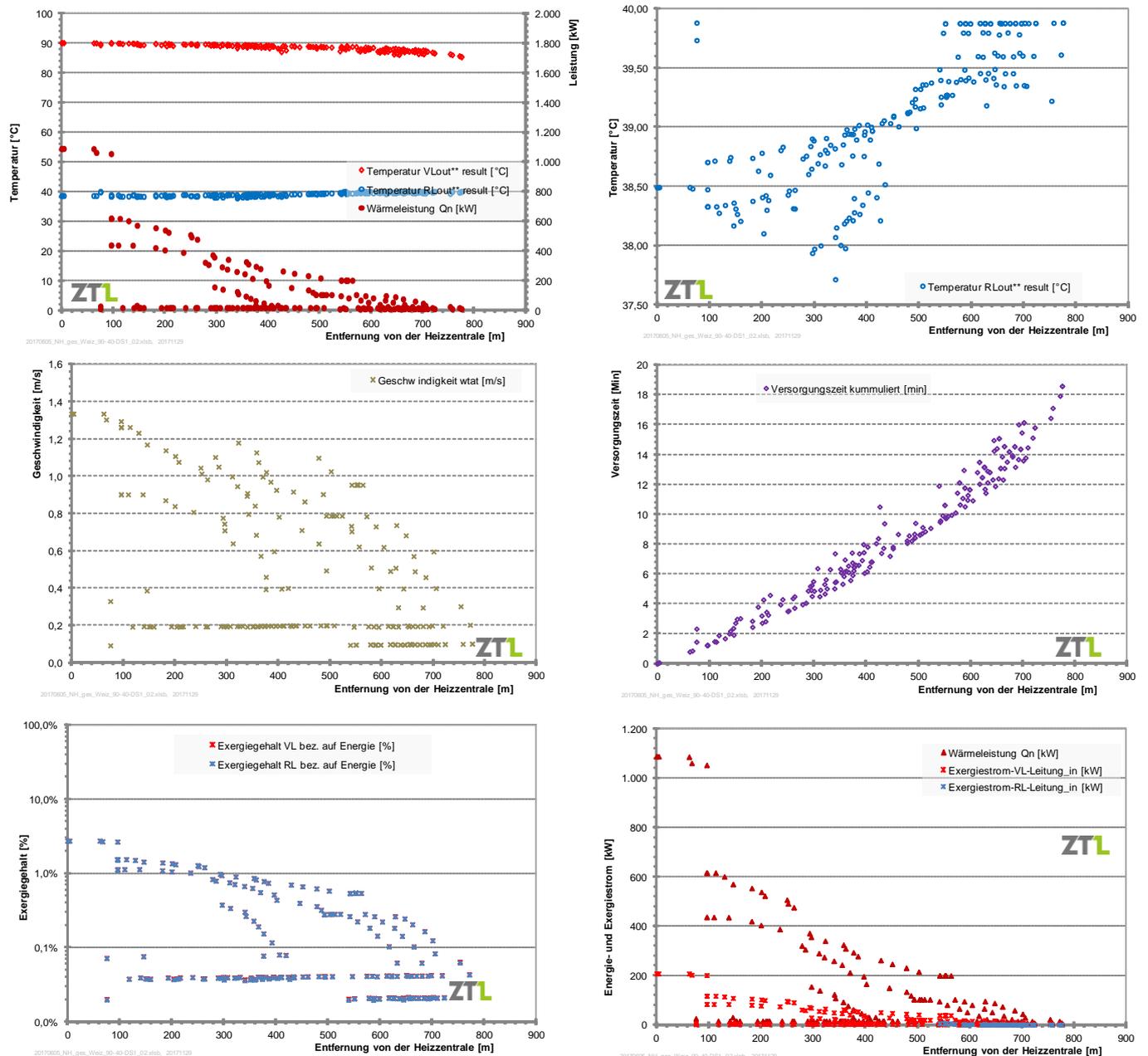


Abbildung 108 Betriebsverhalten des Verteilnetzes anhand Temperatur (VLT, RLT), Verweilzeit und Exergieinhalt im Verteilnetz - Neustadt / Weiz für die Netzvariante der klassischen Versorgung mit 90/40 und DS1

Hinsichtlich der Berechnungsvarianten mit Kalter Fernwärme wurde im vorliegenden Fall von Neustadt / Weiz hinsichtlich der Trasse, welche den Gebäudebestand versorgt, folgendes bei der thermohydraulischen Berechnung der Netztrasse angesetzt:

Die Trassenabschnitte, welche Bestandsobjekte versorgen werden lediglich hinsichtlich der zu errichtenden Dämmserie (Variante VarA1 bis A3) auch in der Rechnung hinsichtlich der Dämmserienspezifikation verändert, während diese im Falle der Varianten der späteren kalten Fernwärmeanbindung jeweils konstant bei Dämmserie 1 belassen werden.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

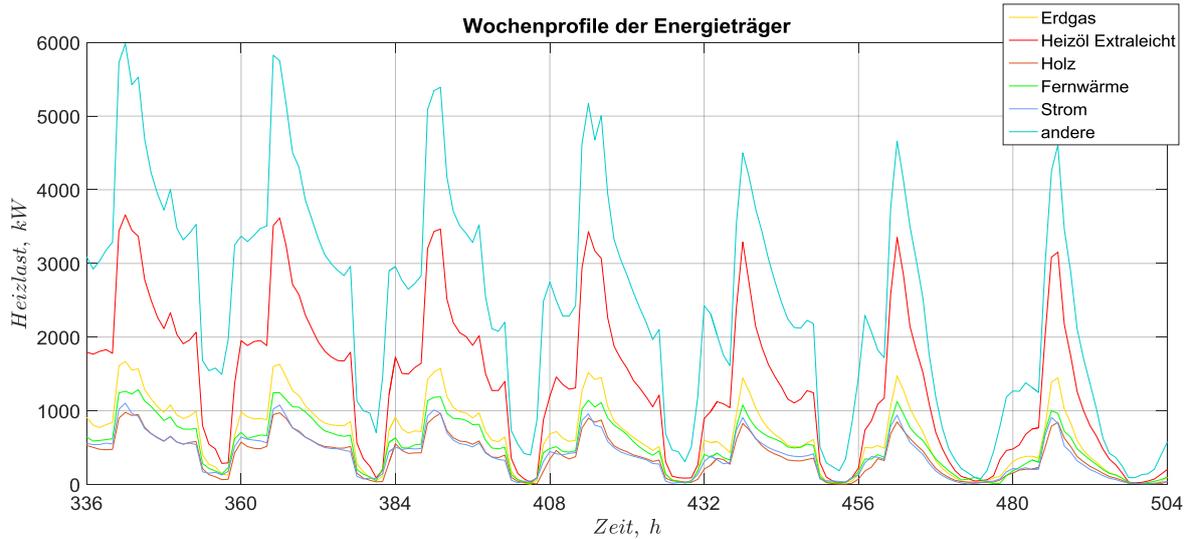


Abbildung 110 Exemplarischer Wochenverlauf der Heizlast, unterteilt in Energieträger, Neustadt / Weiz– Ist-Stand

In Abbildung 111 ist der Jahresverlauf der Heizleistungen der einzelnen Energieträger dargestellt. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie zuvor. Die sonstigen, unbekannteten Energieträger sind leistungsmäßig vor Heizöl, Gas, und Fernwärme. In Summe ergeben sich für den Stadtteil Neustadt, Maximalleistungen von knapp 15 MW. In den Sommermonaten liegt die Leistung zwischen 0,31 und 1,80 MW.

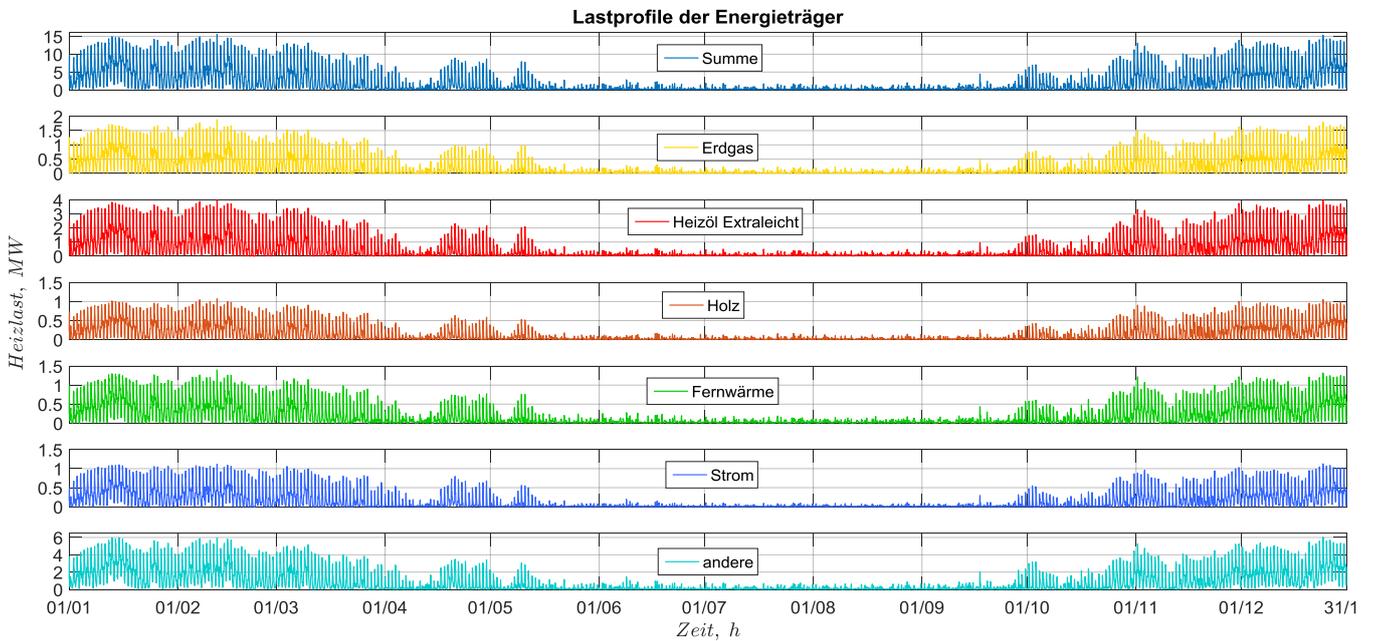


Abbildung 111 Jahresverlauf der Heizlast, unterteilt in Energieträger, in der Modellregion Neustadt / Weiz– Ist-Stand

Weiters wurde untersucht, inwieweit sich der Heizenergiebedarf ohne Strom (HEB*) bei unterschiedlichen Wärmeversorgungs-temperaturen und Konzepten im gebäudeseitigen Wärmeverteilungssystem der Gebäude ändert.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

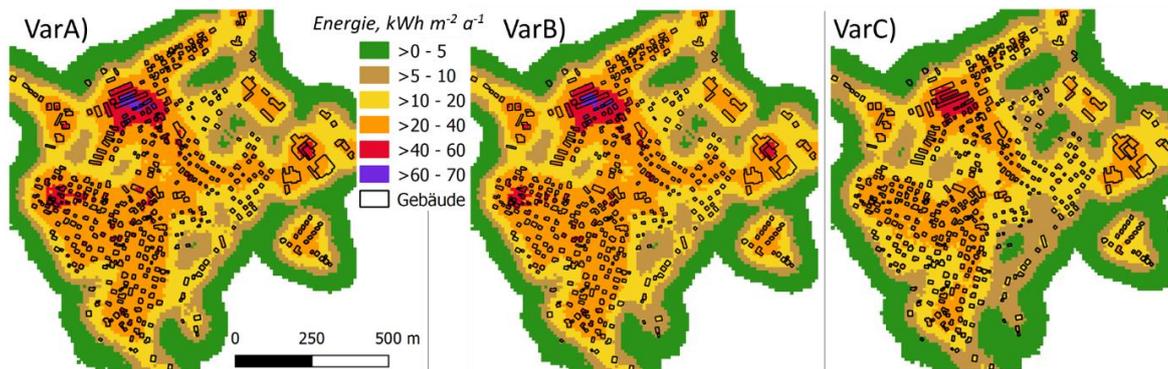


Abbildung 112 Energiedichtekarten: VarA) Wärmeübergabestation RH&WW (TVL = 58 °C); VarB) Wärmeübergabestation mit dezentralen WW-Speichern (TVL = 58 °C); VarC) Wärmeübergabestation mit dezentralen WW-Speichern mit EP (TVL = 35 °C; siehe Abbildung 10).

In der Abbildung 112, sind für das Modellgebiet Neustadt, spezifische Energiedichtekarten für die VarA, VarB und VarC dargestellt. Diese drei Varianten unterscheiden sich durch die sekundärseitige Wärmeversorgungs- und die Wärmeversorgungs-temperaturen und die Wärmeversorgungs-konzepte. In VarA und VarB sind 58 °C als Vorlauf-temperaturen angesetzt, allerdings wird in der VarB anstelle eines Wärmetauschers für die WWB jeweils ein dezentraler Warmwasserspeicher genutzt. In der VarC wird mit 35 °C Vorlauf-temperaturen gearbeitet, wodurch zusätzlich zur Fernwärme auch noch Strom benötigt wird (einerseits von der Wärmepumpe und andererseits von der E-Patrone im Warmwasserspeicher). Zwischen der VarA und VarB ergeben sich daher nur minimale Unterschiede in der spez. Wärmedichte. In der notwendigen Versorgungsleistung sollte die VarB aber geringere Werte aufweisen. Die VarC hat hingegen eine deutliche geringere Energiedichte. In der Abbildung 113, sind für das Modellgebiet Neustadt, spezifische Energiedichtekarten für die VarA und VarC dargestellt. In der VarA wird das sekundäre Wärmeverteilungssystem mit $T_{VL} = 58 \text{ °C}$ betrieben. Damit kann sowohl die Raumwärme als auch die Warmwasserbereitung bedient werden. In der VarC ist $T_{VL} = 35 \text{ °C}$, womit sich bei entsprechend vergrößerter Wärmeabgabefläche (FUBO oder NT-Radiatoren), die Raumheizung und Teile der Warmwasserbereitung realisieren lassen. Zusätzlich braucht es eine E-Patrone und damit eine entsprechende Energiemenge an Strom. Der in der Abbildung 113 (rechts) dargestellt ist. Der Strombedarf der Wärmepumpe ist hier nicht berücksichtigt.

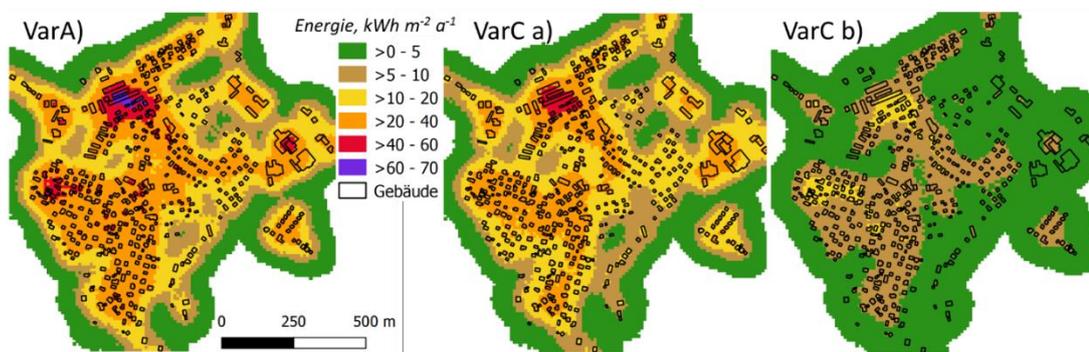


Abbildung 113 Energiedichtekarten: VarA) Wärmeübergabestation RH&WW; VarC a) dezentrale WW-Speicher mit EP; Wärmepotenzial, VarC b) zusätzlicher notwendiger Strombedarf zur Warmwasserbereitung.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 113 vergleicht den kumulierten Tagesenergiebedarf aller untersuchten Gebäude zwischen den Wärmeversorgungskonzepten VarA und VarC. Der Jahresenergiebedarf sinkt durch die reduzierten Wärmeverluste von 17,9 GWh (blaue Linie - VarA) auf 15,5 GWh (rote Linie - VarC). Die Energiemenge bei VarC setzt sich aus Wärme (orange Linie) und zusätzlich notwendigen Strom zur Warmwasseraufbereitung (violette Linie) zusammen. Auch hier wurde der Strombedarf der Wärmepumpe nicht berücksichtigt.

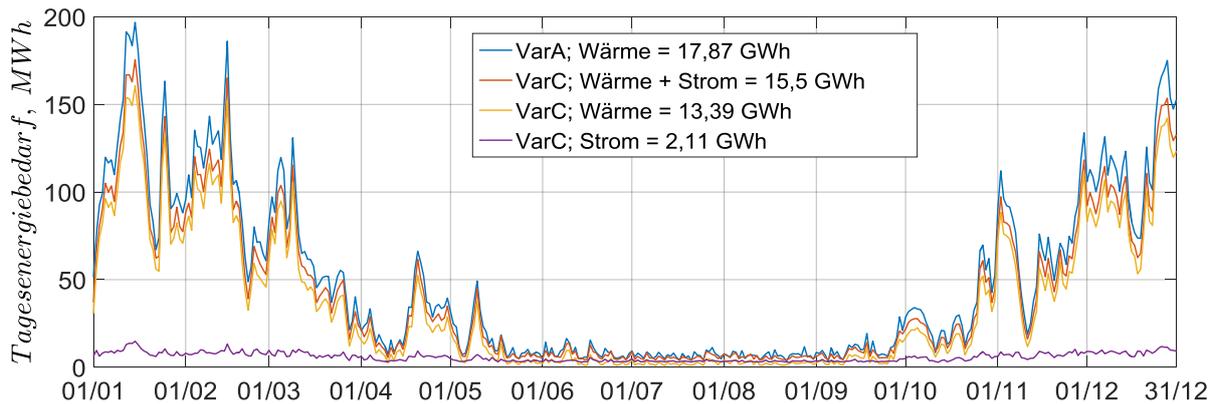


Abbildung 114 Vergleich der Lastverläufe zwischen Wärmeversorgungskonzept VarA und VarC (Wärme und Strom).

Die Energiedichte des Untersuchungsgebietes sinkt zwar von 23,7 kWh/m²/a (bei VarA) auf 17,4 kWh/m²/a (bei VarC), allerdings kann hier Wärme aus Niedertemperaturprozessen genutzt werden, welche in konventionellen FW-Netzen nur aufwendig mittels Wärmepumpen genutzt werden könnte. Nachfolgend wird exemplarisch für einzelne Gesamtkonzepte hinsichtlich der Wärmeversorgungskonzepte (VarA bis VarD) und der Fernwärmeversorgungskonzepte (FW1 bis FW4 und gleiche Dämmserien (DS1)) ein Sankey-Diagramm mit der Energie (Wärmebedarf & Strombedarf) sowie den jeweiligen CO₂-Äquivalenten dargestellt.

Vergleicht man die vier Varianten mit der Dämmung DS1, kann man erkennen, dass der Primärenergiebedarf der Varianten (A1, B1, C1 und D1) sehr knapp beieinander liegt. Der Primärenergiebedarf (PEB_(el+th), thermisch + elektrisch) liegt bei 4200 bis 4700 MWh/a für die benötigte Nutzenergie (HWB+WWB) von etwa 2600 MWh/a. Auch in Neustadt kann eine Reduktion der primärseitigen Sollvorlauftemperatur (FW2&VarB) und eine Erhöhung der Dämmung eine Verminderung des Primärenergiebedarfs bringen (Abbildung 116). Andererseits bringt eine Verschiebung des verwendeten Energieträgers, unter den definierten Randbedingungen (Wärmepumpe bzw. E-Patrone), von Fernwärme zu Strom (VarC mit E-Patrone für die WWB) eine Erhöhung der Primärenergie gegenüber der Basisvariante (Abbildung 117 versus Abbildung 115). Erst eine dezentrale Warmwasserbereitung mit Booster-Stationen ermöglicht wieder eine Reduktion des Primärenergiebedarfs auf einen ähnlichen Wert wie für die Basisvariante (Abbildung 118 vs. Abbildung 115). Hinsichtlich der Energie, der Exergie und CO₂-Äqu werden im Kapitel 4.4 alle Varianten VarA bis VarD mit der jeweils entsprechenden FW-Versorgung unter der Verwendung aller unterschiedlichen Dämmserien dargestellt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

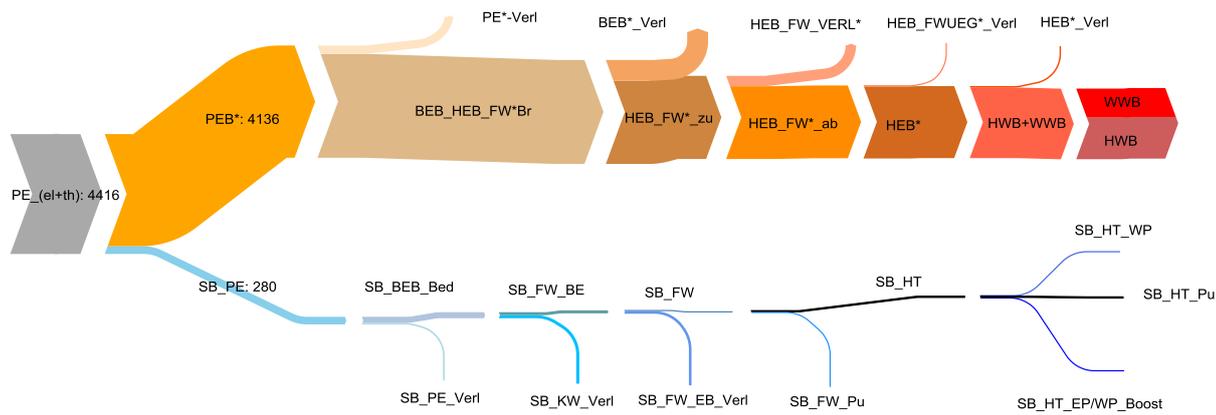


Abbildung 115 Energiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

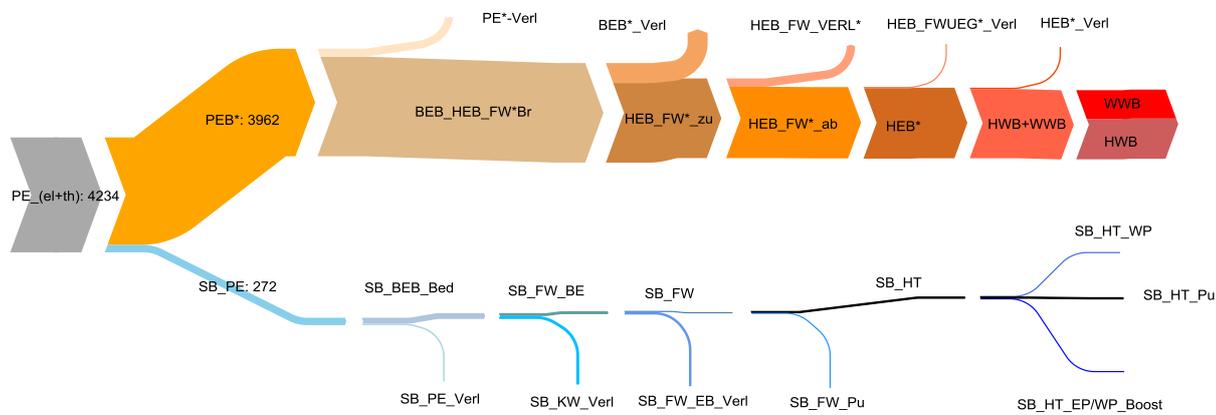


Abbildung 116 Energiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

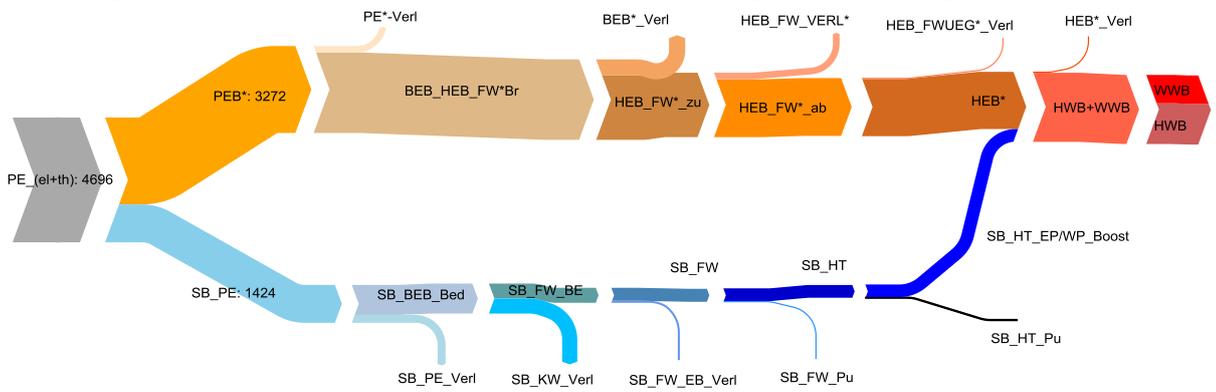


Abbildung 117 Energiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

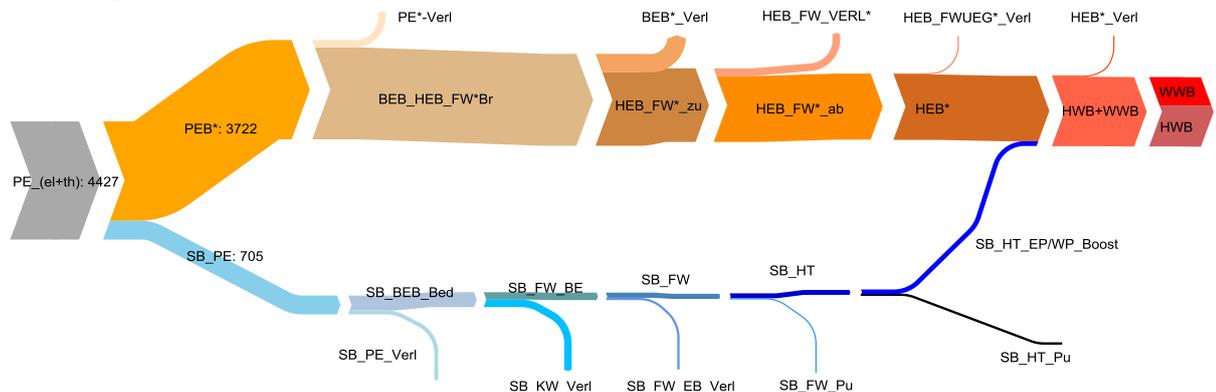


Abbildung 118 Energiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hinsichtlich eines Vergleichs der einzelnen Subvarianten, der CO₂ – Emissionen und des Exergiebedarfs, sei auf das Kapitel 4.4 und die Erläuterungen für den Standort Harbach (Kapitel 3.5.3) verwiesen.

Vergleich dreier Szenarien hinsichtlich der zugrunde gelegten Energieträger

Die Quelle der untersuchten Energieträger beeinflusst das Ergebnis (Primärenergiebedarf und CO₂-Äqu) enorm. Daher sei an dieser Stelle ein exemplarischer Vergleich von drei Szenarien für Neustadt dargelegt. Die definierten Szenarien und die zugehörigen Annahmen sind dem Kapitel 3.5.3 zu entnehmen.

Im **Basis-Szenario**, haben auch in Neustadt, die beiden stromlastigen Varianten (VarC und VarD) gegenüber dem erneuerbaren Energieträger der Fernwärme keine Möglichkeit, hinsichtlich der CO₂-Äqu-Emissionen besser zu sein. Bezüglich des Primärenergiebedarfs sind die Varianten des Basis-Szenarios sehr ähnlich, wobei auch hier die VarA und VarB einen geringeren Primärenergiebedarf als die Varianten VarC aufweisen. Erst einzelne Varianten der VarD (D1 & D4) können mit dem Bedarf der VarA und VarB mithalten, bzw. unterbieten (siehe Tabelle 15).

Werden die Wärme als auch der Strom für die Wärmeversorgungskonzepte aus konventionellen Energieträgern bezogen, dann zeigt sich in Neustadt ein deutlicher Vorteil bei den CO₂-Äqu-Emissionen für die verlustminimierten K-FW Varianten (VarC C4 und VarD D4). Beim Primärenergiebedarf zeigen sich nur minimale Unterschiede zwischen den Varianten des **konventionellen Szenarios**.

Kommen die Wärme als auch der Strom aus erneuerbaren Energieträgern (Biomasse bzw. Ökostrom-Mix), dann zeigt sich ein sehr homogenes Bild bei den CO₂-Äqu-Emissionen der Wärmeversorgungskonzepte (**erneuerbares Szenario**).

Je nach Szenario können spezifische CO₂-Äqu-Emissionen in Neustadt, zwischen 5 g CO₂-Äqu/kWh_a und 615 g CO₂-Äqu/kWh_a erreicht werden. Auch am Standort Neustadt kann gesagt werden, dass es keine eindeutige Entscheidung hinsichtlich einer Favorisierung eines Konzeptes geben kann. Hier hängt es ebenso sehr stark von den gegebenen Randbedingungen, hinsichtlich der Energieträger-Quellen ab.

Tabelle 15 Primärenergiebedarf und CO₂-Äqu der betrachteten Wärmeversorgungskonzepte für den Standort Neustadt / Weiz

Szenario	Bezeichnung	Einheit	VLT/RLT														
			A1 90/40, DS1	A2 90/40, DS2	A3 90/40, DS3	B1 60/36, DS1	B2 60/36, DS2	C1 38/26, DS1	C2 38/26, k.D.	C3 38/26, PLT	C4 26/15, PLT	D1 38/26, DS1	D2 38/26, k. D.	D3 38/26, PLT	D4 26/15, PLT		
	HWB+VWVB	[MWh/a]	2601	2601	2601	2548	2548	2601	2601	2601	2601	2601	2601	2601	2601	2601	2601
Basis	PEB (el+th)	[MWh/a]	4297	4344	4416	4234	4173	4696	4996	5253	4238	4768	5061	3906			
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	91	92	94	91	90	406	412	417	497	216	222	313			
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWh a]	35.2	35.5	36.1	35.7	35.2	156.1	158.6	160.3	191.1	83.2	85.2	120.3			
Konventionell	PEB (el+th)	[MWh/a]	4632	4683	4761	4564	4499	4969	5292	5570	4238	5105	5421	3906			
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	1344	1359	1381	1324	1305	1425	1518	1599	497	1475	1566	313			
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWh a]	516.7	522.4	531.1	519.7	512.2	547.7	583.8	614.8	191.1	567.0	602.3	120.3			
Erneuerbar	PEB (el+th)	[MWh/a]	4344	4392	4465	4281	4220	4943	5246	5506	4550	4894	5189	4102			
	CO ₂ -Äqu	[t CO ₂ -Äqu/a]	19	20	20	19	19	30	31	32	21	25	26	13			
	spez. CO ₂ -Äqu	[g CO ₂ -Äqu/kWh a]	7.4	7.5	7.6	7.5	7.4	11.5	12.0	12.4	8.1	9.5	10.0	5.1			

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Zusammenfassend sind in Abbildung 119 für den Standort Neustadt / Weiz und den dort betrachteten Teilbereich des Fernwärmeausbaus, der Primärenergiebedarf, die CO₂-Äqu-Emissionen und die spezifischen Kosten je MWh Nutzenergie dargestellt. Die zu liefernde **Nutzenergie** ist in Neustadt mit 2601 MWh/a, für alle Varianten ident. Der **Primärenergiebedarf** ändert sich zwischen 3900 MWh/a und 5253 MWh/a. Das Maximum tritt in der Variante C3 auf (ungedämmtes Rohr mit 38/27 °C). Der minimale Primärenergiebedarf tritt in der Variante D4 auf. Hier wird mit geringer VLT/RLT und Booster-Stationen gerechnet. Bei den **CO₂-Äqu-Emissionen** zeigt sich ein Bild, das stark von den zugrunde gelegten Energieträgern geprägt ist (Biomasse-FW und konventioneller Strom Mix). Dadurch ergeben sich hier die VarA und VarB als Varianten mit geringsten CO₂-Äqu-Emissionen. Die stromintensiven Varianten (VarC und VarC) können aufgrund hohen CO₂-Äqu-Emissionen von Strom, die Werte der klassischen FW (Biomasse) nicht erreichen. Bei den **spezifischen Kosten je MWh** Nutzenergie zeigt sich ein recht homogenes Bild. Die Differenz zwischen den minimalen und maximalen Kosten betragen 2,4 €/MWh, wobei im Mittel mit 9,0 €/MWh zu rechnen ist.

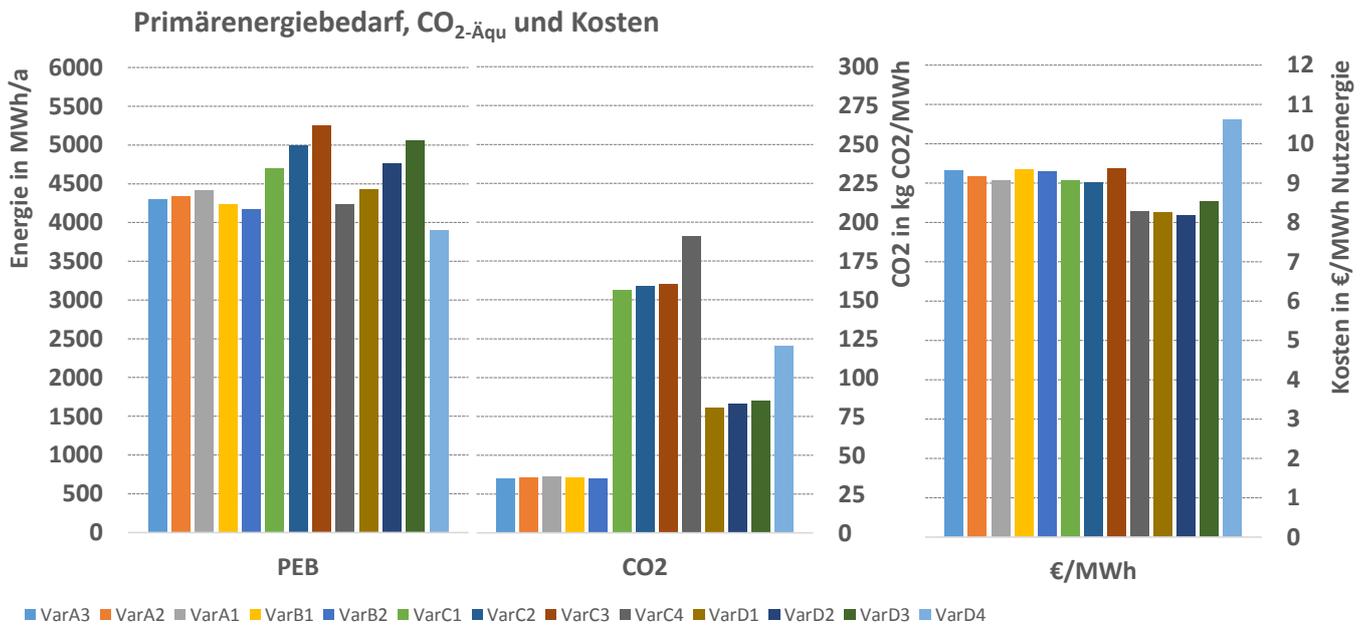


Abbildung 119 Übersicht für den Standort Neustadt / Weiz, bezüglich dem Primärenergieaufwand, den CO₂-Äqu-Emissionen und den spezifischen Kosten je MWh Nutzenergie (Nutzenergie = 2601 MWh/a)

4.4 Sankey – Diagramme für Energie, CO₂-Äqu. und Exergie

Nachfolgend sind die Sankey-Diagramme aller Varianten für die Modellregion Neustadt / Weiz dargestellt. Nachfolgend sind die Sankey Diagramme, die den Weg von der Nutzenergie (thermisch wie auch elektrisch) bis hin zur Primärenergie (in MWh/a) darstellen. Des Weiteren beinhaltet das Kapitel jene Sankey Diagramme, die den CO₂-Äqu. Ausstoß der Wärmeversorgungskonzepte in Tonnen p.a. behandeln. Zu Letzt werden die Exergieströme (in MWh/a) der betrachteten Varianten für Neustadt dargelegt.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Sankey – Diagramme Energie

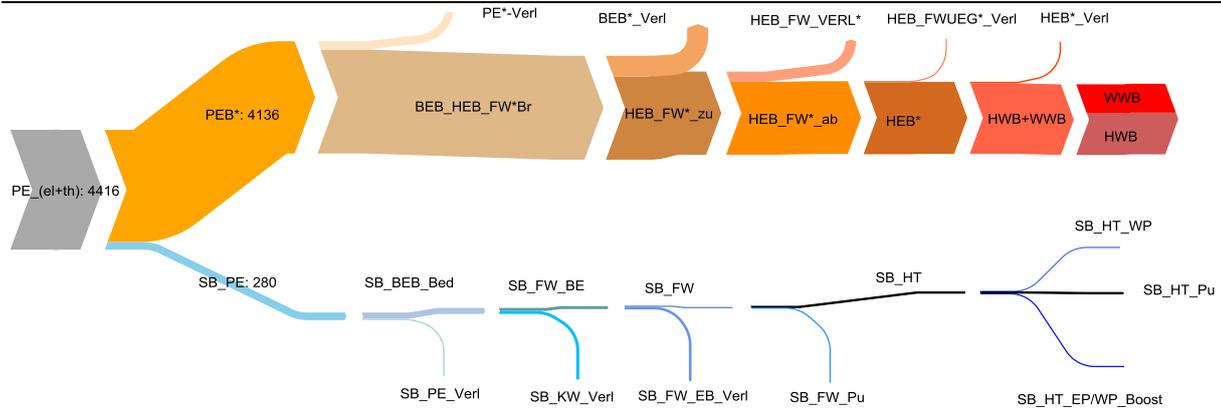


Abbildung 120 Energiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

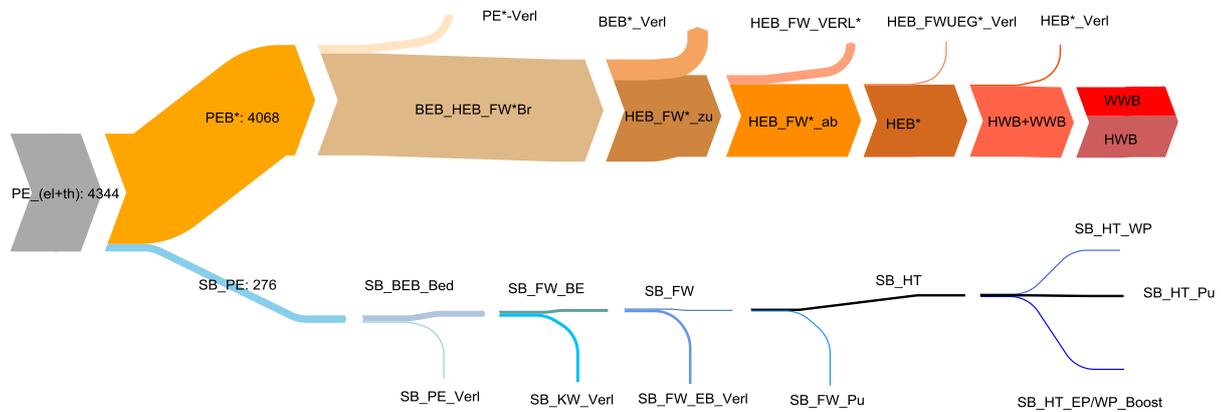


Abbildung 121 Energiebedarf (MWh/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

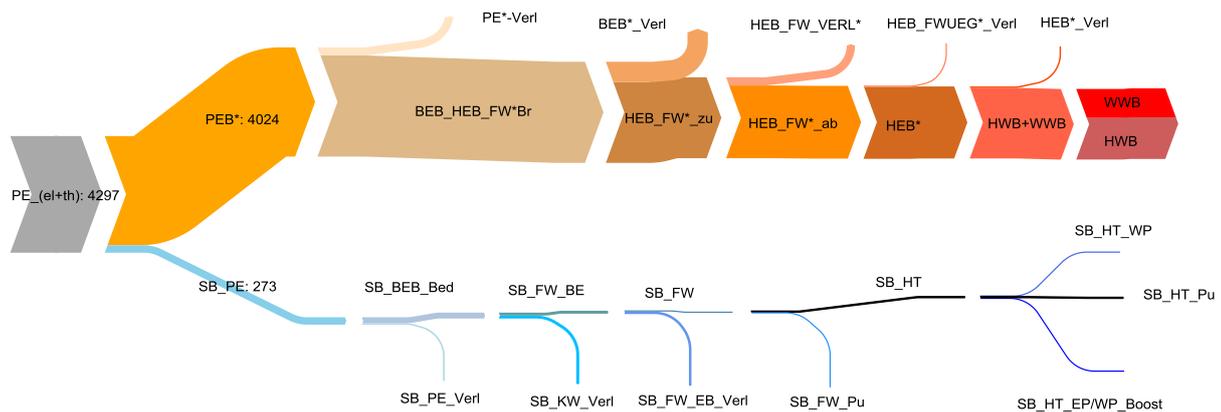


Abbildung 122 Energiebedarf (MWh/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

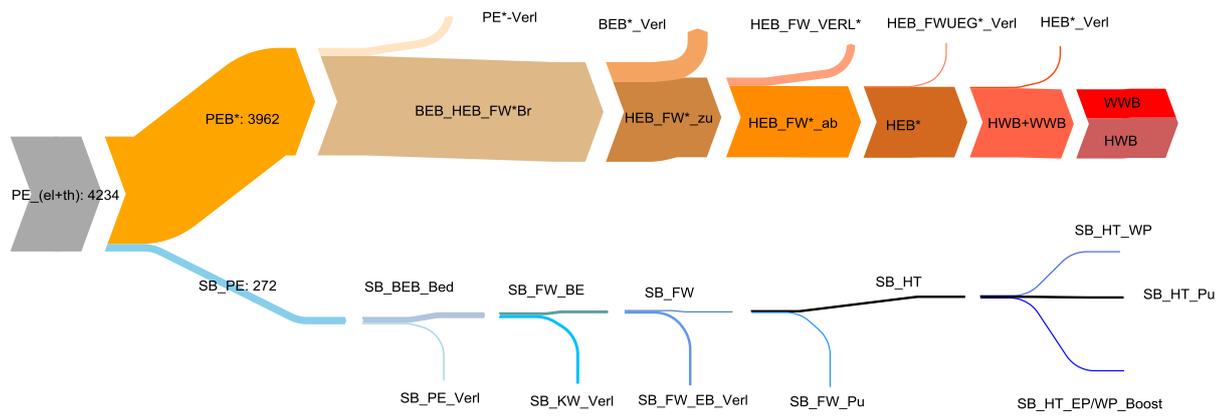


Abbildung 123 Energiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

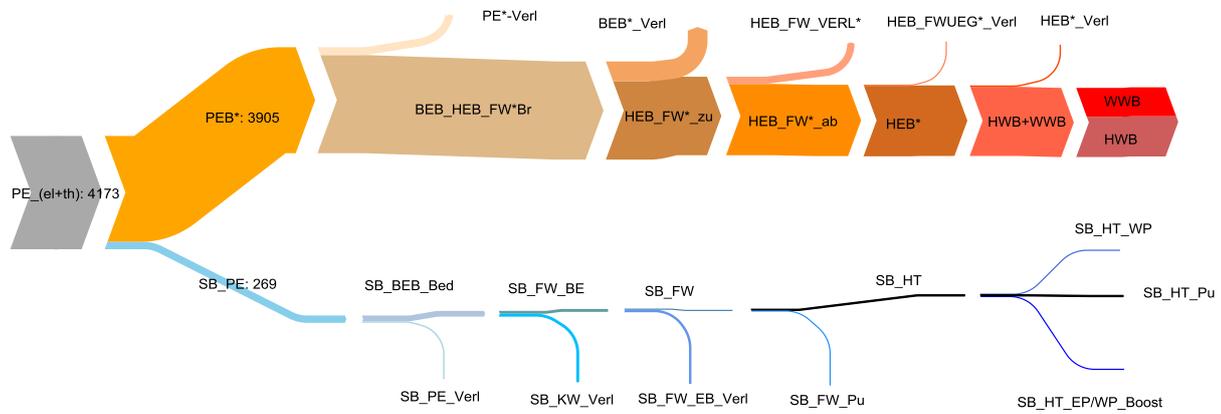


Abbildung 124 Energiebedarf (MWh/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

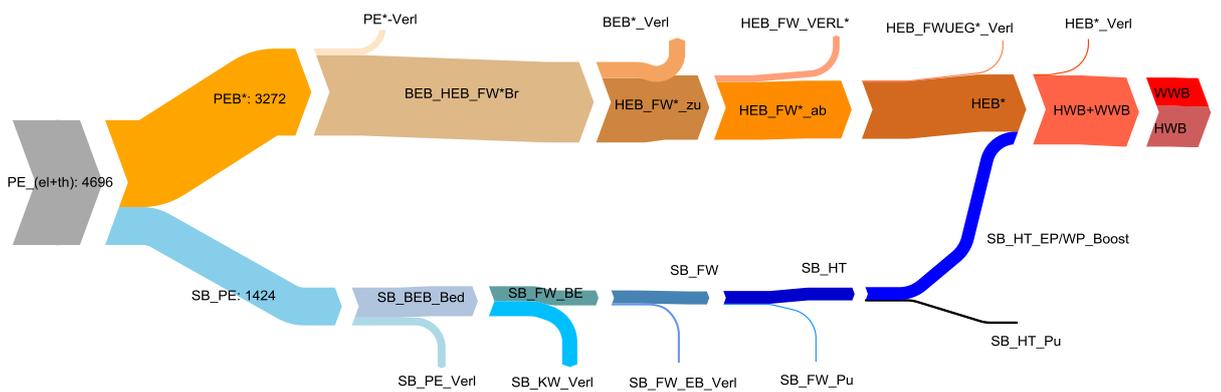


Abbildung 125 Energiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

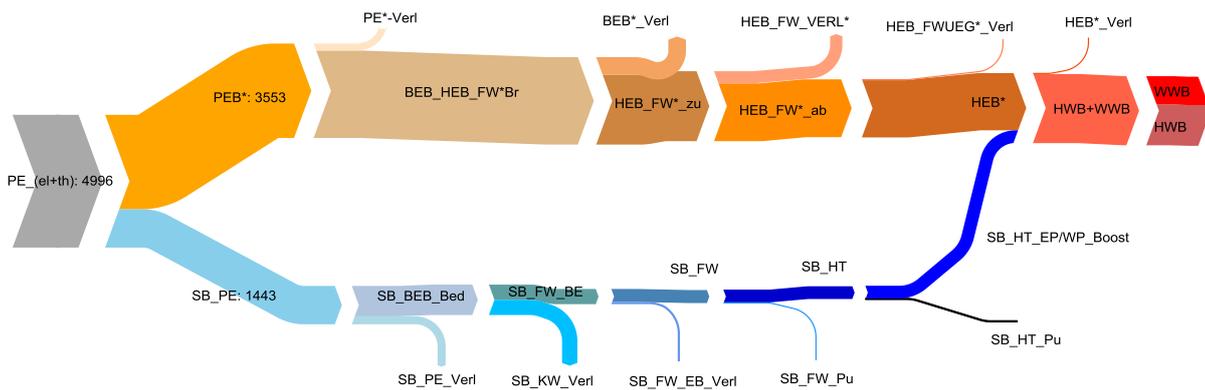


Abbildung 126 Energiebedarf (MWh/a) der VarC2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

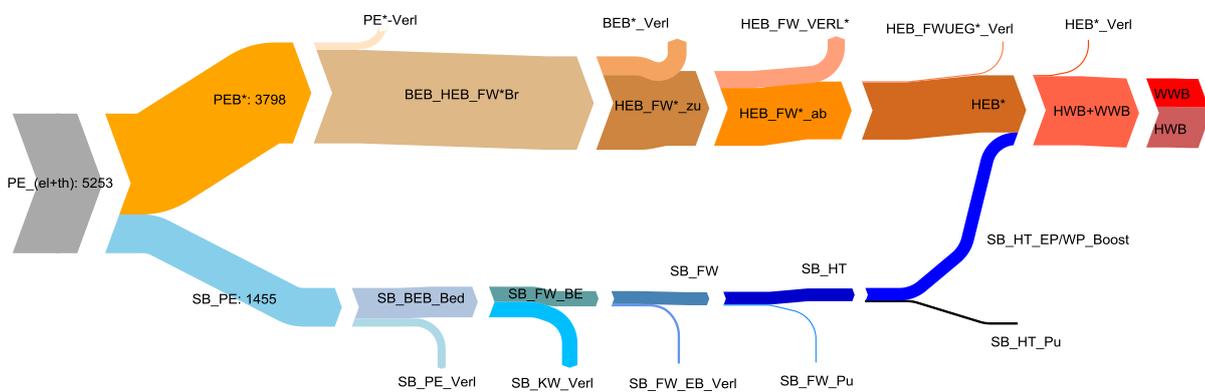


Abbildung 127 Energiebedarf (MWh/a) der VarC3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

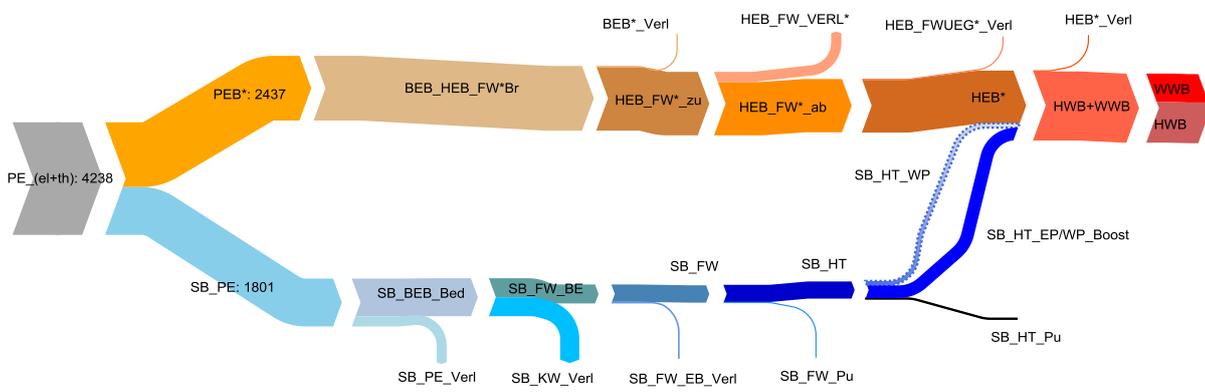


Abbildung 128 Energiebedarf (MWh/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

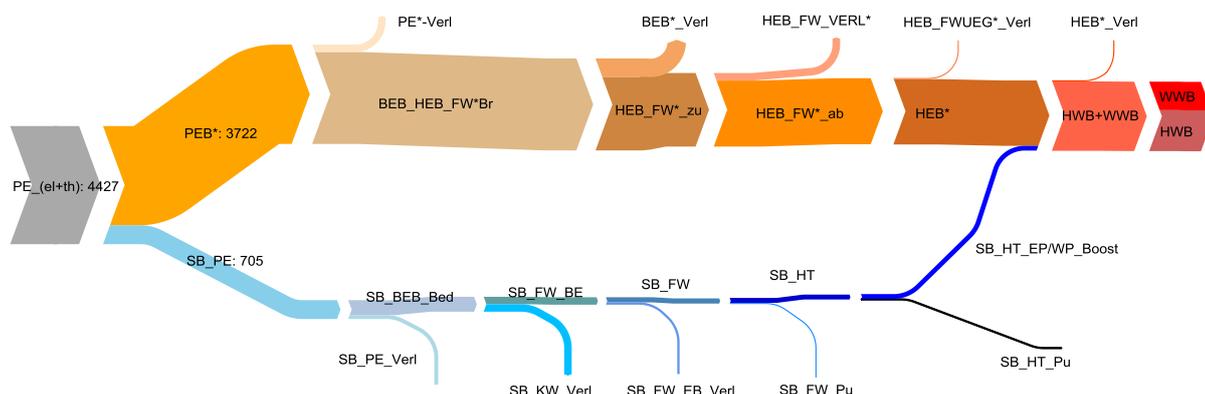


Abbildung 129 Energiebedarf (MWh/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

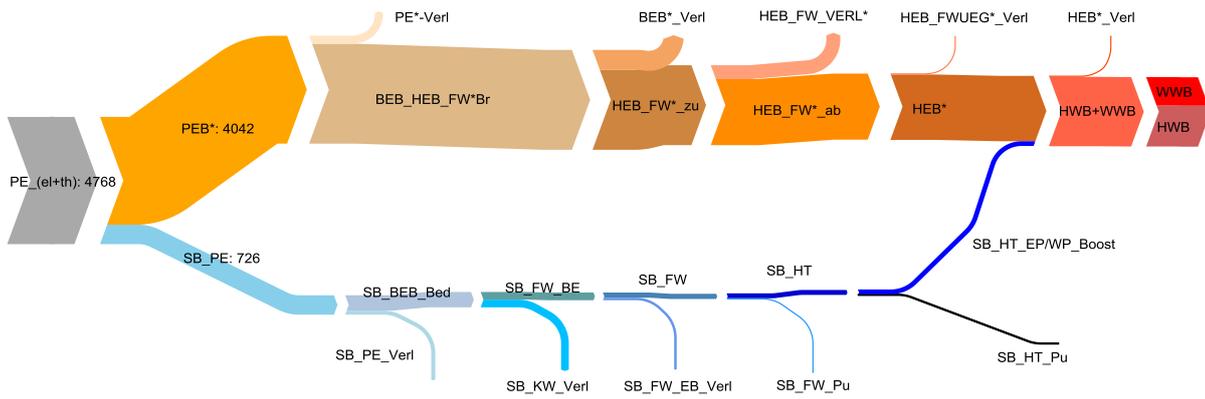


Abbildung 130 Energiebedarf (MWh/a) der VarD2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

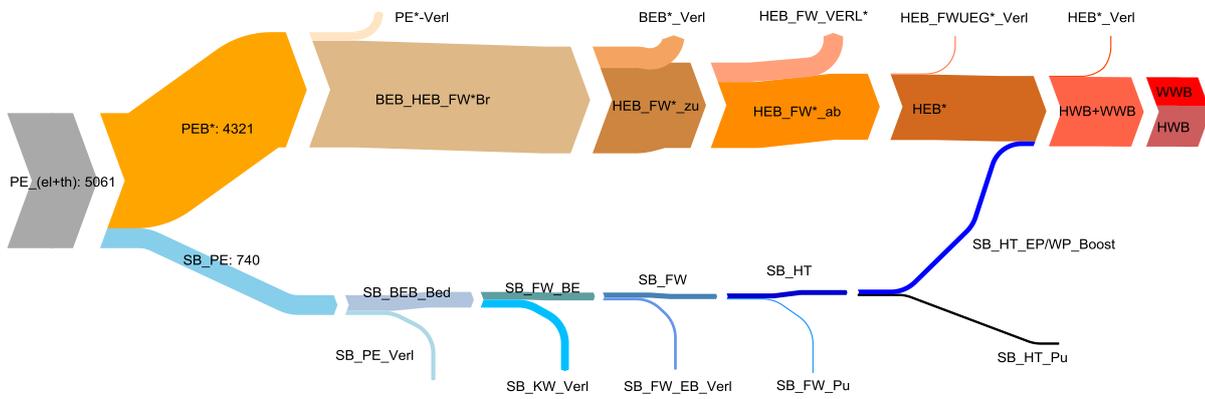


Abbildung 131 Energiebedarf (MWh/a) der VarD3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

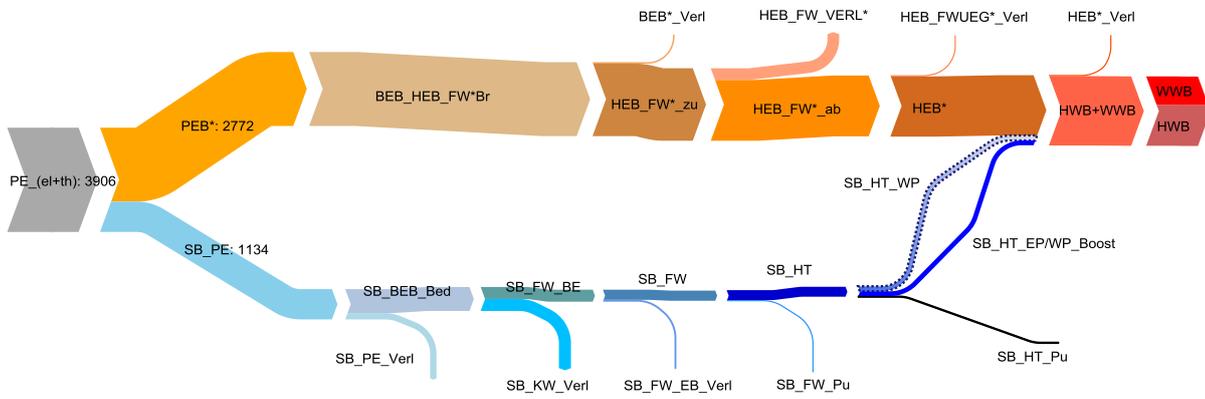


Abbildung 132 Energiebedarf (MWh/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Sankey – Diagramme CO₂-Äqu.

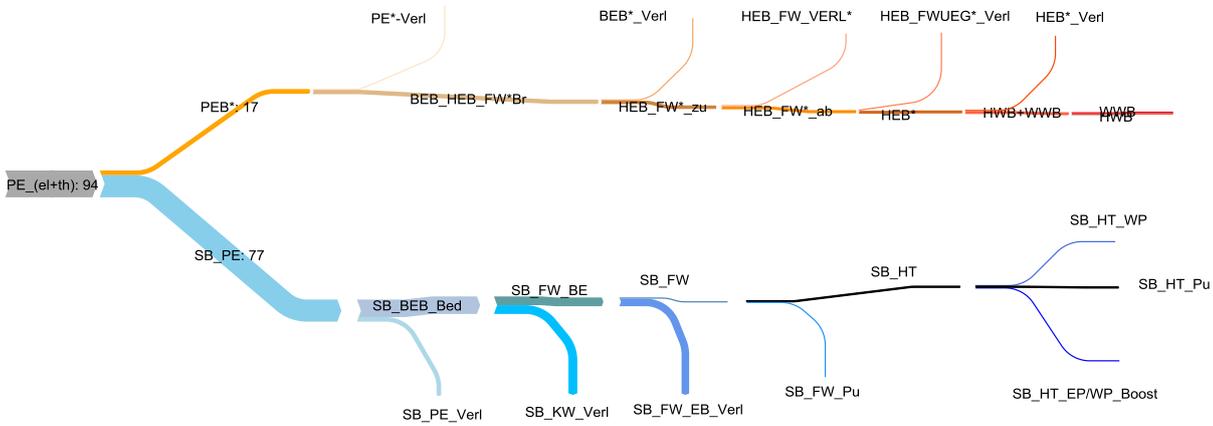


Abbildung 133 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

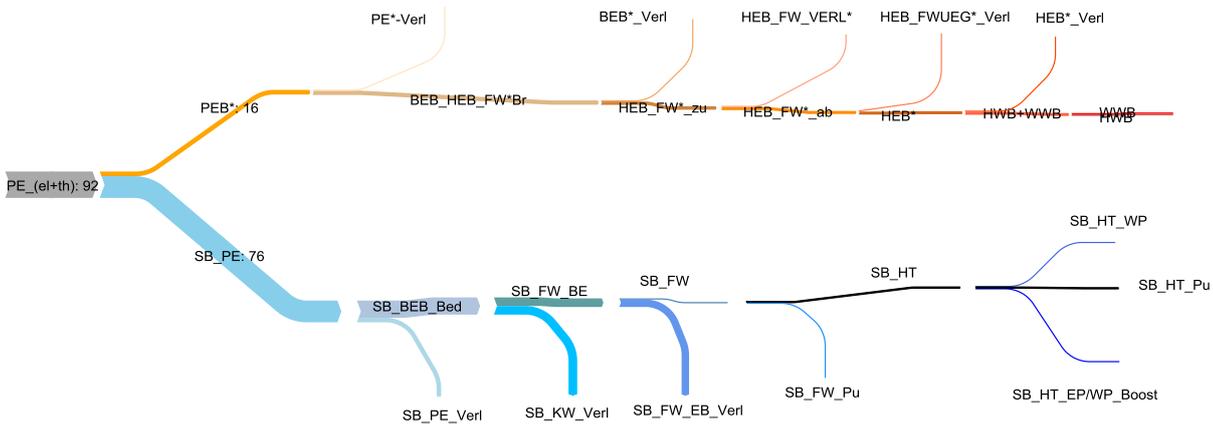


Abbildung 134 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

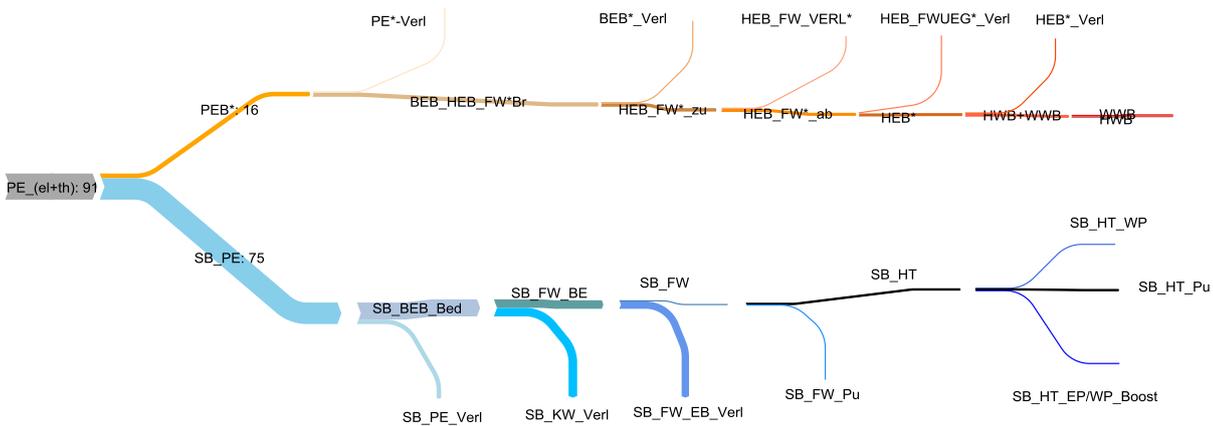


Abbildung 135 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

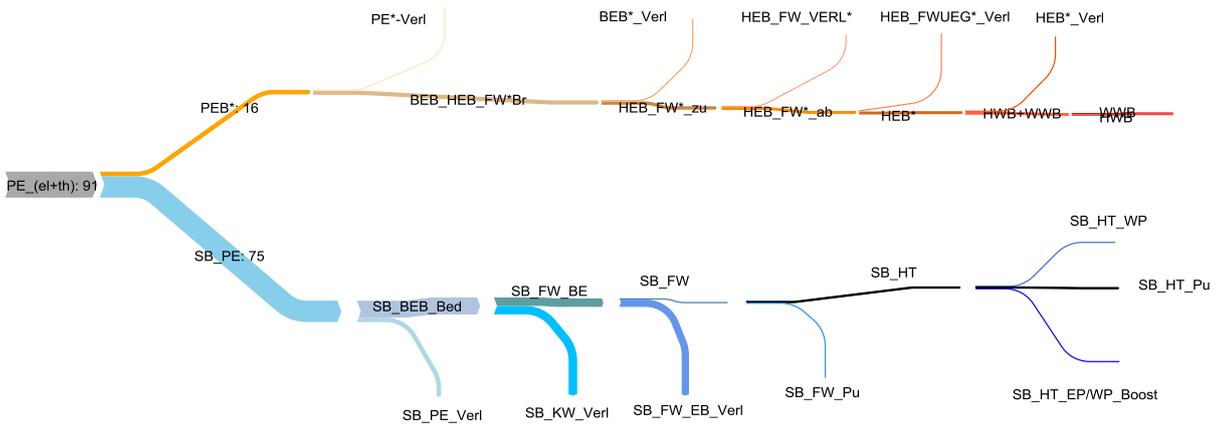


Abbildung 136 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

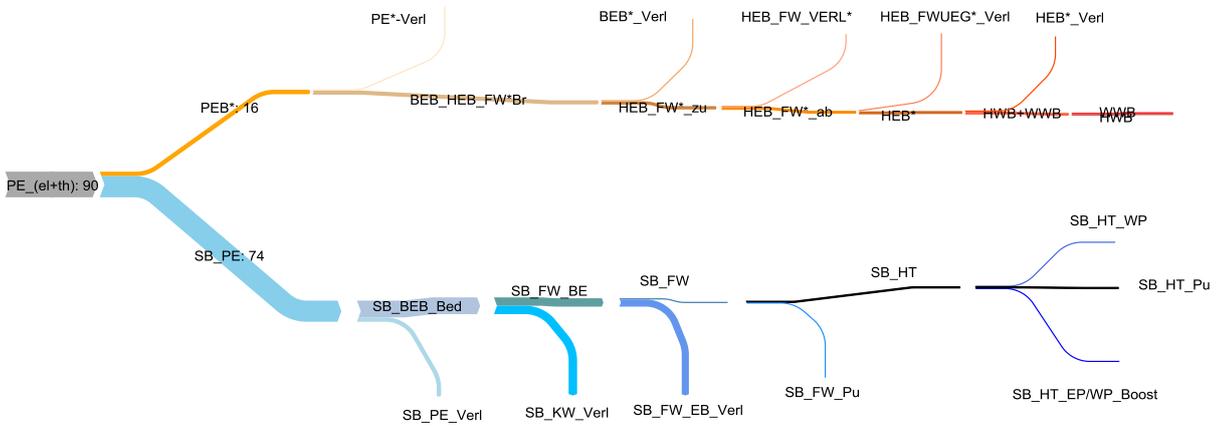


Abbildung 137 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

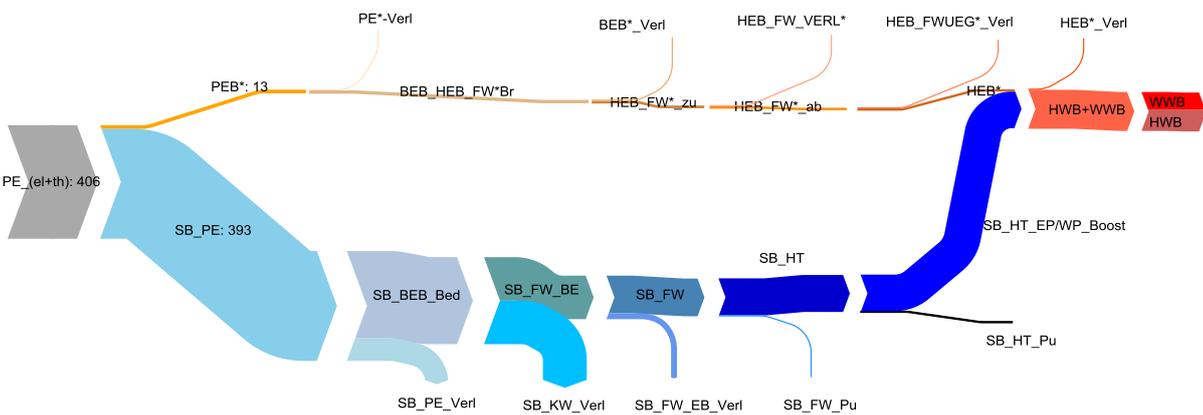


Abbildung 138 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

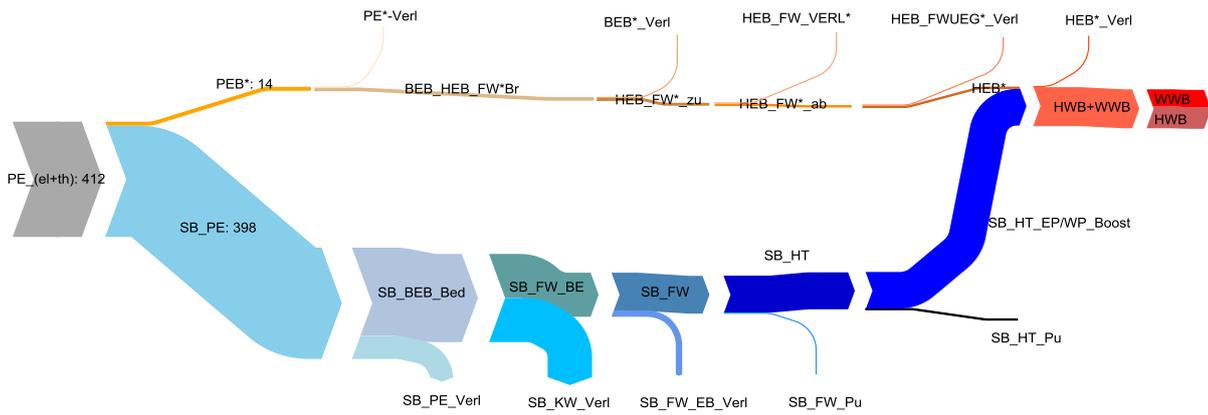


Abbildung 139 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

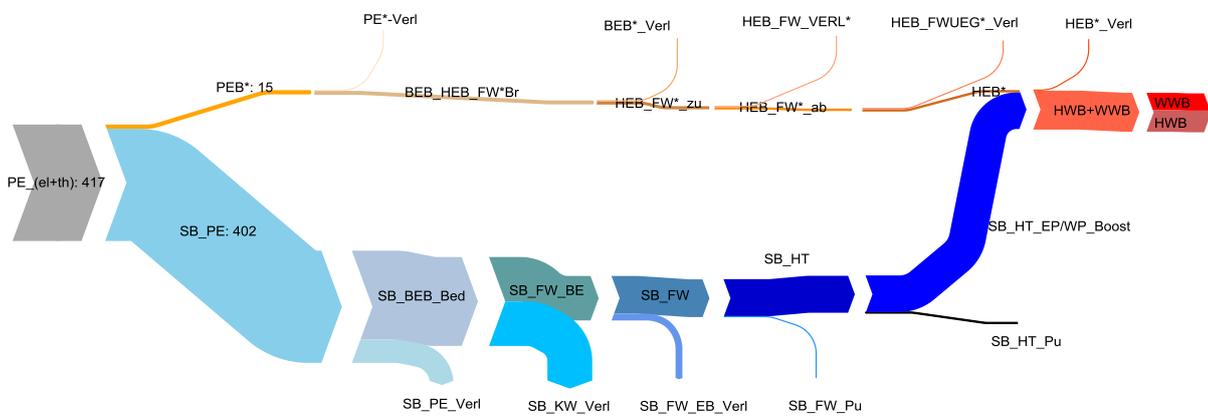


Abbildung 140 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

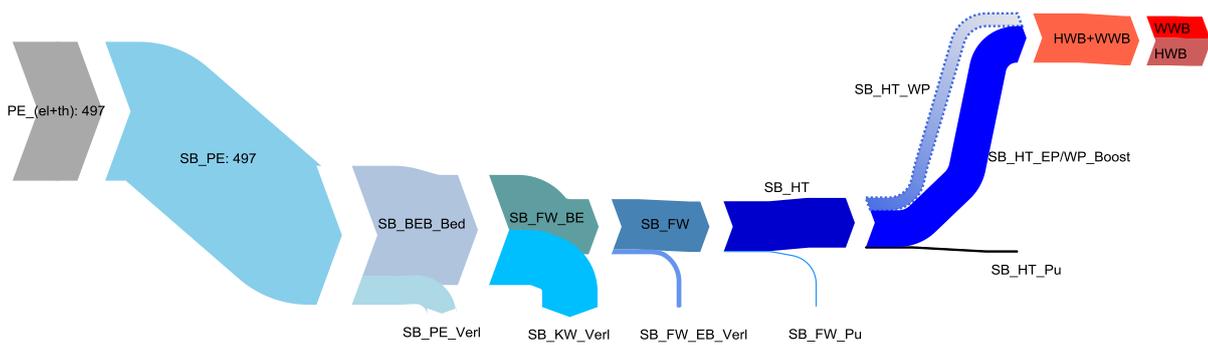


Abbildung 141 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

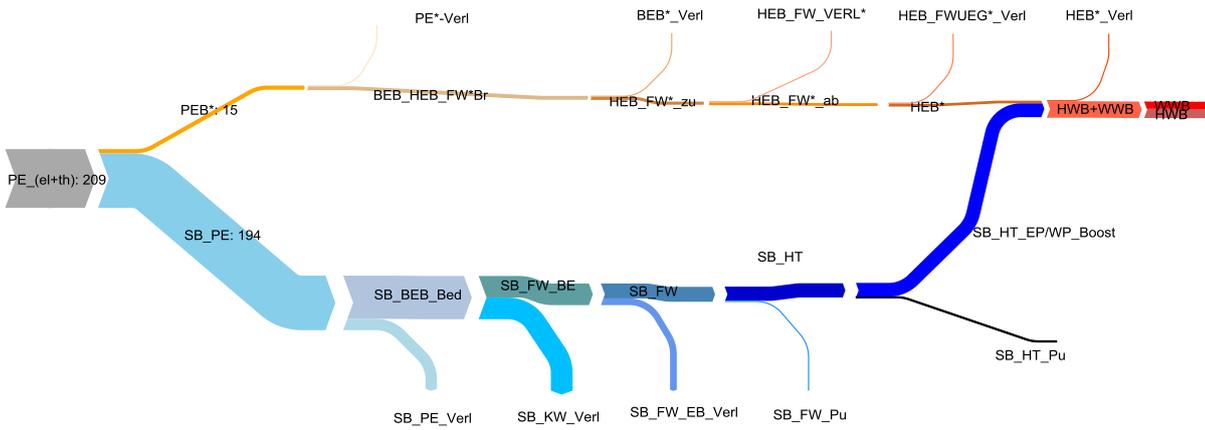


Abbildung 142 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

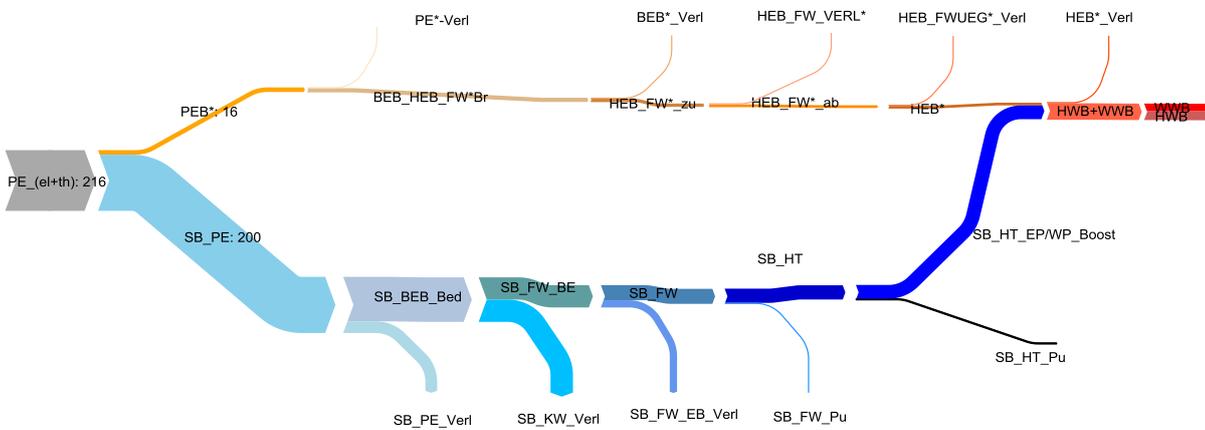


Abbildung 143 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

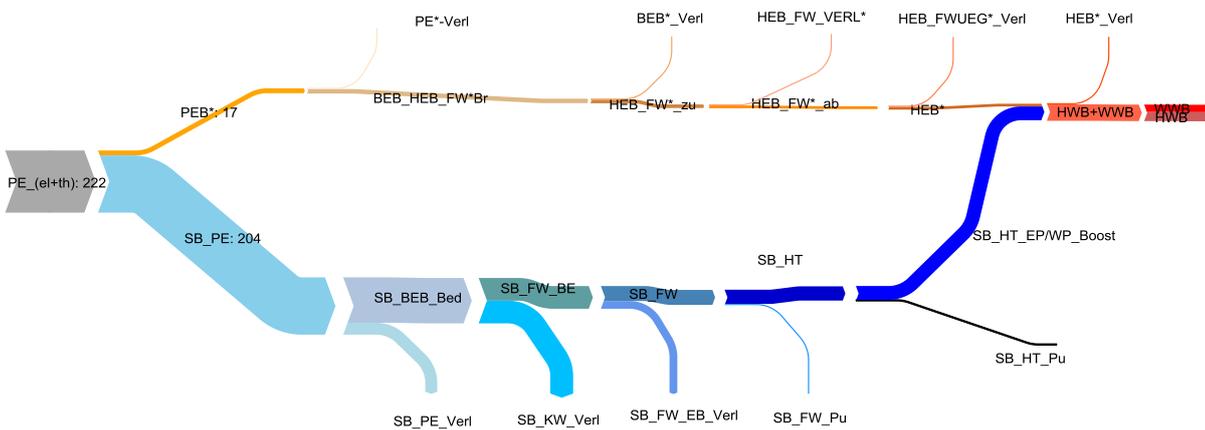


Abbildung 144 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

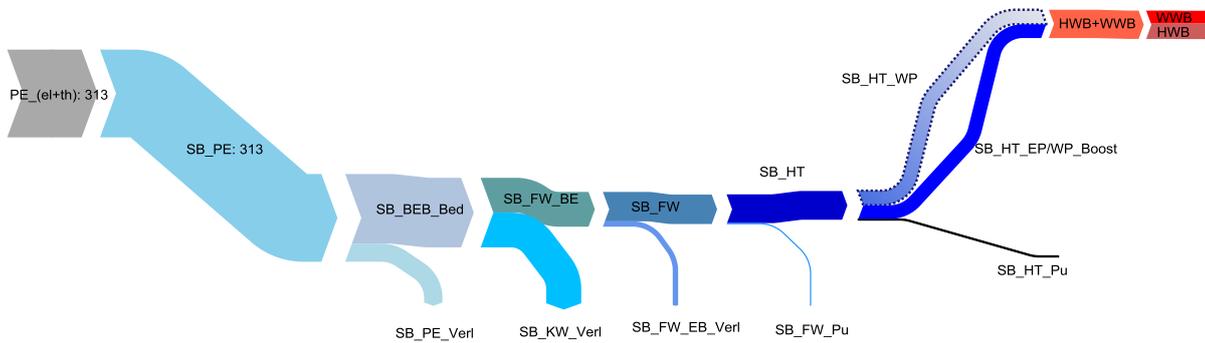


Abbildung 145 Äquivalenter CO₂ – Ausstoß (t CO₂-Äq/a) der VarD4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt

Sankey Diagramme – Exergie

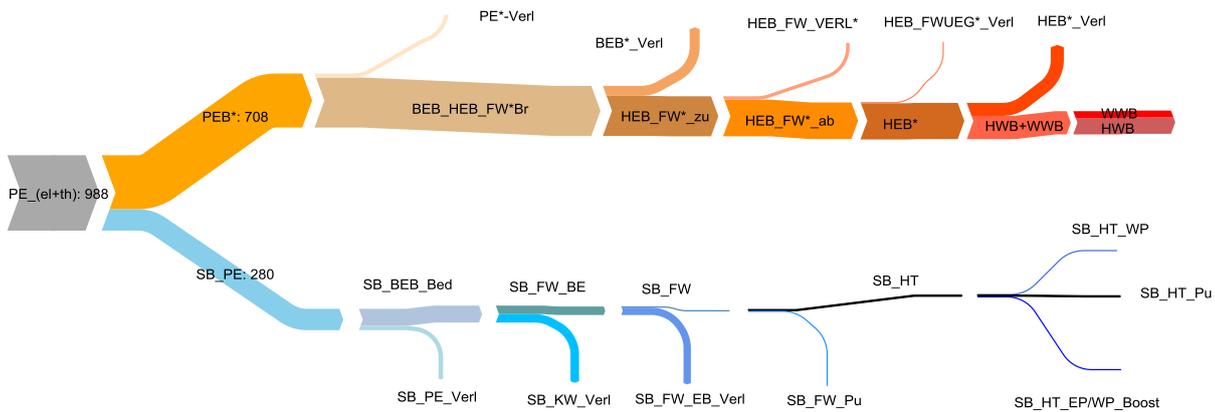


Abbildung 146 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

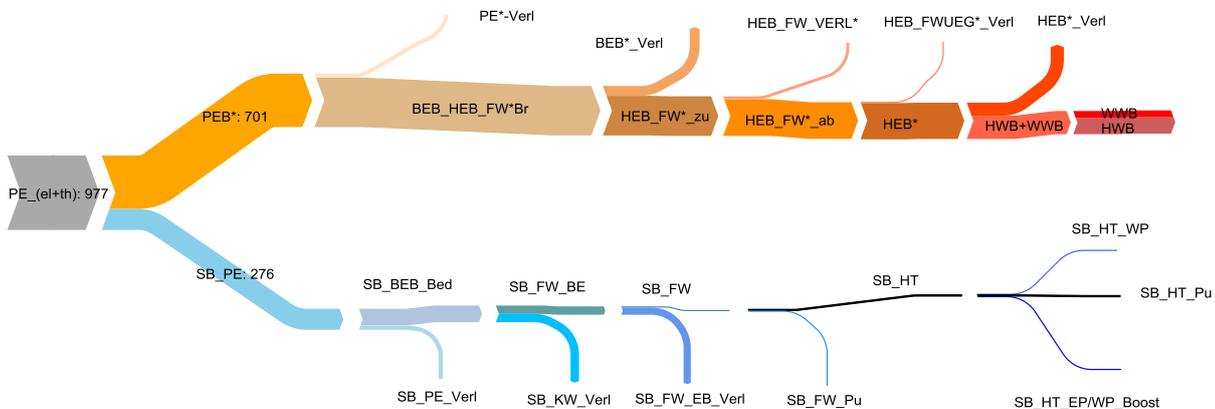


Abbildung 147 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

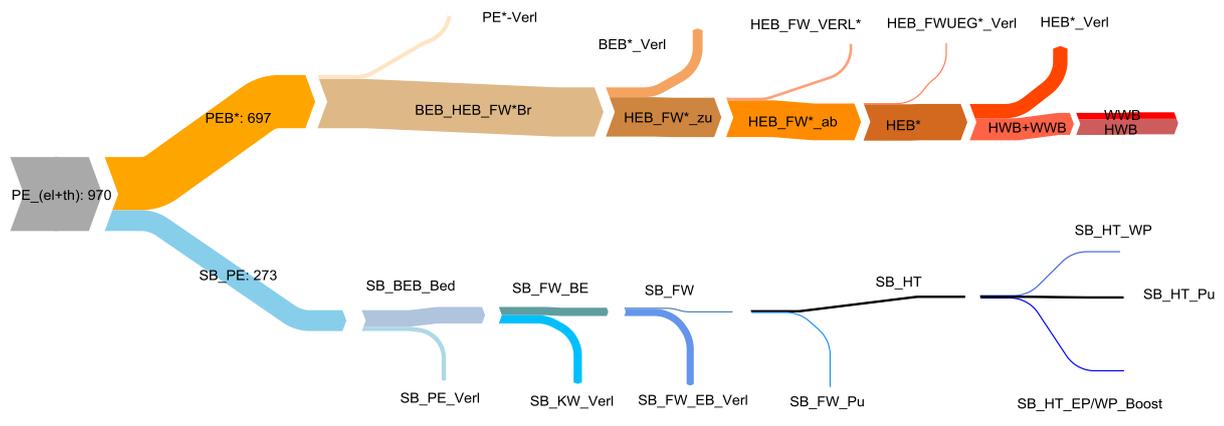


Abbildung 148 Exergiebedarf (MWh/a) der VarA3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

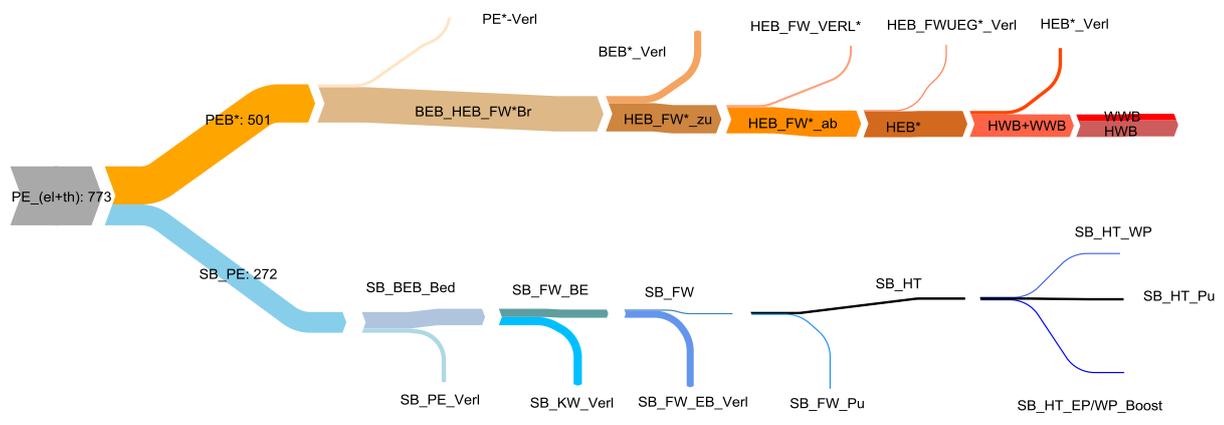


Abbildung 149 Exergiebedarf (MWh/a) der VarB1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

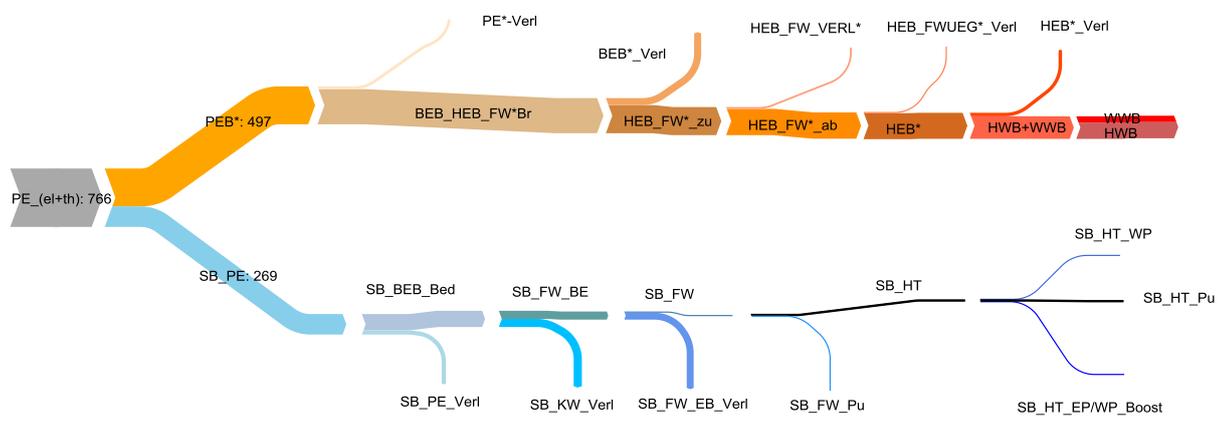
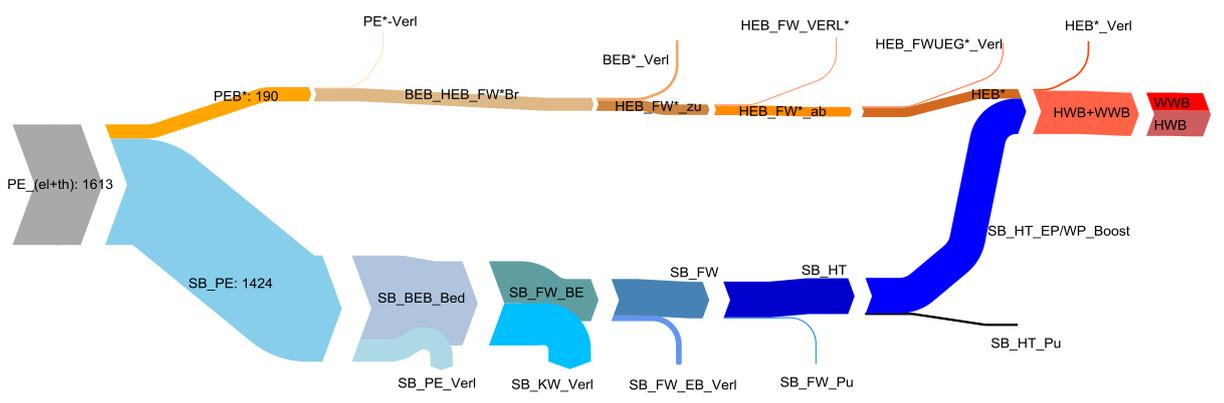


Abbildung 150 Exergiebedarf (MWh/a) der VarB2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Abbildung 151 Exergiebedarf (MWh/a) der VarC1 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

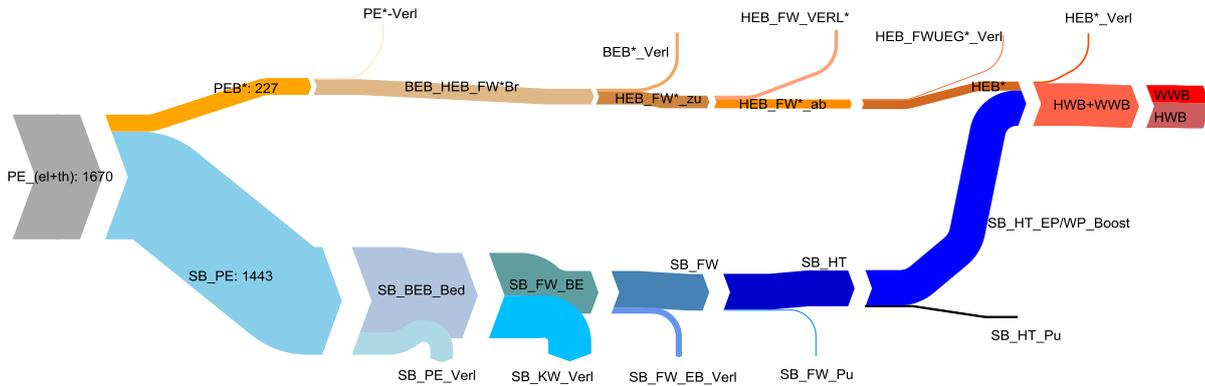


Abbildung 152 Exergiebedarf (MWh/a) der VarC2 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

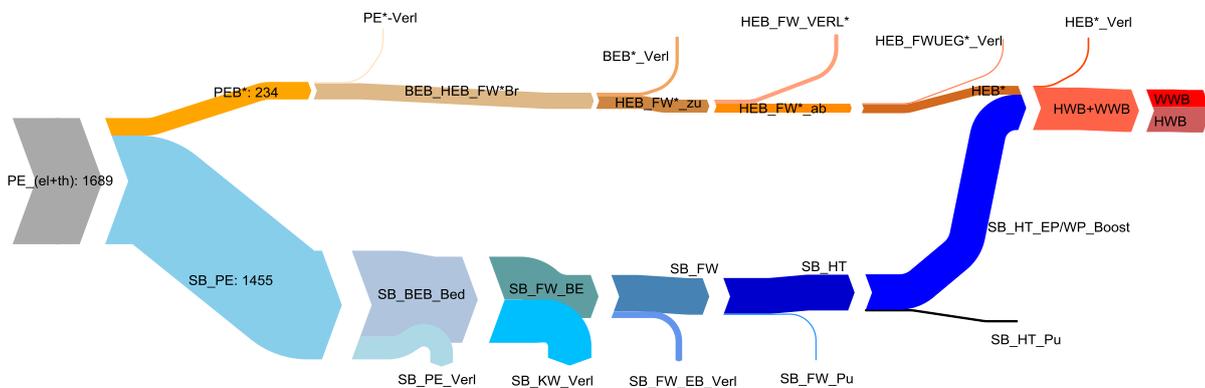


Abbildung 153 Exergiebedarf (MWh/a) der VarC3 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz

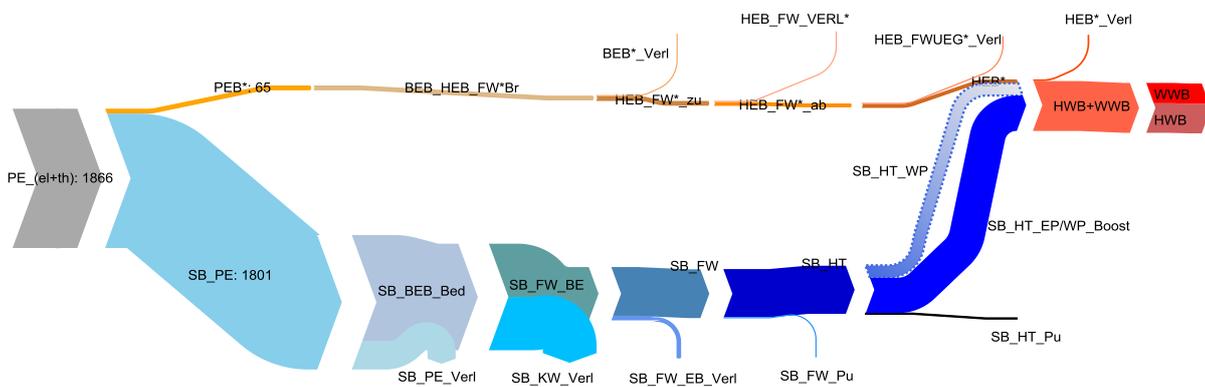
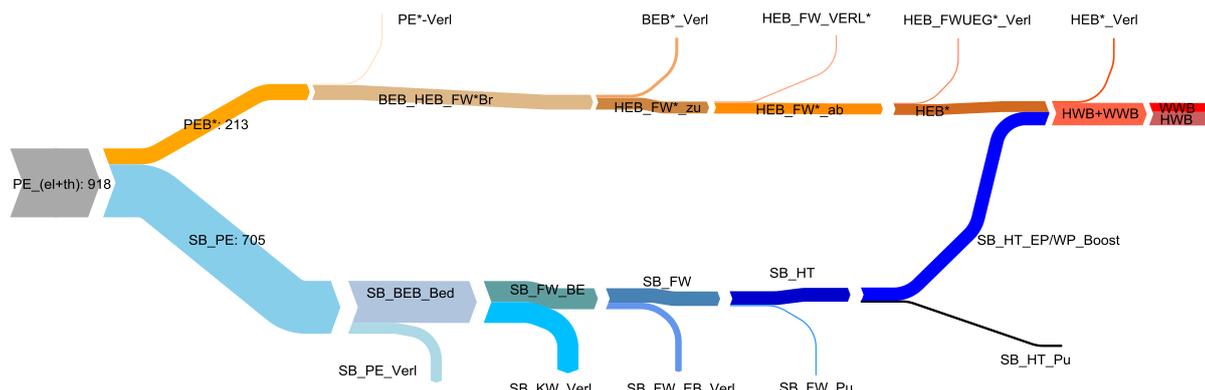


Abbildung 154 Exergiebedarf (MWh/a) der VarC4 (Primärenergie bis Nutzenergie) für Neustadt / Weiz



Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 16 Übersicht hinsichtlich der wirtschaftlichen Bewertung der technischen Versorgungsvarianten und deren Reihenfolge für Neustadt / Weiz

Varianten	A3	A2	A1	B1	B2	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5
	90/40_DSS	90/40_DS2	REF_90/40_DS1	60/36_DS1	60/36_DS2	38/27_DS1	38/27_DS1	38/27_PLT	26/15_PLT	38/27_DS1	38/26 k. Dämmung	38/27_PLT	26/15_PLT	15/10_PLT
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
(durchschn. Nennweite)	30,3	30,1	30,8	38,1	37,9	31,2	31,2	31,9	31,2	31,2	34,9	31,9	31,2	31,2
Grabung (ger. auf 1€)	231 000	219 000	201 000	207 000	227 000	203 000	203 000	179 000	177 000	203 000	175 000	179 000	177 000	177 000
Rohre (ger. auf 1€)	500 000	437 000	395 000	450 000	449 000	398 000	398 000	221 000	211 000	398 000	251 000	221 000	211 000	211 000
Übergabestationen klassisch	348 750	348 750	348 750	353 400	353 400	197 600	197 600	197 600	197 600	197 600	197 704	197 704	197 756	197 662
Heizungsanlage (sekundär, Mehrpreis)	-	-	-	27 900	27 900	48 400	48 400	48 400	48 400	48 400	48 400	48 400	48 400	48 400
Booster	-	-	-	-	-	200 900	200 900	200 900	200 900	200 900	200 900	200 900	200 900	410 000
Investition Netto	1 079 750	1 004 750	944 750	1 038 300	1 057 300	1 047 300	1 047 300	846 900	834 900	1 047 952	873 004	847 056	835 108	1 044 052
Spez. Kosten	1 791,5	1 667,1	1 567,5	1 722,7	1 754,3	1 738,7	1 738,7	1 448,3	1 405,2	1 385,3	1 448,5	1 405,4	1 385,6	1 732,3
kalk. Lebensdauer Rohrtrasse	40													
kalk. Lebensdauer Übergabestationen, WP, Booster	20													
kalk. Zinssatz	5%													
Annuitätenfaktor	5,83%													
Annuitätenfaktor Übergabestationen, Booster, Heizungsmeßkosten	8,02%													
Kapitalkosten Rohrtrasse	42 601,34	38 230,47	34 733,78	38 288,75	39 396,04	35 025,17	35 025,17	24 826,50	23 311,26	35 025,17	24 826,50	23 311,26	22 611,93	22 611,93
Kapitalkosten Übergabestationen	27 984,60	27 984,60	27 984,60	28 357,73	28 357,73	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94	15 855,94
Kapitalkosten Heizungsanlagen-Meßkosten	-	-	-	2 238,77	2 238,77	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74	3 863,74
Kapitalkosten WP-E-Patrone / WP-Booster	-	-	-	-	-	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74	16 120,74
Summe Kapitalkosten	70 585,94	66 215,08	62 718,39	68 885,25	69 992,54	70 885,59	70 885,59	60 686,91	59 171,68	70 885,59	60 686,91	59 171,68	58 472,34	58 472,34
Wärmeverluste	300	333	383	309	266	303	303	557	474	303	557	570	474	158
spez. Verlustkosten	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
kalk. Wärmeverlustaufwand	14 998	16 638	19 157	15 431	13 318	15 142	15 142	27 827	28 500	23 692	27 827	28 500	23 692	7 897
Pumpenergieaufwand	8,37	8,47	8,64	9,62	9,52	10,36	10,36	11,54	10,74	10,36	11,54	10,74	10,28	15,41
spez. Pumpenergiekosten	140													
kalk. Pumpenergiekosten	1 171,50	1 185,74	1 210,20	1 346,76	1 332,51	1 452,86	1 452,86	1 616,03	1 504,27	1 452,86	1 616,03	1 504,27	1 438,55	2 157,83
kalk. Wärmebezugspreis (Eintritt Netz; konv. Kunc	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
kalk. Wärmebezugspreis (Eintritt Netz; coldheat Ki	50	50	50	50	50	20	20	20	20	20	20	20	20	-
Zusätzlicher Strombedarf für WW-Boosting	134 030	134 030	134 030	131 303	131 303	101 201	101 201	101 201	87 610	101 201	101 201	101 201	87 610	94 610
kalk. Stromkosten WW-Boosting	-	-	-	-	-	194	194	194	397	40	40	40	243	536
Wartung und Instandhaltung	21 595,00	20 095,00	18 895,00	20 766,00	21 146,00	20 958,00	20 958,00	17 458,00	16 938,00	20 958,00	17 460,08	16 941,12	16 702,16	20 881,04
laufende Kosten	171 794,10	171 948,74	173 292,00	168 846,56	167 099,11	166 913,46	166 913,46	175 261,83	185 060,09	144 297,36	153 646,76	153 689,25	163 447,11	200 576,24
Gesamtkosten	242 380	238 164	236 010	237 732	237 092	236 799	235 949	234 475	243 532	215 187	214 342	212 873	221 936	275 831
Rank der niedrigsten Gesamtkosten	12	11	7	10	9	8	6	5	13	3	2	1	4	14

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Effekte der zusätzlichen Investitionskosten für sekundäre Heizungsausstattung mit Booster-Stationen und pekuniär aufwendigeren Wärmeübergabeanlagen wirkt sich aufgrund der anteilmäßig geringeren Anzahl dieser Anlagen nicht so gravierend aus, wodurch die positiven Effekte der verringerten direkten Kosten des Wärmebezuges, sowie die verringerten Trassenkosten den zusätzlichen Strombedarf für die Booster-Stationen nach wie vor überwiegen und so zu einer günstigeren Gesamtkostenbewertung der Kalten Fernwärme führen. Daraus kann ein Vorteil der K-FW bei geringer Wärmedichte ausgemacht werden, der im reinen Neubaugebiet Harbach (mit hoher Wärmedichte) so noch nicht zu erkennen war.

Bei dieser Art der Bebauung und der damit deutlich geringeren Wärmedichte in Neustadt, zeigt sich, dass die K-FW hier bei günstiger Systemwahl ihre Vorteile ausspielen kann. Die Varianten VarC (C1-C3) sind hinsichtlich der jährlichen Kosten (Annuitätenmethode) auf gleichem Niveau wie jene der klassischen Varianten (VarA und VarB). Der Wechsel zu den Varianten VarD, bei denen aufgrund der dezentralen Booster-Stationen zur WWB, zwar die Investitionskosten steigen aber im Gegenzug die Wärmeverluste weiter sinken und die laufenden Stromkosten nachhaltig gesenkt werden können, zeigt verringerte Gesamtkosten. Die Varianten VarD (D1-D4) sind, bei Betrachtung der Gesamtkosten, um etwa 9-12 % günstiger als die klassischen Varianten (siehe auch Abbildung 159). Die zusätzlich abgeschätzte Variante der VarD5 – also Vorlauf-/Rücklauftemperaturen um Bereich von 15 bzw. 10 °C zeigen aufgrund der massiv steigenden Investitions- und vor allem Boost-Stromaufwendungen bzw. deren Kosten eine ungünstigere Kostenbetrachtung für diese Variante.

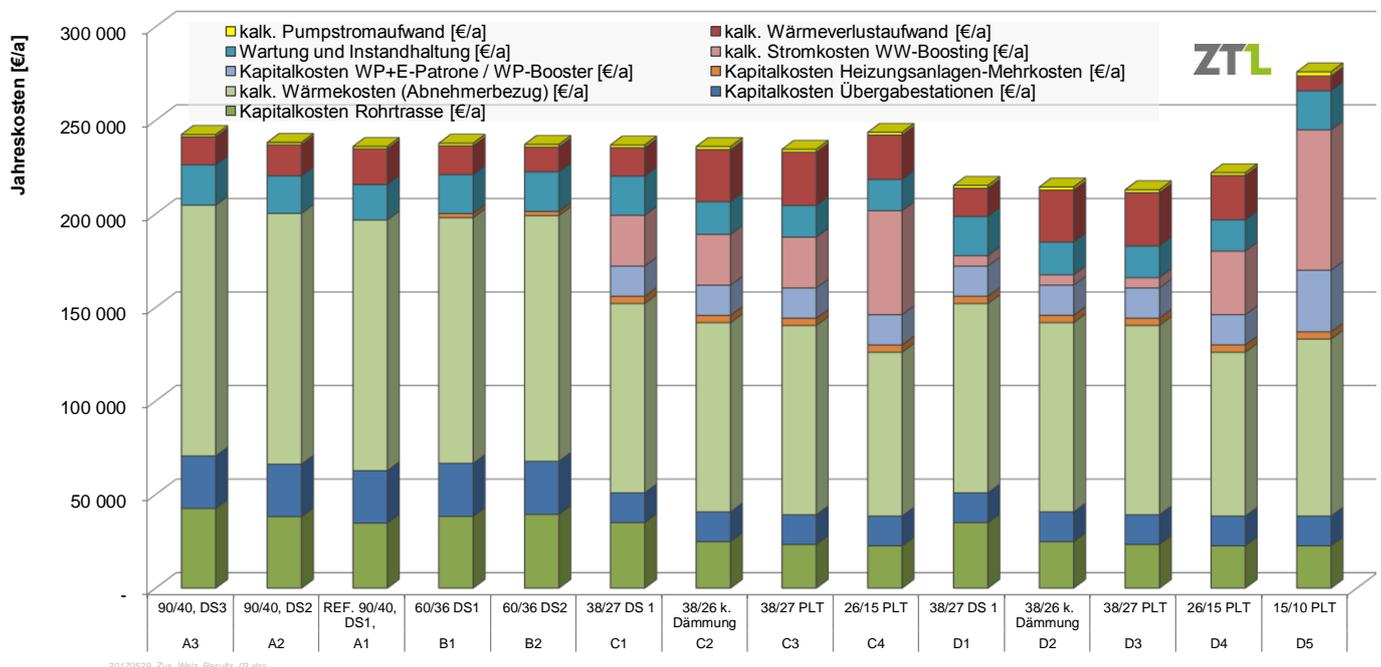


Abbildung 159 Gegenüberstellung der Ergebnisse der wirtschaftlichen Bewertung der Versorgungsvarianten für Neustadt / Weiz

4.6 Umsetzungsstrategie

Analog zu den Ausführungen für Harbach, ist für die grundsätzlich, erfolgreiche Erricht- und Betreibbarkeit einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung, die Planbarkeit der Abnehmerstruktur von immenser Bedeutung – daher ist eine Erarbeitung von langfristig haltbaren Abnahmeszenarien von entscheidender Wichtigkeit für die Planbarkeit und techno-ökonomische Nachhaltigkeit.

Insbesondere in Bereichen möglicher „Kalter“ Fernwärme gewinnt die Aussage von zuvor nochmals an Bedeutung, da solche Gebiete nur mehr mit Kalter Fernwärme versorgt werden und jeder „intensivere“ Abnehmer die Gesamtsinnhaftigkeit des Systems verschlechtert.

Somit kann geschlussfolgert werden, dass bei der Erschließung eines neuen Gebietes im Sinne der „Kalten“ (wie auch der „Warmen“) Fernwärme aus technischer Sicht die verbindliche Regelung einer gewissen Bedarfsdichte sowie eine verbindliche Festlegung des erforderlichen Baustandards (Bauqualität, d.h. i.d.F. spezifischer Energiebedarf) erfolgskritisch für ein sinnvolles Gesamtsystem sind.

Nun kann noch zusätzlich hinterfragt werden, ob es eigentlich unbedingt ein leitungsgebundenes System sein soll. Dies ist zwar nicht die Aufgabenstellung des vorliegenden Projektes, kann aber einfach erläutert werden, indem gedanklich ein Gesamtsystem aus dislozierten und verdichtet bebauten Siedlungsgebieten betrachtet wird. Unter der Annahme, dass jedes Siedlungsobjekt Strom-, Wärme- und Energiebedarf für Mobilität aufweist, ist in verdichtet bebauten Gebieten jedenfalls eine leitungsgebundene Wärmeversorgung als Variante zu diskutieren, weil eine zentrale Energieerzeugung deutlich effizienter zu bewerkstelligen ist und auch andere Energieerzeugungstechnologien (z.B. KWK) eingesetzt werden können, da derartige Technologien im kleinen Leistungsbereich nicht zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus gelten die strategischen Empfehlungen wie für Harbach (siehe Kapitel 3.8).

5 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt coldHEAT können einen wesentlichen Beitrag zur Diskussion der Machbarkeit von K-FW in einem Neubaugebiet und in einem Bestandsgebiet beisteuern. Damit kann auch ein Beitrag zur Erreichung der in den Modellregionen Harbach / Klagenfurt und Neustadt / Weiz definierten Nachhaltigkeitsziele der Regionen geleistet werden.

Im Zuge des Kontaktes mit den LOI Partnern der Modellregionen und weiteren Städten (Graz, Salzburg) während des Projektes zeigte sich, dass derzeit mehrere Städte in Österreich vor ähnlichen Herausforderungen stehen, sich Gedanken zu machen, wie Gebiete mit niedriger Energiedichte mit Wärme versorgt werden können, die nachhaltig, kostengünstig, niedrigexergetisch und mit einem möglichst hohen Anteil an erneuerbaren Energien die Wärme zur Verfügung stellen.

Das Kapitel 3 über Harbach und das Kapitel 4 über Neustadt können hier sehr hilfreich sein, um Prozesse und Diskussionen in Gang zu setzen und erste konkrete Schritte für ähnliche Neubau- bzw. Bestandsgebiete zu planen. Die qualitative Analyse der Technologien und Themenbereiche wurde in der Machbarkeitsstudie dargelegt und kann somit anderen Städten und Gemeinden als Grundlage und Entscheidungshilfe dienen, einerseits bei Recherchen bezüglich möglicher Wärmeversorgungskonzepte und auch um einen ersten Eindruck hinsichtlich der Kosten zu erhalten. Hierbei wird immer die gesamte Bandbreite, von konventionellen FW-Konzepten bis hin zur K-FW betrachtet, um einen vergleichbaren Überblick hinsichtlich der techno-ökonomischen Kriterien zu erhalten.

Schlussendlich sollen die erstellten Wärmeversorgungskonzepte für die derzeit in Planung bzw. Umsetzung befindlichen Modellregionen und ebenfalls für andere Quartiere, Regionen bzw. Städte als Entscheidungsgrundlage dienen.

Kalte Fernwärme

Bei Kalter Fernwärme ist die grundlegende Idee, durch sehr niedrige Temperaturniveaus (<30 °C) niedrigexergetische Wärmequellen wie NT-Abwärme, Geothermie, Oberflächengewässer, Grundwasser, Abwasser, NT-Solarthermie (z.B. günstige unabgedeckte Kunststoffkollektoren, PVT-Kollektoren¹) und Rauchgaskondensationen nutzbar zu machen und Transportverluste fast vollständig zu eliminieren. Die Vorlauftemperatur von K-FW-Netzen liegt unter der zur hygienischen Trinkwasserbereitstellung und zum Teil auch unter der zur Raumwärmebereitstellung erforderlichen Mindesttemperatur, sodass dezentrale Wärmepumpen (Booster-Stationen) bei den Abnehmern für eine entsprechende Anhebung der Temperatur sorgen müssen. Die Nutzung bislang kaum erschlossener Abwärmequellen, die Vermeidung von Transportverlusten, der Einsatz erneuerbaren NT-Wärmequellen und Wärmepumpen, die aufgrund der hohen Quellentemperatur mit Hocheffizienz betrieben werden können, stellen wesentliche Vorteile dar.

¹ Kombinierte thermische/Photovoltaik-Kollektoren zur gleichzeitigen Produktion von Strom und Wärme

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Bei K-FW-Lösungen wird eine signifikante Reduktion des Primärenergieeinsatzes im Vergleich zu konventioneller Fernwärme oder dezentralen Lösungen ohne Wärmenetz erwartet, wenngleich sich dies aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht direkt ableiten lässt. Der Ausstoß an CO₂-Äqu. Emission kann jedoch durch die Nutzung der K-FW Konzepte deutlich reduziert werden (siehe Kapitel 3.5.3 und 4.3).

Nachdem die Systemtemperaturen kaum höher als die Umgebungstemperatur sind, kann auf gedämmte Fernwärme-Rohrleitungen verzichtet und beispielsweise deutlich kostengünstigere Kunststoffrohrleitungen (analog zur Trinkwasserversorgung) eingesetzt werden. Eine wesentliche technische Limitierung von K-FW-Netzen ist die geringe Temperaturspreizung im Vergleich zu konventionellen Netzen. Der daraus resultierende hohe Massenstrom im System erfordert einen vergleichsweise hohen Pumpstromaufwand und große Rohrnennweiten, was sich insbesondere bei größeren stärker verzweigten Wärmenetzen negativ auf die Umsetzbarkeit solcher Systeme auswirkt und den Preisvorteil des ungedämmten Rohrmaterials teilweise reduziert (siehe Kapitel 3.7 und 4.5).

Siedlungsstrukturelles Fernwärmepotenzial

Die Anschlussdichte oder Wärmedichte eines Siedlungsgebietes, also der Wärmebedarf der Gebäude innerhalb dieses Gebietes geteilt durch die Trassenlänge bzw. Gebietsfläche ist ein entscheidender Faktor für die Abschätzung, ob die siedlungsstrukturellen Randbedingungen für eine Fernwärmeversorgung gegeben sind (da damit indirekt die Investitions- und Erhaltungskosten und die betriebsgebundenen Kosten (Effizienz) der Netze bei üblichen Betriebsparametern herkömmlicher Fernwärmesysteme abgebildet werden).

Der Ausbau der Fernwärme in Gebieten mit geringerer Wärmedichte scheitert zumeist aufgrund zu hoher Investitionskosten und Wärmeverluste der Wärmeverteilung. Eine Reduktion der Kosten sowie der Verluste durch eine deutliche Reduktion der Netzvorlauftemperaturen ermöglicht es, neue Gebiete mit deutlich geringeren Wärmedichten als bisher zu versorgen.

Die Investitionen der Wärmeverteilung liegen – eine vergleichbare Netzstruktur vorausgesetzt - beim kalten Wärmenetz üblicherweise etwas - aber nicht viel - tiefer als beim herkömmlichen Wärmenetz. Zwar wird bei der kalten Fernwärme auf eine Wärmedämmung der Rohrleitungen verzichtet, doch ergeben sich meist ähnlich hohe Kosten für die Grabarbeiten wie bei herkömmlichen Verteilnetzen. Wegen des niedrigen Temperaturniveaus sind beim kalten Wärmenetz nämlich deutlich größere Volumenströme und damit größere Rohrrinnendurchmesser erforderlich als beim herkömmlichen Netz. Zudem steigt mit dem Volumenstrom der Hilfsenergieaufwand.

Die Investitionskosten je Trassenmeter können durch den Wechsel auf ein flexibles Twin-Rohr-Konzept aus Polyethylen (PE-Xa – Dämmserie PLT) und einem weitgehenden Verzicht auf Leitungsdämmung deutlich reduziert werden. Ebenso kann die sogenannte grabenlosen Verlegetechnik von FW-Leitungen zur weiteren Reduktion der Gesamtkosten führen. So ergaben sich in realen Anwendungsfällen Kosten, die etwa 30-40 % unter den Baukosten für konventionelle Fernwärmleitungen liegen (siehe Kapitel 3.7 und 4.5).

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Die Kosten für die Anschaffung und für den Betrieb der Wärmepumpe werden i.d.R. nicht vom Netzbetreiber sondern vom/von WärmekundInnen getragen. Mit der Aufteilung der Kosten erfolgt auch eine Aufteilung des Risikos. Insgesamt ergeben sich bei der Kalten Fernwärme damit ähnlich hohe Wärmegestellungskosten wie bei herkömmlichen Wärmeversorgungsvarianten. Der Vorteil der kalten Wärmenetze liegt demnach nicht unbedingt im Wärmepreis, sondern im möglicherweise geringeren Risiko, wenn mit niedriger Wärmebelegungsdichte, einer unsicheren Bedarfsstruktur und einer eventuell verzögerten Aufsiedelung gearbeitet werden muss, wie dies typischerweise bei Neubaugebieten der Fall ist.

Modellregion Harbach / Klagenfurt

Die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt coldHEAT können einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der im nachhaltigen Energie Aktionsplan Klagenfurt, sowie dem Energiemasterplan Kärnten definierten Ziele leisten. Das vorliegende Projekt bringt auch Lösungsansätze für übergeordnete strategische Pläne wie dem Aktionsplan für nachhaltige Energie (SEAP) bzw. dem erweiterten Aktionsplan für nachhaltige Energie und Klimaschutz (SECAP), sowie dem Energiemasterplan Kärntens (e-map 2025) und dem Stadtentwicklungskonzept 2020 (STEK 2020) und der derzeit in Ausarbeitung befindlichen Smart City Strategie für die Landeshauptstadt Klagenfurt. Des Weiteren wurde das Sondierungsprojekt SAKS (Hafner, 2018) hinsichtlich des Wohnbauprojektes Klagenfurt-Harbach bei der Konzeptionierung des Wärmeversorgungskonzeptes und des saisonalen Abwärmespeichers unterstützt.

Für diese Modellregion weisen die Ergebnisse darauf hin, dass K-FW hier unter den betrachteten Randbedingungen nur spezifischen Fällen, Sinn machen können. Wird jedoch ein saisonaler Energiespeicher für die Nutzung des Abwärmepotenzials (z.B. KWK aus dem FW-Netz) vorgesehen, ist in jedem Fall, zumindest die Variante VarB (Vorlauftemperatur 60 °C auf der Primärseite) zu wählen. Bei einer derart geringen Vorlauftemperatur im Netz könnte dann auch ein Abwärmepotenzial besser genutzt, oder auch ganz generell erneuerbare Energieträger (z.B. Solarthermie) eingebunden werden.

Modellregion Neustadt / Weiz

Die Stadt Weiz bemüht sich seit Jahren, ihren Namen als Energie- Stadt nicht nur durch ihre Historie als Zentrum der Elektro-Industrie gerecht zu werden, sondern auch durch eine Vielzahl unterschiedlicher Projekte und Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz. Weiz hat sich als Wirtschaftsstandort und als das Zentrum der österreichischen Elektroindustrie, als „Stadt voll Energie“ positioniert. Schon seit Mitte der 90er-Jahre werden hier Energiesparmaßnahmen und Ökostrom- Erzeugung bewusst gefördert und der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern forciert. Gemäß ihres Leitbildes setzt die Stadt Weiz als e5-Gemeinde, auf den weiteren Ausbau der autonomen erneuerbaren Energieversorgung, mit dem Ziel die Nutzung so vieler erneuerbarer Energiequellen wie möglich zu realisieren.

In dem betrachteten Modellgebiet ergibt sich – zum Unterschied von Harbach / Klagenfurt – ein besseres Ergebnis für die Kalte Fernwärme, da aufgrund der geringeren Abnahmedichte der Einfluss der Wärmeverluste deutlicher ausfällt. Dadurch kann ein K-FW Szenario seine Vorteile ausspielen.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Nichts desto trotz zeigen die Ergebnisse jedoch nur ein geringes ökonomisches Verbesserungspotenzial unter den angenommenen Randbedingungen. Auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass ein derartiges Konzept mit einer Nutzung von Abwärme oder erneuerbaren Energieträgern deutlich gewinnen würde.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse zwar Tendenzen erkennen lassen, es aber weiterer Untersuchungen bedarf, um eine gesicherte Basis für zukünftige Planungen und Entscheidungen zu liefern. Vor allem für ein gut organisiertes Demonstrationsprojekt (Einbindung aller beteiligten Stakeholder) im begrenzten Ausmaß (kleines Stadtquartier) können aussagekräftige Ergebnisse erwartet werden. Bei der Auswahl eines derartigen Projektes muss, wie die Ergebnisse zeigen, vor allem auf Abwärmepotenzial, Einbindung erneuerbarer Energieträger, die Abnahmedichte und das Wärmeversorgungskonzept Rücksicht genommen werden. Für eine möglichst hohe CO₂ – Einsparung ist die Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Energieträger von entscheidender Bedeutung.

6 Literaturverzeichnis

- Abteilung Umweltschutz, Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee. 2014.** *SEAP-Bericht, Klagenfurt am Wörthersee.* Klagenfurt : Stadt Klagenfurt, 2014.
- Augustin, Jakob. 2017.** *Technoökonomische Analyse von Haustechniksystemen mit Hilfe des Energieausweises.* Graz, Austria : Bachelorarbeit am Institut für Wärmetechnik der TU Graz, 2017.
- Austrian Standards. 2013.** *Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden - ÖNORM M 7140:2013.* Wien : Austrian Standards International, 2013.
- Austrian Standards Institute. 2011.** *Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, ÖNORM B8110-5:2011.* Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2011.
- Baehr H., Kabelac S. 2016.** *Thermodynamik.* s.l. : Springer Vieweg, 2016.
- Bargel, S. 2010.** *Entwicklung eines exergiebasierten Analysemodells zum umfassenden Technologievergleich von Wärmeversorgungssystemen unter Berücksichtigung des Einflusses einer veränderlichen Außentemperatur.* Bochum : s.n., 2010.
- Bauer, Manuela. 2017.** *BAUER BOOST - Dezentrale Warmwasserwärmepumpen für Ein- und Mehrparteienobjekte.* Hofstetten : Franz Bauer Ges.m.b.H, Haus- und Energietechnik, 2017.
- Bayer, Gerhard, Sturm, Thomas und Hinterseer, Simon. 2011.** *Kennzahlen zum Energieverbrauch .* Wien : s.n., 2011.
- Biberacher, M., et al. 2010.** *Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO2-neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs.* s.l. : Energiesysteme der Zukunft eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2010.
- Castellazzi, B., et al. 2016.** *Energy Supply for Buildings with Focus on Solar Power in the Urban Context – An Interactive Webtool for Citizens.* s.l. : European Geosciences Union General Assembly 2016, EGU Division Energy, Resources & the Environment (ERE), 2016.
- Cooper, J. R. und Dooley, R. B. . 2007.** *Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam.* Lucerne, Switzerland : International Association for the Properties of Water and Steam, 2007.
- Dalenbäck, O.-J. 1993.** *Solar heating with seasonal storage.* Göteborg : Department of Building Service Engineering, Chalmers Tekniska Högskola, 1993. Dissertation.
- Dorfner, Johannes. 2015.** *Open Source Modelling and Optimisation of Energy Infrastructure at Urban Scale.* München : Dissertation an der TU München, 2015.
- Eftring, Bengt und Hellström, Göran. 1989.** *Stratified Storage Temperature Model.* Lund : Uni Lund, 1989. Manuel Trnsys Type 142.
- EQUA. 2017.** IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). [Online] 16. 11 2017. <http://www.equa.se/en/>.
- Giselbrecht, Andreas. 2005.** *Energieeinsatz in Hotelbetrieben.* Wieselburg : s.n., 2005.
- Hadorn, Jean-Christoph, Chuard, Dominique und Chuard, Pierre. 1988.** *Guide to seasonal heat storage.* Zürich : Swiss association of engineers and architects (SIA), 1988.
- Hafner, Wolfgang. 2018.** *Smarte Abwärmenutzung durch Kühlung und Speicherung in Klagenfurt (SAKS).* Klagenfurt : Klima- und Energiefond des Bundes; Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee, Abteilung Umweltschutz, 2018.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Hafner, Wolfgang und et al. 2017.** *Smarte Abwärmenutzung durch Kühlung und Speicherung in Klagenfurt.* Wien : Klima- und Energiefonds, 2017. Endbericht.
- Hierz, Gerhard. 2007.** Fernwärme Weiz GmbH. [Online] 2007. [Zitat vom: 13. 11 2017.] <http://www.fwgweiz.at/>.
- Hierz, Gerhard, Heimrath, Richard und Friess, Tanja. 2017.** *Latentwärmenutzung mit Eisspeicher, Wärmepumpe, Solarthermie und PV-Anlage – Systemevaluierung, Systemoptimierung und Dimensionierungsrichtlinie - HotIceWeiz.* Weiz : FW-Weiz, TU-Graz, W.E.I.Z.; Land Steiermark, 2017.
- Kaufmann, Johann, Graf, Katharina und Maurel, Patrik. 2014.** *Stadtentwicklungskonzept 2020+.* Klagenfurt : Stadt Klagenfurt, 2014.
- Lettner, Fritz. 2018.** Fernwärmevorranggebiete DHFOS-Analyse. <https://www.zt-lettner.at/>. [Online] 23. 01 2018. <https://www.zt-lettner.at/de/kompetenz/44-fernwaermevorranggebiete-dhfos-analyse.html>.
- . **2017.** *Programm zur Berechnung, Optimierung und Potentialbestimmung von Fernwärme.* Graz, Münzbach : ZTL - Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Lettner, 2017.
- Mazzarella, Livio und Holst, Stefan. 1994.** *Multi-Flow stratified Thermal Storage Model with full-mixed Layers.* Stuttgart, Milano : Transsolar, 1994. Type-Beschreibung.
- Meissner, Ernst. 2016.** SAKS Klagenfurt - Vortrag Technische Möglichkeiten Abwärmenutzung und Langzeitspeicherung. *SAKS Klagenfurt Expertenworkshop.* St. Veiter Straße 31, 9020 Klagenfurt : https://www.grazer-ea.at/cms/forschung-und-wissenstransfer/saks-klagenfurt/idart_2224-content.html, 24. 10 2016.
- Meteotest. 2017.** *Meteonorm Version 7.2.* 3012 Bern Schweiz : Meteotest, 2017.
- Nageler, P, et al. 2017.** *Generation tool for automated thermal city modelling.* s.l. : Applied Mechanics and Materials, accepted, 2017.
- Nageler, P., et al. 2017a.** Novel validated method for GIS based automated dynamic urban building energy simulations. *Energy.* 2017a, Bde. 139 (2017) 142-154.
- Nageler, Peter, et al. 2017b.** *Generation Tool for Automated Thermal City Modelling.* Wien : TU Wien, 2017b.
- Neugebauer, Reimund , et al. 2003.** ECBCS Annex 37. *LowEx.Net.* [Online] 2003. [Zitat vom: 4. 12 2017.] <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/annex37/>.
- Ochs, Fabian. 2013.** *Stand der Technik erdvergrabener Wärmespeicher - store4grids.* Innsbruck, Wien : FFG, 2013. Forschungsbericht.
- Österreichisches Institut für Bautechnik. 2015.** *OIB - RICHTLINIE 6 OIB-330.6-009/15.* Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015.
- Peritsch, Manfred. 2006.** *Supermärkte als Energiezentrale.* Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2006.
- Raab, Stefan. 2006.** *Simulation, Wirtschaftlichkeit und Auslegung solar unterstützter Nahwärmesysteme mit Heißwasser-Wärmespeicher.* Stuttgart : Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, 2006. Dissertation.
- Rehbogen, A., et al. in Press.** *Heatswap Integrierter Wärmeplan Zentralraum Salzburg Umsetzungsplanung für die Wärmewende der Energie-Vorzeigeregion Salzburg.* Wien : Klima- und Energiefonds, Österreichische Energieagentur, in Press.
- Riva, Richard und Pink, Werner. 2017.** *Kosteninformationen zum enerboxx-Wandspeicherkonzept.* Altenmarkt : neotec Energiesysteme GmbH, 2017.

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Schmidt , Dietrich. 2011.** ECBCS Annex 49. [Online] 2011. [Zitat vom: 5. 12 2017.] www.annex49.info.
- Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin. 2017.** *A Transient System Simulation Program - Trnsys 17.2.004*. Madison : s.n., 2017.
- Solites. 2016.** [saisonalspeicher.de](http://www.saisonalspeicher.de). [Online] 01. 01 2016. [Zitat vom: 18. 01 2018.] <http://www.saisonalspeicher.de>.
- Sterner, Michael und Stadler, Ingo. 2017.** *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin : Springer Vieweg, 2017.
- Streicher, Wolfgang, et al. 2010.** *Energieautarkie*. Wien : s.n., 2010.
- Töglhofer, C. und al., et. 2009.** *Die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich 2*. Graz : s.n., 2009.
- Wesselak, Viktor, et al. 2013.** *Regenerative Energietechnik*. Berlin Heidelberg : Springer Vieweg, 2013.

7 Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 17 Verzeichnis I der im Endbericht verwendeten Abkürzungen

Kategorie	Abkürzung	Bedeutung
Allg	AG	... Auftraggeber
Allg	AN	... Auftragnehmer
Allg	EP	... Einbindepunkt
Allg	EP	... Einheitspreis
Allg	ERLT	... Elektro- Regelungs- und Leittechnische Anlage
Allg	d.h.	... das heißt
Allg	EG	... Erdgeschoß
Allg	i.d.F.	... in der Folge
Allg	i.d.R.	... in der Regel
Allg	i.e.S.	... im engeren Sinn
Allg	k.	... keine
Allg	KG	... Kellergeschoß
Allg	rd.	... rund
Allg	u.a.	... unter anderem
Allg	OG	... Obergeschoß
Allg	u.v.m.	... und viele(s) mehr
Allg	udgl.	... und dergleichen, und desgleichen
Allg	usw.	... und so weiter
Allg	u.U.	... unter Umständen
Allg	z.B.	... zum Beispiel
Allg	v.v.	... vice versa
Allg	BGF	... Bruttogeschoßfläche
Allg	E & ZFH	... Ein und Zweifamilienhäuser
Allg	MFH	... Mehrfamilienhäuser
Allg	p.a.	... per anno
Allg	SAKS	... Smarte Abwärmenutzung durch Kühlung und Speicherung - Klagenfurt
Allg	SEAP	... Sustainable Energy Action Plan - Klagenfurt
Allg	iSPACE	... RSA Studio iSPACE
Allg	IWT	... Institut für Wärmetechnik der TUG
Allg	ZTL	... Ziviltechnikbüro Fritz Lettner
Allg	Abb	... Abbildung
Allg	NT-FW	... Niedertemperatur Fernwärme (VLT ca. 60-65 °C)
Allg	K-FW	... Kalte Fernwärme (VLT ca. 15-35 °C)
Allg	AGWR	... Adress-, Gebäude- und Wohnungsregister (AGWR) der Statistik Austria
Allg	DHFOS	... District-Heating-Feasibility-and-Optimization-Software - https://zt-lettner.at/
Heizung	HL	... Heizlast
Heizung	HWB	... Heizwärmebedarf entspr. OIB RL 6/2015 (Nutzenergie)
Heizung	WWB	... Warmwasser-Wärmebedarf entspr. OIB RL 6/2015 (Nutzenergie)
Heizung	HEB*	... Heizenergiebedarf entspr. OIB RL 6/2015, jedoch nur thermischer Teil (d.h. ohne Stromanteile)
Heizung	HEB	... Heizenergiebedarf entspr. OIB RL 6/2015
Heizung	HEB*_Verl	... Verluste des sekundären Wärmeabgabesystems
Heizung	HEB_FW*ab	... abgegebene Fernwärme(energie) an Kundenstationen (ohne Stromanteile)
Heizung	HEB_FWUEG*_Verl	... Verluste des Wärmeübertragers (Primärnetz an Sekundärnetz)
Heizung	HEB_FW*zu	... zugeführte Fernwärme(energie) an das Verteilnetz (ohne Stromanteile)
Heizung	BEB*_Verl	... Verluste bei der Bereitstellung des Endenergiebedarfs (Brennstoff)

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Tabelle 18 Verzeichnis II der im Endbericht verwendeten Abkürzungen

Kategorie	Abkürzung	Bedeutung
Heizung	BEB_HEB_FW*Br	... Endenergiebedarf (Brennstoff-) zum Betrieb der thermischen Bereitstellung der Fernwärme (ohne Stromanteile)
Heizung	PEB*_Verl	... Zusätzliche Primärenergieaufwend. (aufgrund Verluste) entsprechend PE-Faktor für die Bereitstellung von Brennstoffenergie zur therm. Konversion
Heizung	PEB*	... aus FWEE*Br resultierender Primärenergiebedarf aufgrund der vorgelagerten Brennstoffbereitstellungsketten entspr. Faktoren OIB RL 6/2015
Heizung	SB_HT_Pu	... Strombedarf der haustechnischen Anlage für Pumpenbetrieb
Heizung	SB_HT_WP	... Strombedarf der haustechnischen Anlage für Wärmepumpenbetrieb (je Gebäude)
Heizung	SB_HT_EP	... Strombedarf der haustechnischen Anlage für Elektropatronen(-heizstab)betrieb
Heizung	SB_HT_WP_Boost	... Strombedarf der haustechnischen Anlage für den dezentralen WP-Booster Betrieb (je Wohnung)
Heizung	SB_HT	... Strombedarf der haustechnischen Anlage (gesamt)
Heizung	SB_FW_Pu	... Strombedarf der fernwärmetechnischen Anlage für Pumpbetrieb
Heizung	SB_FW	... Strombedarf der fernwärmetechnischen Anlage für Pumpbetrieb + Strombedarf der haustechnischen Anlage (gesamt)
Heizung	SB_FW_EB_Verl	... Strombedarf der fernwärmetechnischen Anlage für den Betrieb der Bereitstellieranlage
Heizung	SB_EB	... Strombedarf der Gesamtanlage
Heizung	SB_EE	... Endenergiebedarf (Brennstoff-) zur Bereitstellung von Strom
Heizung	SB_PE_Verl	... Zusätzliche Primärenergieaufwendungen (aufgrund Verluste) entsprechend PE-Faktor für die Bereitstellung von Energie zur Stromerzeugung
Heizung	SB_PE	... aus der Brennstoffenergie zur Strombereitstellung resultierende Primärenergie entspr. Faktoren OIB RL 6/2015
Heizung	PE_(el+th)	... resultierender gesamter Primärenergiebedarf, Summe aus Strom- und Wärmeanteil
Heizung	PWT	... Plattenwärmetauscher
Heizung	RL	... Rücklauf (-strang) Heizung
Heizung	VL	... Vorlauf (-strang) Heizung
Heizung	RLT	... Rücklauftemperatur
Heizung	VLT	... Vorlauftemperatur
Heizung	DS	... Dämmserie für die Fernwärmeleitungen
Heizung	PLT	... PLT - Kunststoffrohrsystem zur Niedertemperatur Anwendung
Heizung	RH	... Raumheizung
Heizung	WW	... Warmwasserbereitung
Heizung	EP	... E-Patrone
Heizung	NT	... Niedertemperatur
Heizung	FUBO	... Fußbodenheizung
Heizung	WB	... Wärmebedarf
Heizung	DHW	... Domestic Hot Water - Warmwasser
Heizung	PVT	... Photovoltaisch-Thermischer Flachkollektor (Hybridabsorber)
HLS	AKH	... Absperrkugelhahn
HLS	KFEH	... Kesselfüll- und Entleerungshahn
HLS	AV	... Absperrung (allg., oder Absperrventil)
Phys	K	... Kelvin (Temperaturskala) ... Temperaturdifferenzen werden in der Physik in K angegeben
Sanitär	ANL	... Anschlussleitung
Sanitär	KW	... Kaltwasser (-strang)
Sanitär	WW	... Trink-Warmwasser (-strang)
Sanitär	ZK	... Zirkulation (-strang) Warmwasser
Energiekonzepte	PV	... Photovoltaik
Verfahren	GIS	... Geographisches Informationssystem
Verfahren	SK	... Sowiesokosten
Verfahren	GP	... Gesamtpreis

Energieforschungsprogramm - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

8 Kontaktdaten

Richard HEIMRATH
(TU Graz - Institut für Wärmetechnik)
Inffeldgasse 25b, 8010 Graz
0316 873 7317

heimrath@tugraz.at
www.iwt.tugraz.at

Kontakt Partner:

Markus BIBERACHER
(Research Studios Austria Forschungsgesellschaft mbH - Research Studio iSPACE)

markus.biberacher@researchstudio.at
ispace.researchstudio.at

Friedrich LETTNER
(Ziviltechniker f. Energie- und Umwelttechnik – Dr. Friedrich Lettner)

friedrich.lettner@zt-lettner.at
www.zt-lettner.at