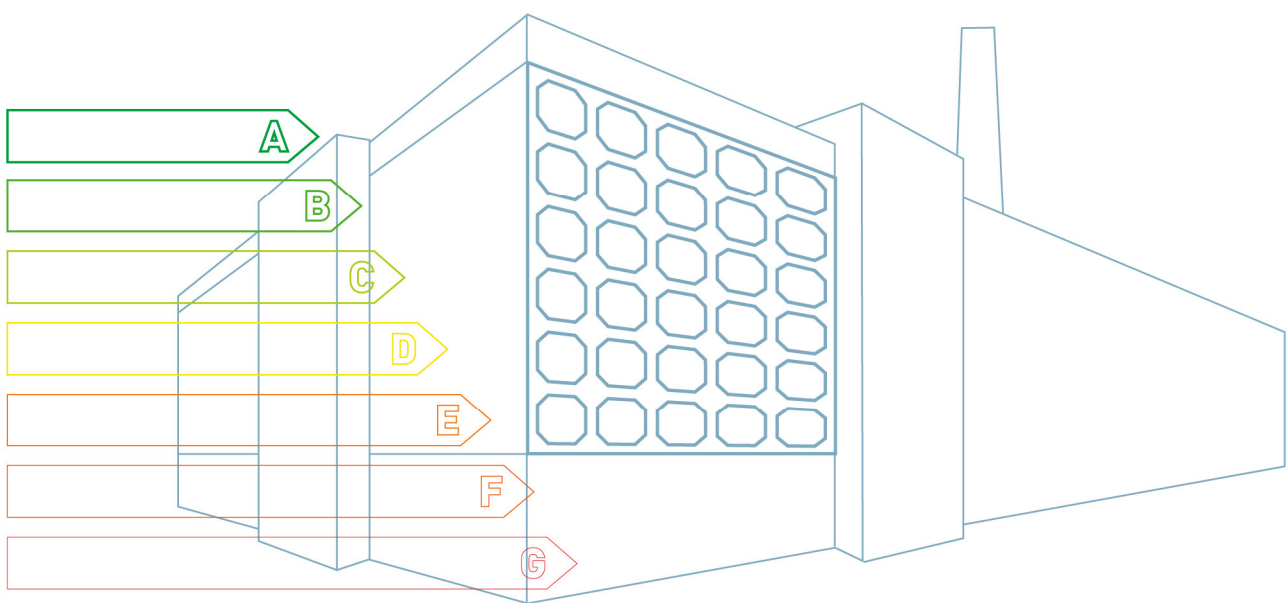




Optimierte Fernwärmenetznutzung und Effizienzsteigerung durch dezentrale Wärmespeicherung



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Optimierte Fernwärmenetznutzung und Effizienzsteigerung durch dezentrale Wärmespeicherung

AutorInnen:

Hermann Unsinn

Hermine Saurwein-Rainer

Reinhard Wilhelmer

Ingwald Obernberger

Erwin Reisenhofer

Martin Tschurtschenthaler

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG

Stadtwärme Lienz Produktions- und Vertriebs-GmbH

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH

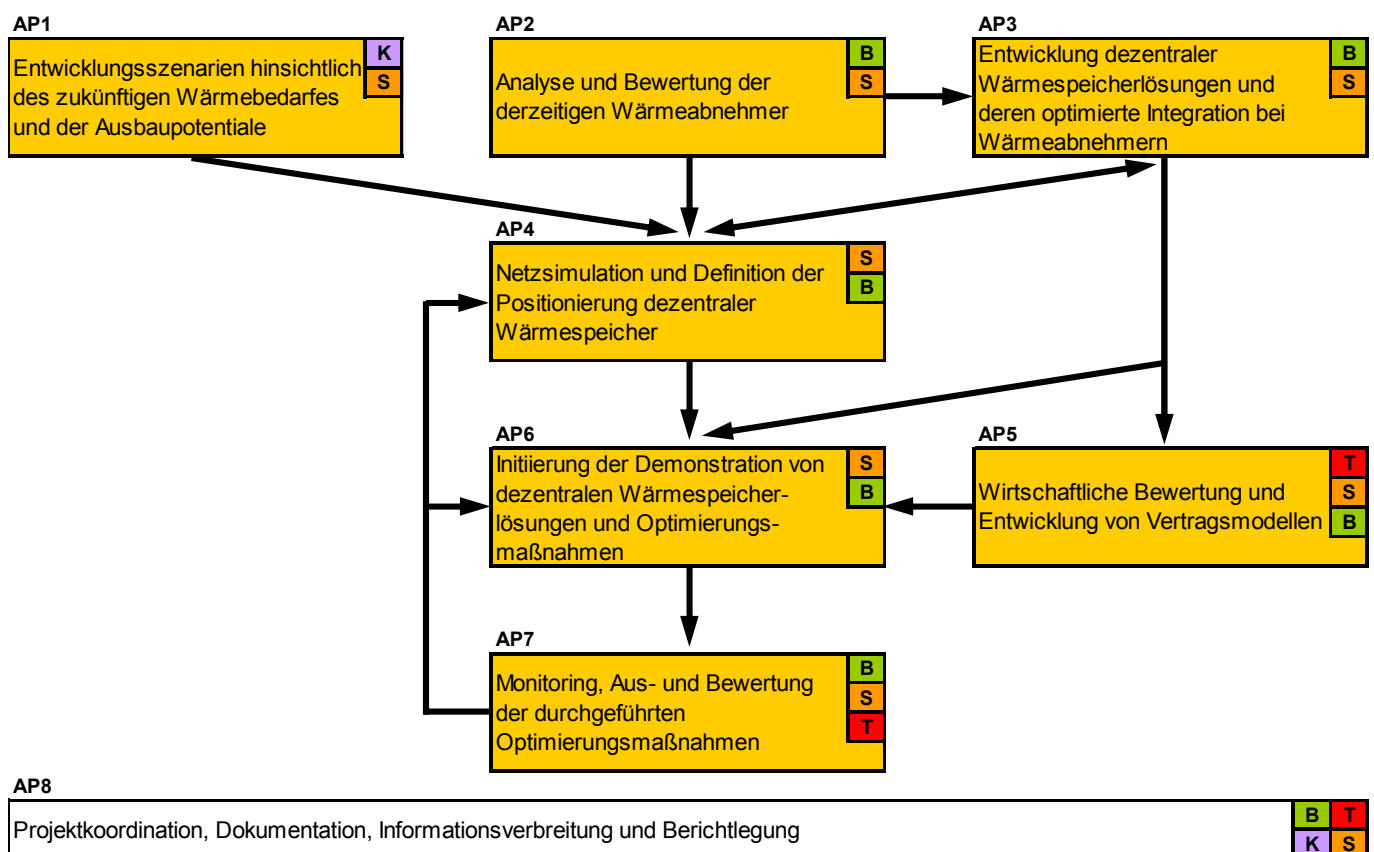
1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	7
3.1	Entwicklungsszenarien hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes und der Ausbaupotentiale (AP1)	7
3.2	Analyse und Bewertung der derzeitigen Wärmeabnehmer (AP2)	7
3.3	Entwicklung dezentraler Wärmespeicherlösungen und deren optimierte Integration bei Wärmeabnehmern (AP3)	10
3.4	Netzsimulation und Definition der Positionierung dezentraler Wärmespeicher (AP4)	11
3.5	Wirtschaftliche Bewertung und Entwicklung von Vertragsmodellen (AP5)	13
3.6	Initiierung der Demonstration von dezentralen Wärmespeicherlösungen und Optimierungsmaßnahmen (AP6)	14
3.7	Monitoring, Aus- und Bewertung der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen (AP7)	17
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
5	Ausblick und Empfehlungen	23
6	Kontaktdaten	29

2 Einleitung

Die TIWAG betreibt an drei Standorten in Österreich Biomasse Fernheizkraftwerke. Beim Standort der Tochtergesellschaft Stadtwärme Lienz musste nach mehrmaliger Kapazitätserweiterung der Wärmeerzeuger und zahlreichen Ausbaustufen des Fernwärmenetzes 2011 ein Anschlussstopp für neue Fernwärmekunden ausgesprochen werden, da das bestehende Fernwärmenetz an seine Kapazitätsgrenze angelangt war.

Um zukünftig wieder neue Fernwärmeabnehmer mit erneuerbaren Energieträgern zu versorgen und Einzelheizungen, welche zum Großteil mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, ersetzen zu können, sollten für das Fernwärmenetz der Stadtwärme Lienz durch einen integrierten Ansatz mittels dezentraler Wärmespeicherung sowie begleitender kundenseitiger Optimierungsmaßnahmen zusätzliche Potentiale hinsichtlich des Anschlusses neuer Fernwärmekunden geschaffen und die Effizienz der Energieversorgung erhöht werden.



TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG
Stadtwärme Lienz Produktions- und Vertriebs-GmbH
BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH

T
S
B
K

Abbildung 1: Übersicht und Zusammenwirken der einzelnen Arbeitspakete

Aufbauend auf einer Bewertung der derzeitigen Abnehmer und der Erstellung eines Entwicklungsszenarios hinsichtlich der langfristigen Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfes sollten dezentrale Wärmespeicherlösungen und Optimierungsmaßnahmen entwickelt und durch Simulationen des Fernwärmenetzes begleitend bewertet werden. Als weitere Basis für die Initiierung der

Demonstration der Maßnahmen sollten Finanzierungs- und Vertragsmodelle für die kundenseitigen Maßnahmen entwickelt werden. Nach der schrittweisen Umsetzung der Maßnahmen sollten diese einem detaillierten Monitoring unterzogen werden.

In dem Projekt sollten somit Werkzeuge, Verfahren und Konzepte (z.B. Auswertungsprogramme, optimierte hydraulische Verschaltungen, auf den Verschaltungen aufbauende Regelungskonzepte, Finanzierungskonzepte,...) zur nachträglichen optimierten Implementierung von dezentralen Wärmespeichern in Fernwärmesysteme sowie Optimierungsmaßnahmen bei Fernwärmekunden entwickelt und im Zuge der Monitoringphase auf Ihre Tauglichkeit hin überprüft und bewertet werden.

Die fertig entwickelten und geprüften Werkzeuge, Verfahren und Konzepte sowie deren Demonstration im Zuge des vorliegenden Projektes stellen eine wichtige Grundlage für deren Verwertung in Folgeprojekten dar. Das Potential dafür in Österreich und Europa ist groß.

In Abbildung 1 ist die Bezeichnung der jeweiligen Arbeitspakete und deren Zusammenwirken ersichtlich.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Entwicklungsszenarien hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes und der Ausbaupotentiale (AP1)

Anhand der Energiedichten und dem derzeitigen Versorgungsgebiet der Stadtwärme Lienz wurden die Grenzen des zukünftigen Versorgungsgebietes festgelegt, um das zukünftige Ausbaupotential und die zukünftige Wärmebedarfsentwicklung auf die relevanten Bereiche eingrenzen zu können (siehe Abbildung 2). Das zukünftige Versorgungsgebiet entspricht im Wesentlichen dem derzeitigen Versorgungsgebiet. Angrenzende Ortsbereiche von Nachbargemeinden weisen im Ortszentrum oft ausreichende Energiedichten auf. Eine Versorgung durch das Netz der Stadtwärme Lienz würde aber aufgrund der erforderlichen Verbindungsleitungen eine zu geringe Wärmebelegung des Netzes ergeben. Im festgelegten Versorgungsgebiet sind aber weiterhin große Ausbaupotentiale vorhanden.

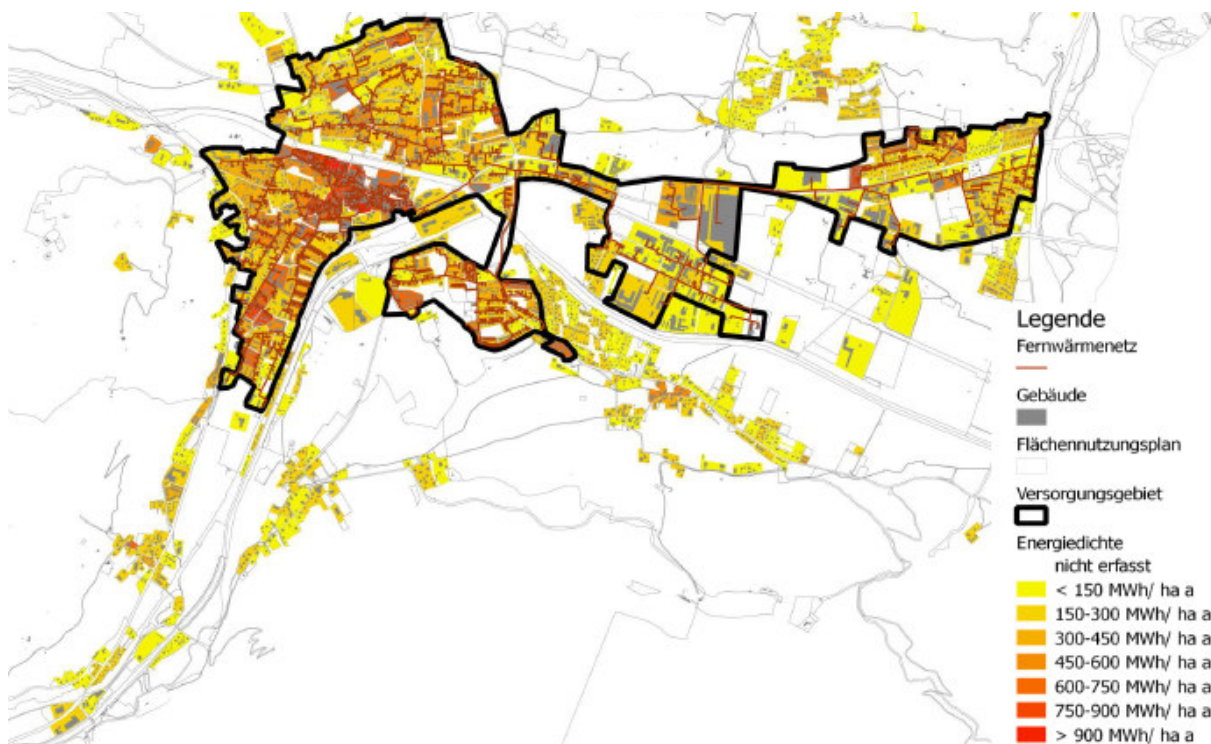


Abbildung 2: Abgrenzung des Fernwärme-Versorgungsgebietes auf Basis der Energiedichte 2020 im Standard-Sanierungsszenario

Ausgehend vom derzeitigen Wärmeabsatz der Stadtwärme Lienz im Ausmaß von rund 60 GWh/a wurde die voraussichtliche Entwicklung des künftigen Wärmeverkaufs der Stadtwärme Lienz auf der Basis unterschiedlicher Zuwächse bei den Neukunden modelliert. Es zeigt sich, dass ohne Neuanschlüsse der Wärmeverkauf durch die Effekte aus thermischer Sanierung merklich abnehmen würde.

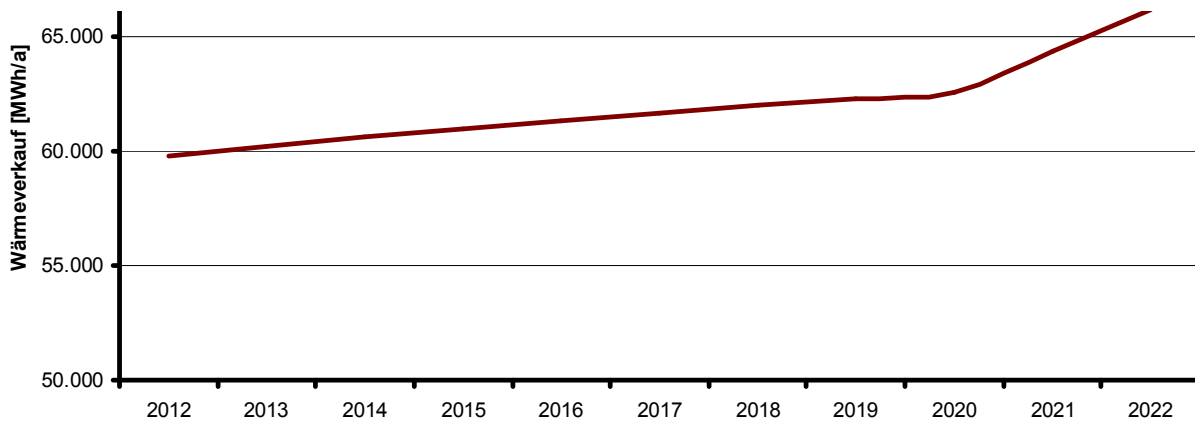


Abbildung 3: Entwicklungsszenario hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes

In Abbildung 3 ist das für die weiteren Jahre zugrunde gelegte Entwicklungsszenario hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes ersichtlich. Das langfristige Ausbauziel der Stadtwärme Linz beträgt rund 1.5 MW Verrechnungsanschlusswert Neukunden pro Jahr. Bei Erreichung dieser Ausbauziele würde sich im Jahr 2022 ein Absatzvolumen von rund 66 GWh ergeben. Der Verlauf des Wärmeverkaufs ergibt sich aufgrund einer hohen Sanierungsquote in den Jahren 2010 bis 2020 (Sanierung der in den 70-iger Jahren gebauten Gebäude). Nach 2020 ist die Sanierungsquote geringer, weshalb dann der Wärmebedarf durch zusätzliche Neuanschlüsse steiler ansteigt.

3.2 Analyse und Bewertung der derzeitigen Wärmeabnehmer (AP2)

Vor der Implementierung von dezentralen Wärmespeichern ist es sinnvoll eine Optimierung der Bestandsanlagen durchzuführen. Um die große Anzahl an Wärmeübergabestationen (ca. 900) effizient auswerten und beurteilen zu können, wurde durch den Projektpartner BIOS eine systematische Vorgangsweise sowie ein Auswertungsprogramm entwickelt. Durch dieses Auswertungsprogramm auf Basis MS-EXCEL ist es möglich nach definierten Optimierungskriterien eine Reihung der Wärmeübergabestationen vorzunehmen, um vorrangig die Wärmeabnehmer mit dem höchsten Optimierungspotential auswählen zu können. Weiters wird für jede Wärmeübergabestation für einen ausgewählten Auswertungszeitraum ein übersichtliches Auswertungsblatt erstellt. Mittels dieses Auswertungsblattes kann man sich einen schnellen Überblick über die Charakteristik des Abnehmers und die Schwachstellen bzw. Optimierungsmöglichkeiten verschaffen.

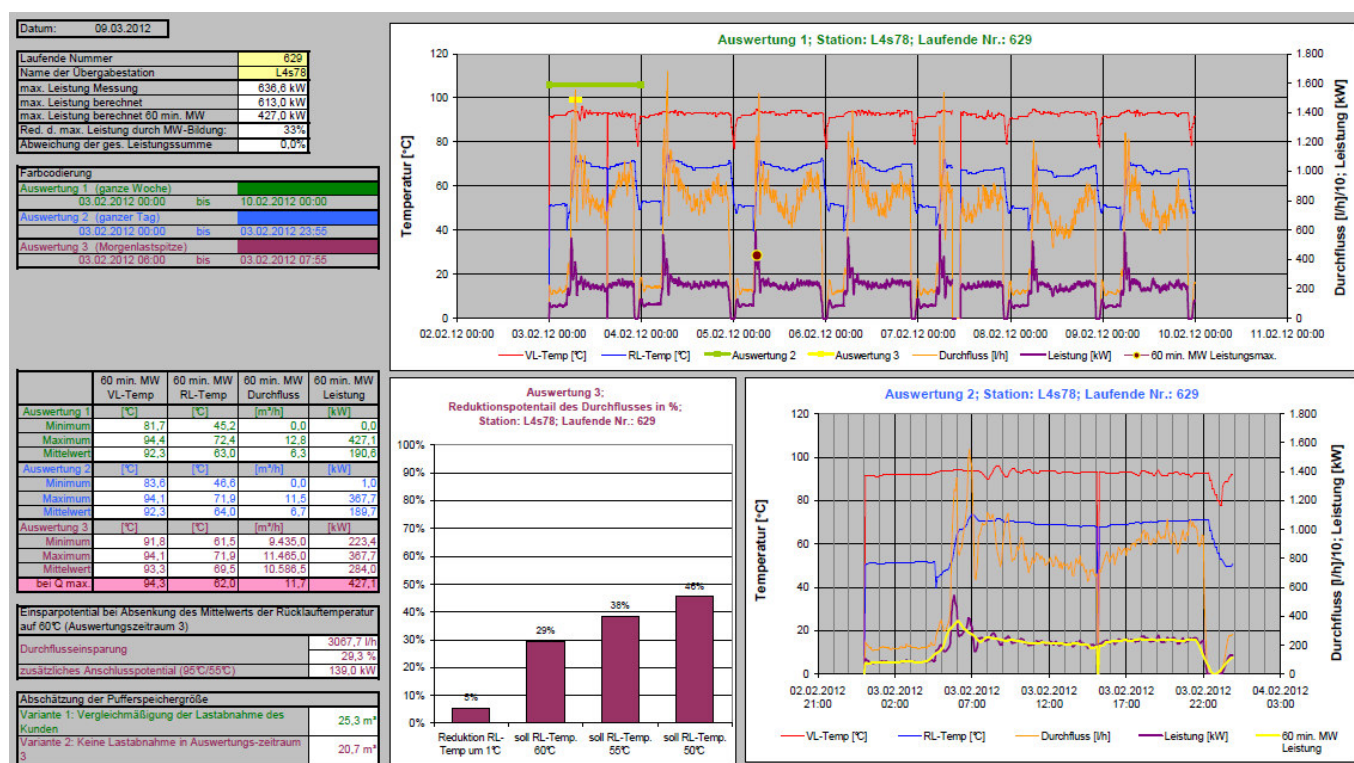
In Tabelle 1 ist eine solche Auswertung der Wärmeübergabestationen für den Betrachtungszeitraum Winter 2012/2013 ersichtlich. In dieser Tabelle sind die ersten 10 von rund 900 Wärmeübergabestationen mit der höchsten Optimierungspriorität ersichtlich.

In Abbildung 3 ist beispielhaft das Auswertungsblatt einer Wärmeübergabestation mit hohem Optimierungspotential dargestellt. Diesem Auswertungsblatt können Basisinformationen, statistische Informationen über die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume (ausgewählte Woche, ausgewählter Tag, Morgenspitze von 6:00 – 8:00 Uhr vom ausgewählten Tag), eine grafische Aufbereitung der Messdaten, eine graphische Aufbereitung von Optimierungspotentialen bei unterschiedlichen Berechnungsansätzen und eine Abschätzung einer sinnvollen Pufferspeichergröße für zwei unterschiedliche Berechnungsansätze entnommen werden.

Tabelle 1: Durch das erarbeitete Auswertungsprogramm automatisch generierte Liste sortiert nach Optimierungspriorität der Wärmeübergabestationen

Erläuterungen: Es sind nur die ersten 10 von insgesamt rund 900 Wärmeübergabestationen dargestellt.

Auswertung Wärmeübergabestationen Winter 2012/ 2013				Auswertungszeitraum:		11.02.2013 06:00		Sortierkriterium:		
						11.02.2013 07:55		Durchflusseinsparung		
Optimierungs-priorität	Name der Übergabe-station (ID)	Leistungs-begrenzung [kW]	Stations-leistung [kW]	RL-Temp Messung	Durchfluss Messung	Leistung Messung	60 min. MW RL-Temp	Durchflusseinsparung bei RL-Temp 60°C gegenüber Betrieb mit MW der RL-Temp.		zusätzliches Anschluss-potential (95/ 55°C)
				Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Maximum			
				[°C]	[l/h]	[kW]	[°C]	[l/h]	[%]	
1	L2s85	820	750	66,9	15.390,0	462,4	67,0	3.204,4	20,8	145,2
2	L3s10	640	750	67,9	12.420,0	350,2	69,2	2.985,9	24,0	135,3
3	L6s37	360	400	70,4	8.439,0	207,9	71,0	2.765,1	32,8	125,3
4	L2s154	720	500	65,5	9.499,5	288,0	67,4	1.610,3	17,0	73,0
5	L6s97	1.000	1.000	62,0	18.592,5	664,0	63,3	1.120,5	6,0	50,8
6	L1s51	400	400	62,8	11.191,0	382,9	63,3	967,4	8,6	43,8
7	L1s84	400	400	63,0	7.762,0	264,1	65,0	707,7	9,1	32,1
8	L6s128	100	100	66,5	2.366,3	70,5	67,0	470,1	19,9	21,3
9	L7s99	29	30	76,2	835,4	12,9	77,1	453,5	54,3	20,5
10	L6s94	125	125	66,8	1.842,4	50,6	67,4	406,5	22,1	18,4



Abbildungung 4: Beispiel eines durch das Auswertungsprogramm automatisch generierten Auswertungsblattes einer Wärmeübergabestation

Mithilfe der Auswertung entsprechend Tabelle 1 können selektiv die Anlagen mit den größten Einspareffekten zuerst optimiert werden, wobei man sich mit den detaillierten Auswertungsblättern

entsprechend Abbildung 4 sofort einen guten Überblick über die Schwachstellen der Anlagen verschaffen kann.

3.3 Entwicklung dezentraler Wärmespeicherlösungen und deren optimierte Integration bei Wärmeabnehmern (AP3)

Bezüglich der Wärmespeicherauslegung und der Wärmespeichereinbindung wurden verschiedene hydraulische Schaltungen und Regelungsstrategien entwickelt und definiert. Die finale hydraulische Verschaltung inkl. der erforderlichen Mess- und regelungstechnischen Komponenten ist in Abbildung 5 ersichtlich. Bezüglich der hydraulischen und regelungstechnischen Lösung wurden verschiedenste Betriebszustände betrachtet. Hierbei zeigte sich, dass in Hinsicht der Teillastfähigkeit der Durchflussregelung auf der Ladeseite des Pufferspeichers hohe Anforderungen bestehen, die durch eine drehzahlgeregelte Ladepumpe nicht gewährleistet werden können. Aus diesem Grund wurde bei der Ladepumpe eine Überstromregelung zur Durchflussregelung gewählt. Bei der hydraulischen Verschaltung bzw. Regelung der sekundärseitigen Wärmeabnehmer ist zu beachten, dass die sekundärseitige Vorlauftemperatur nach dem Pufferspeicher nicht geregelt werden kann. Die erforderliche Vorlauftemperatur muss aus diesem Grund, falls erforderlich, bei den sekundärseitigen Heizkreisen geregelt werden (z.B. durch Beimischschaltung).

Zugehörig zu dieser Verschaltung wurde ein Regelungskonzept erarbeitet und in Form einer regelungstechnischen Beschreibung detailliert festgehalten. Das Regelungskonzept zielt darauf ab, dass der Wärmespeicher zu Beginn der Morgenspitze möglichst voll geladen ist und dann die Ladung des Wärmespeichers abgeschaltet wird. So wird erreicht, dass die Wärmeabnehmer, die mit diesem System ausgerüstet sind, keinen Beitrag zur Morgenspitze leisten und so das Fernwärmenetz optimal entlastet werden kann. Alternativ besteht die Möglichkeit, dass die Ladung des Wärmespeichers zum Zeitraum der Morgenspitze mit einer definierten geringen Last geladen wird (z.B. 1/3 der Nennlast). Dies ist dann sinnvoll, wenn es z.B. aus Platzgründen nicht möglich ist die ideale Wärmespeichergröße zu installieren, die ein komplettes Ausschalten der Ladung zur Morgenspitze ermöglichen würde.

Es gilt aber zu beachten, dass dieses Regelungskonzept nur dann sinnvoll ist, wenn nicht zu viele Wärmeabnehmer mit diesem System ausgerüstet werden, da sonst eine Verschiebung der Lastspitze zu einem anderen Zeitpunkt bewirkt werden würde. Dies ist beim Fernwärme-Netz der Stadtwärme Lienz bzw. auch bei vielen anderen Netzen erfüllt, weil es nicht sinnvoll bzw. erforderlich ist einen Großteil der Wärmekunden umzurüsten.

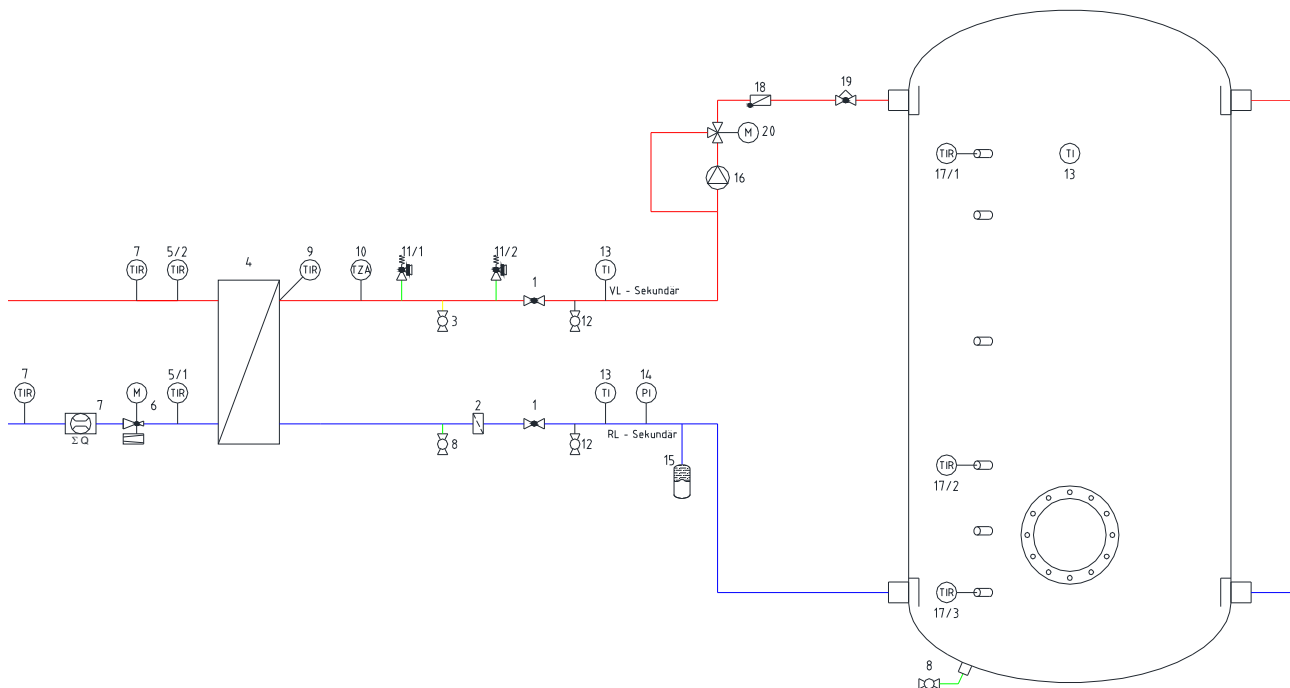


Abbildung 5: Hydraulische Verschaltung der Einbindung dezentraler Wärmespeicher bei Fernwärmekunden

Erläuterungen: 1 Absperrkugelhähne, 2 Schmutzfänger, 3 Entlüftungsventile, 4 Plattenwärmetauscher, 5 Temperaturfühler primär, 6 Kombiventil, 7 Wärmemengenzähler inkl. VL- und RL-Fühler, 8 Entleerungsventil, 9 Vorlauftemperaturfühler sekundär, 10 Sicherheitstemperaturbegrenzer, 11/1 Sicherheitsventil Wärmeübergabestation, 11/2 Sicherheitsventil Hausanlage, 12 Spülanschlüsse, 13 Thermometer, 14 Manometer, 15 Ausdehnungsgefäß, 16 Ladepumpe Pufferspeicher, 17 Temperaturfühler Pufferspeicher, 18 Rückschlagventil, 19 Strangreguliertventil, 20 3-Wege-Ventil

Ein weiteres Ziel war, dass die hydraulische und regelungstechnische Lösung kostengünstig und möglichst einfach sein soll und, wenn möglich, mit dem bestehenden Regler-Lieferanten der Wärmeübergabestationen der Stadtwärme Lienz umsetzbar ist. Der bestehende Regler-Lieferant konnte dazu gewonnen werden, dass er das entwickelte Regelungskonzept in einem Standardregler realisiert. Die Umsetzungsmöglichkeit der entwickelten Maßnahme in der Praxis ist somit gegeben.

Die Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen von Kundenanlagen wurde gemeinsam mit den örtlichen Installateuren durchgeführt. Bei der Bearbeitung wurde entsprechend der in AP2 ermittelten Anlagen mit hoher Optimierungspriorität systematisch vorgegangen. Es wurden in Zusammenarbeit mit örtlichen Installateuren relevante Bestandsanlagen aufgenommen und Optimierungsvorschläge erarbeitet. Die vorgeschlagenen Maßnahmen wurden diskutiert und Maßnahmen, welche im Zuge von AP6 umzusetzen sind, definiert.

3.4 Netzsimulation und Definition der Positionierung dezentraler Wärmespeicher (AP4)

Durch die Simulation des Fernwärmenetzes sollten die Bereiche im Fernwärmenetz definiert werden, in denen dezentrale Wärmespeicher am effektivsten eingesetzt werden können, um den zukünftigen Ausbau des Fernwärmenetzes entsprechend dem voraussichtlichen Entwicklungsszenario zu

ermöglichen. Weiters können die geplanten und umgesetzten Maßnahmen mittels einer Simulation des Netzes bewertet werden.

In Abbildung 6 sind Ergebnisse der Berechnung einer Basisvariante ersichtlich. Die Basisvariante stellt den Referenzfall für die weiteren Projektjahre dar und wurde anhand der Ausbausituation und Netzparameter zu Beginn des Projektes ermittelt. Die kritischen Netzbereiche sind aufgrund der geänderten Farbgebung der Netzabschnitte mit unterschiedlichen Differenzdruckbereichen sofort ersichtlich (siehe Abbildung 6). In diesen Netzbereichen zeigt die Installation von dezentralen Wärmespeichern sowie die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen in Hinsicht der Entlastung des Fernwärmenetzes und der Effizienzsteigerung eine besonders große Wirkung. Prinzipiell führt aber die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen an jeder Stelle des Fernwärmenetzes zu einer Verbesserung der Versorgungssituation.

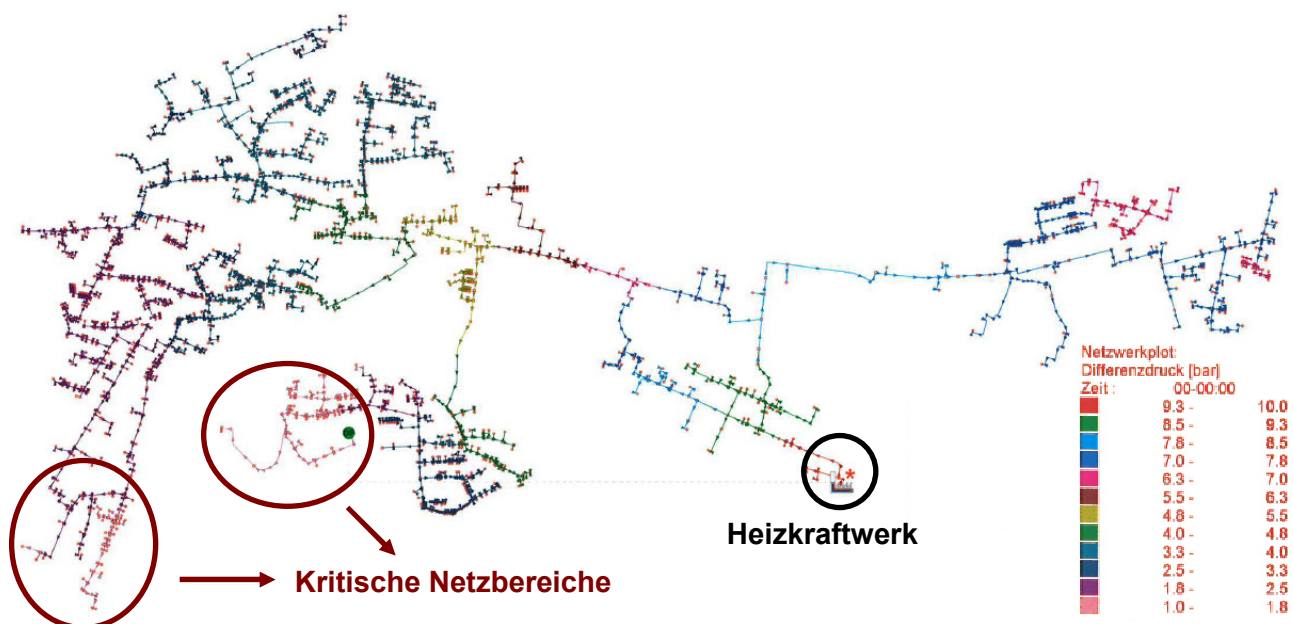


Abbildung 6: Netzberechnung Basisvariante – Darstellung Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf im Fernwärmenetz

Zusätzlich wurde die Versorgungssituation im Jahr 2022 ohne und mit Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen simuliert. Ohne Optimierungsmaßnahmen wäre im Jahr 2022 keine gesicherte Wärmeversorgung mehr möglich gewesen. Der maximal zulässige Druck im Fernwärmenetz wäre überschritten worden und die bestehenden Netzpumpen könnten die Versorgung nicht gewährleisten.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse für das Jahr 2022 mit Berücksichtigung von Optimierungsmaßnahmen ersichtlich. Bei dieser Berechnungsvariante wurde davon ausgegangen, dass durch Optimierungsmaßnahmen eine Reduktion der Rücklauftemperatur um 4°C erzielt werden kann. Aus Abbildung 7 ist ersichtlich, dass der Druck ab Heizwerk mit rund 15 bar kleiner ist als der maximal zulässige Druck von 16 bar. Es zeigt sich somit, dass bereits durch eine Reduktion der Rücklauftemperatur um 4°C eine ausreichende Versorgung gewährleistet werden kann. Zu den Berechnungen ist anzumerken, dass davon ausgegangen wurde, dass der zukünftige Netzausbau gleichmäßig verteilt über das Fernwärmenetz erfolgen wird. Dies konnte auf einfache Weise durch die Anpassung des Gleichzeitigkeitsfaktors simuliert werden. Da derzeit nicht bekannt ist, in welchen

Netzbereichen die zukünftigen Anschlüsse erfolgen werden, ist dieser Ansatz auch zielführend. Der tatsächliche Ausbau kann sich aber von den derzeitigen Annahmen wesentlich unterscheiden, wodurch zukünftig gegebenenfalls Anpassungen bei den Optimierungszielen oder bei den Maßnahmen erforderlich werden könnten.

In weiterer Folge wurden weitere Netzberechnungen mittels Betriebsdaten der Heizperiode 2012/2013 unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Optimierungsmaßnahmen (Reduktion der Rücklauf-temperatur im Fernwärmenetz um 2°C und dadurch Reduktion des Durchflusses im Fernwärmenetz um rund 5% - Monitoring-Ergebnisse siehe AP7) und der aktuellen Ausbausituation durchgeführt. Aus den Berechnungen wurde ersichtlich, dass neue Fernwärmekunden in einem für die Fernwärme-versorgung kritischen Netzbereich angeschlossen wurden. Durch die Netzberechnungen konnte gezeigt werden, dass die Versorgung der Abnehmer in dem kritischen Netzbereich durch einen kurzen Ringschluss (Verbindung einer Fernwärmeleitung mit einer anderen geringer belasteten Fernwärmeleitung) verbessert werden kann. Die ungünstige Positionierung neuer Fernwärme-Abnehmer im kritischen Netzbereich kann hierdurch ausgeglichen werden und die durch die Optimierungsmaßnahmen erzielte verringerte Rücklauf-temperatur und die hierdurch bewirkte Reduktion der erforderlichen Durchflussmengen im Fernwärmenetz führt zu einer Entlastung des Fernwärmenetzes hinsichtlich des zur Wärmeversorgung erforderlichen Differenzdruckes und ermöglicht den Anschluss weiterer Abnehmer.

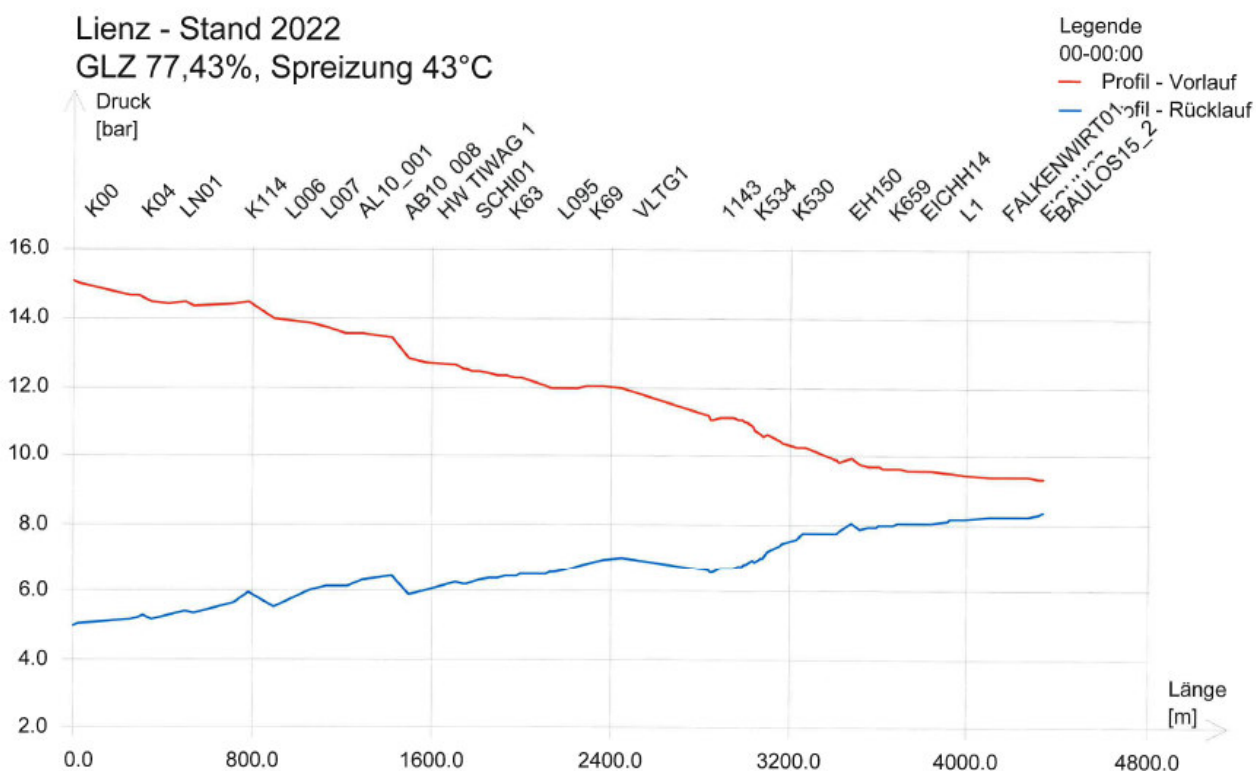


Abbildung 7: Netzberechnung Variante 2022 optimiert

Erläuterungen: Die Abbildung stellt den Druck in der Fernwärme-Vorlaufleitung (rote Linie) und der Fernwärme-Rücklaufleitung (blaue Linie) ausgehend vom Heizkraftwerk (Position 0 m) bis zum kritischen Abnehmer (Position 4.400 m) dar.

3.5 Wirtschaftliche Bewertung und Entwicklung von Vertragsmodellen (AP5)

Bei der Umsetzung der dezentralen Wärmespeicher und der Optimierungsmaßnahmen sind Arbeiten bei den Anlagen der Fernwärmekunden erforderlich. Diese Arbeiten müssen vom Fernwärmekunden beauftragt und von einem Fachunternehmen durchgeführt werden, da sich die Sekundärseite im Kundeneigentum befindet. Aus diesem Grund war es erforderlich Vertragsmodelle zu erarbeiten, um einerseits eine faire Finanzierung dieser Arbeiten zu ermöglichen und andererseits die technischen Rahmenbedingungen der Maßnahmen festzulegen. Erklärtes Ziel ist es, jeweils eine Win-Win-Situation zwischen Fernwärmelieferant und Fernwärmekunde zu schaffen, um die Kundenbeziehung zu stärken und eine positive Stimmung bezüglich der geplanten Effizienzverbesserung zu gewährleisten.

Die „Technische Richtlinie“ des Wärmeliefervertrages wurde komplett überarbeitet. In der neuen technischen Richtlinie finden sich unter Anderem härtere Vorgaben hinsichtlich der Einhaltung von Rücklauftemperaturen (55°C) und Planungshinweise und Ausführungsbestimmungen für die Hausanlage des Kunden mit dem Ziel die geforderten Rücklauftemperaturen erreichen zu können und eine geeignete Ausführung von Anlagen mit Wärmespeichern zu erzielen. Hierbei wird beispielsweise ein Richtwert für die Auslegung der Speichergröße des Wärmespeichers angegeben, die diesbezügliche Regelungsanforderung definiert und eine Standardschaltung bzgl. der Einbindung des Wärmespeichers vorgeschlagen. Zur Einhaltung der Rücklauftemperatur werden verschiedenste Vorgaben und Hinweise bzgl. der Ausführung der Hausanlage vorgegeben und vorgeschlagen. Speziell bei Anlagen mit erhöhtem Warmwasserverbrauch (z.B. Hotels) sind die Hausstationen zur weiteren Optimierung der Betriebsweise in Sonderbauweise mit Wärmetauschern für Restwärmenutzung des Primär-Rücklaufs auszuführen. Für neu errichtete Anlagen soll so sichergestellt werden, dass Hausanlagen mit fernwärmegerechter Ausführung errichtet werden. Die kaufmännischen Bedingungen der Wärmelieferverträge wurden ebenfalls in Hinsicht auf die neue technische Richtlinie angepasst.

3.6 Initiierung der Demonstration von dezentralen Wärmespeicherlösungen und Optimierungsmaßnahmen (AP6)

Aufbauend auf den vorangegangenen Arbeiten sollte die Initiierung der Demonstration von dezentralen Wärmespeichern und sekundärseitigen Optimierungsmaßnahmen bei den ausgewählten Kundenanlagen erfolgen. Ziel war es die Umsetzung der geplanten Maßnahmen gemeinsam mit dem jeweiligen Fernwärmekunden zu beschließen und die Arbeiten fachlich zu begleiten, um eine geeignete Ausführung zu gewährleisten. Durch die umgesetzten Maßnahmen sollte ein zusätzliches Potential von 4.000 kW Anschlussleistung und eine Reduktion der Netzzücklauftemperatur von 2°C pro Jahr erreicht werden. Weiters sollten die spezifischen Wärmeverluste vom Fernwärmenetz ($\text{kWh}_{\text{Wärmeverluste}}/\text{kWh}_{\text{Wärmeerzeugung}}$) sowie die spezifische Pumpenergie der Fernwärmenetzpumpen ($\text{kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$) um 5 - 10% reduziert werden. Aufgrund der Maßnahmen sollte der derzeitige Anschlussstopp der Fernwärmekunden bereits im Jahr 2012 wieder aufgehoben werden können.

Die Installation und Inbetriebnahme der ersten dezentralen Wärmespeicheranlage entsprechend der in AP3 getroffenen Konzeption erfolgte nach der Heizsaison 2012/2013. In Abbildung 8 ist die neu errichtete dezentrale Wärmespeicheranlage ersichtlich. Die Anlage wurde bei einem ausgewählten

Abnehmer errichtet. Es wurde entschieden vorerst nur eine Anlage zu installieren, da es sich um einen Prototyp handelt und das System vor der Errichtung weiterer Anlagen zuerst getestet, optimiert und bewertet werden soll.

Weiters wurden bei verschiedenen Hausanlagen Optimierungsarbeiten durchgeführt. Die Anlagen mit dem größten Optimierungspotential wurden mittels des Auswertungsprogramms entsprechend AP2 eruiert und vorausgewertet. Die Optimierungsmaßnahmen wurden an den jeweiligen Fall angepasst. Als wichtige im Projekt zur Anwendung gekommen Optimierungsmaßnahmen können

- das Einregulierung diverser Umwälzpumpen und Ventile,
- die Beseitigung von Kurzschlüssen,
- des Einstellen der Regelung der Kundenanlage,
- die Entnahme von Wasserproben,
- der Aufbau externer Datenlogger zur genaueren Systemanalyse,
- die Reinigung sekundärseitiger Schmutzfänger,
- die Reinigung bzw. der Tausch von Wärmetauschern,
- der Einbau zusätzlicher Regelventile,
- und die Vergrößerung von Heizflächen

genannt werden.



Abbildung 8: Neu errichtete dezentrale Wärmespeicherlösung bei ausgewählten Abnehmer

Erläuterungen: Linke Seite: Pufferspeicher und Wärmeübergabestation

Rechte Seite: Wärmeübergabestation mit Wärmemengenzähler

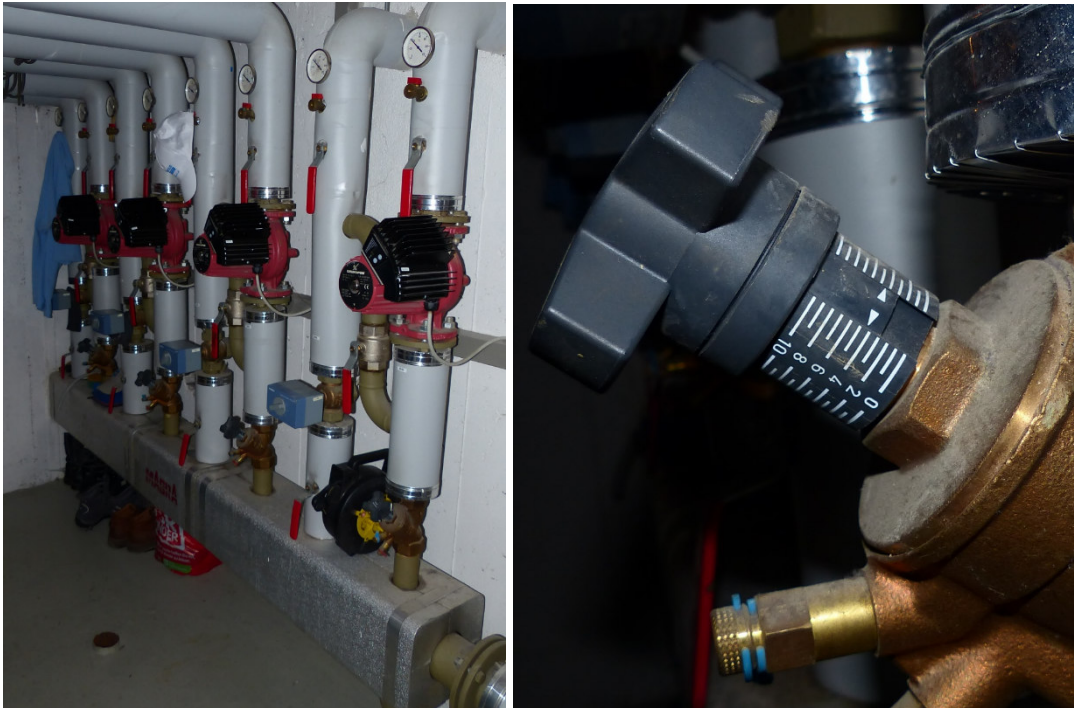


Abbildung 9: Verringerung der Rücklauftemperatur durch Einregulieren der Hausanlage

Erläuterungen: Linke Seite: Heizungsverteiler mit Pumpen

Rechte Seite: Strangregulierungsventil

Vor der Umsetzung der Maßnahmen wurden mit den betroffenen Fernwärmekunden unter Einbindung der zuständigen Haustechnikplaner und Installateure Gespräche geführt, um eine einvernehmliche, effektive und an die jeweiligen Bedürfnisse abgestimmte Vorgehensweise zu ermöglichen. Hierdurch konnte auch die Kundenbeziehung gestärkt und die Informationsweitergabe hinsichtlich fernwärmegerechter Ausführung von Hausinstallationen an Haustechnikplaner und Installateure gewährleistet werden.

Oft konnten schon mit relativ geringem Aufwand (Einregulieren der Anlage) wichtige Erfolge erzielt werden. Die Fotos entsprechend Abbildung 9 zeigen beispielsweise eine Hausanlage bei der durch das Einregulieren der Heizkreise (Einstellen Pumpen, Einregeln mittels Strangregulierungsventilen) die Rücklauftemperaturen deutlich gesenkt werden konnten.

Weiters hat sich gezeigt, dass eine häufige Fehlerursache in der mangelhaften Qualität des Heizungswassers in der Hausanlage liegt. Hierdurch kann es zur Verschmutzung und schlechterer Wärmeübertragung auf der Sekundärseite des Wärmetauschers der Wärmeübergabestation kommen. Die Fotos entsprechend Abbildung 10 zeigen beispielsweise eine Hausanlage bei der nachträglich ein Schmutzfänger mit Magnetabscheider eingebaut wurde. Bei dieser Anlage wurden weiters auch Wasserproben entnommen, der Wärmetauscher der Wärmeübergabestation getauscht und das System gespült und neu befüllt.



Abbildung 10: Verringerung der Rücklauftemperatur durch bessere Wasserqualität

Erläuterungen: Linke Seite: Heizungsverteiler mit nachträglich eingebautem Schmutzfänger mit Magnetabscheider

Rechte Seite: Magnetabscheider mit abgeschiedenen metallischen Partikeln

Bei anderen Anlagen waren genauere Untersuchungen und größere Umbaumaßnahmen erforderlich. Bei der Wärmeübergabestation entsprechend Abbildung 11 wurde aufgrund der komplexen sekundärseitigen hydraulischen Anlage ein externer Datenlogger installiert um die Ursache für hohe Rücklauftemperaturen besser eruieren zu können und das Einregulieren der Anlage zu erleichtern. Aufgrund schlechte Wasserqualität in der sekundärseitigen Anlage wurde der Fernwärmetauscher verschmutzt, weshalb dieser getauscht werden musste.



Abbildung 11: Größere Umbaumaßnahmen bei einer Wärmeübergabestation

Erläuterungen: Linke Seite: Installation Datenlogger

Rechte Seite: Austausch Fernwärmetauscher

3.7 Monitoring, Aus- und Bewertung der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen (AP7)

Es wurden einerseits die Betriebsdaten der Wärmeübergabestationen und andererseits die wesentlichen Betriebsdaten der Wärmeerzeugungsanlage im BM-Heizkraftwerk Lienz ausgewertet und mit den Daten aus den vorangegangenen Projektjahren verglichen.

Die Auswertung der Wärmeübergabestationen wurde für alle rund 900 Wärmeübergabestationen in allen drei Projektjahren durchgeführt und erfolgte mit dem im Rahmen des Projektes in AP2 entwickelten Auswertungsprogramm. Ergebnisse der Auswertung einer Wärmeübergabestation sind beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt. Bei Vergleich der Auswertungen verschiedener Wärmeübergabestationen vor und nach der Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen zeigt sich, dass eine signifikante Reduktion der Rücklauftemperatur der optimierten Anlagen erzielt werden konnte.

In Tabelle 1 ist eine durch das Auswertungsprogramm automatisch generierte Liste von nach Optimierungspriorität gereihten Wärmeübergabestationen für den Winter 2012/2013 dargestellt. Diese Auswertungen wurden ebenso für den Winter 2011/2012 und 2013/2014 durchgeführt. Bei Vergleich der Auswertungen zeigt sich, dass deutliche Verbesserungen erzielt werden konnten. Die Rücklauftemperaturen der schlechtesten Stationen bzw. die Potentiale für weitere Optimierungen sind gesunken. Weiters hat sich gezeigt, dass eine periodische Auswertung sinnvoll ist, da aufgrund diverser Ursachen (z.B. Verstellung bei Regelung oder Hydraulik durch den Kunden) bei verschiedenen Wärmeübergabestationen neuer Optimierungsbedarf entsteht.

Die Installation und Inbetriebnahme der ersten dezentralen Wärmespeicheranlage erfolgte nach der Heizsaison 2012/2013. Anschließend wurden die Betriebsdaten dieser Wärmeübergabestation mehrfach ausgewertet, regelungstechnische Probleme beseitigt und Betriebsparameter schrittweise optimiert. In Abbildung 12 ist ein Visualisierungsausdruck wesentlicher Betriebsdaten der Wärmeübergabestation mit Wärmespeicher dargestellt. Anhand der Auswertung ist ersichtlich, dass die dezentrale Wärmespeicheranlage und deren zugehörige Regelung plangemäß funktioniert. Während der Lastspitzen zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr wird keine Leistung aufgenommen. Diese Anlage belastet das Fernwärmenetz in der für die Auslegung des Netzes beschränkenden Lastphase nicht zusätzlich. Es wurde aber auch ein prinzipieller Nachteil von diesem System ersichtlich. In Phasen in denen der Pufferspeicher geladen wird erfolgt dies mit hoher Leistung (in der Regel Nennleistung der Anlage) um eine Unterversorgung der Anlage zu vermeiden und mit hoher sekundärseitiger Vorlauftemperatur um den Wärmespeicher möglichst gut auszunutzen und um sicherzustellen, dass bei der Entladung des Wärmespeichers zu einem späteren Zeitpunkt eine ausreichende sekundärseitige Vorlauftemperatur zur Verfügung gestellt werden kann. Bei Wärmeübergabestationen ohne Wärmespeicher wird im Gegensatz zu der ausgeführten Station mit Wärmespeicher die thermische Leistung an den momentanen Verbrauch und die sekundärseitige Vorlauftemperatur an die momentanen Anforderungen angepasst (z.B. momentane Außentemperatur oder nächtliche Temperaturabsenkung, Temperaturerhöhung aufgrund Boilerladung). Dies führt dazu, dass eine Wärmeübergabestation mit Wärmespeicher im Vergleich zu einer Wärmeübergabestation ohne Wärmespeicher eine signifikant höherer primärseitige Rücklauftemperatur aufweisen wird. Eine weitere Erhöhung der primärseitigen Rücklauftemperatur kann durch Rückmischung von Vorlaufwasser zu Rücklaufwasser z.B. bei Durchladung des Wärmespeichers und nicht perfekter Schichtung im Wärmespeicher verursacht werden.

Weiters wurden wesentliche Betriebsdaten der Wärmeerzeugungsanlage im BM-Heizkraftwerk Linz erhoben und ausgewertet. Die Untersuchungen zeigen, dass durch die bisher umgesetzten Optimierungsmaßnahmen bereits eine deutliche Reduktion der Rücklauftemperatur erreicht werden konnte. In Abbildung 13 sind die Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz bei Eintritt in das Heizkraftwerk für die kältesten Tage im Winter 2011/2012 (Oben links), im Winter 2012/2013 (Oben rechts) und im Winter 2013/2014 (Unten) dargestellt.

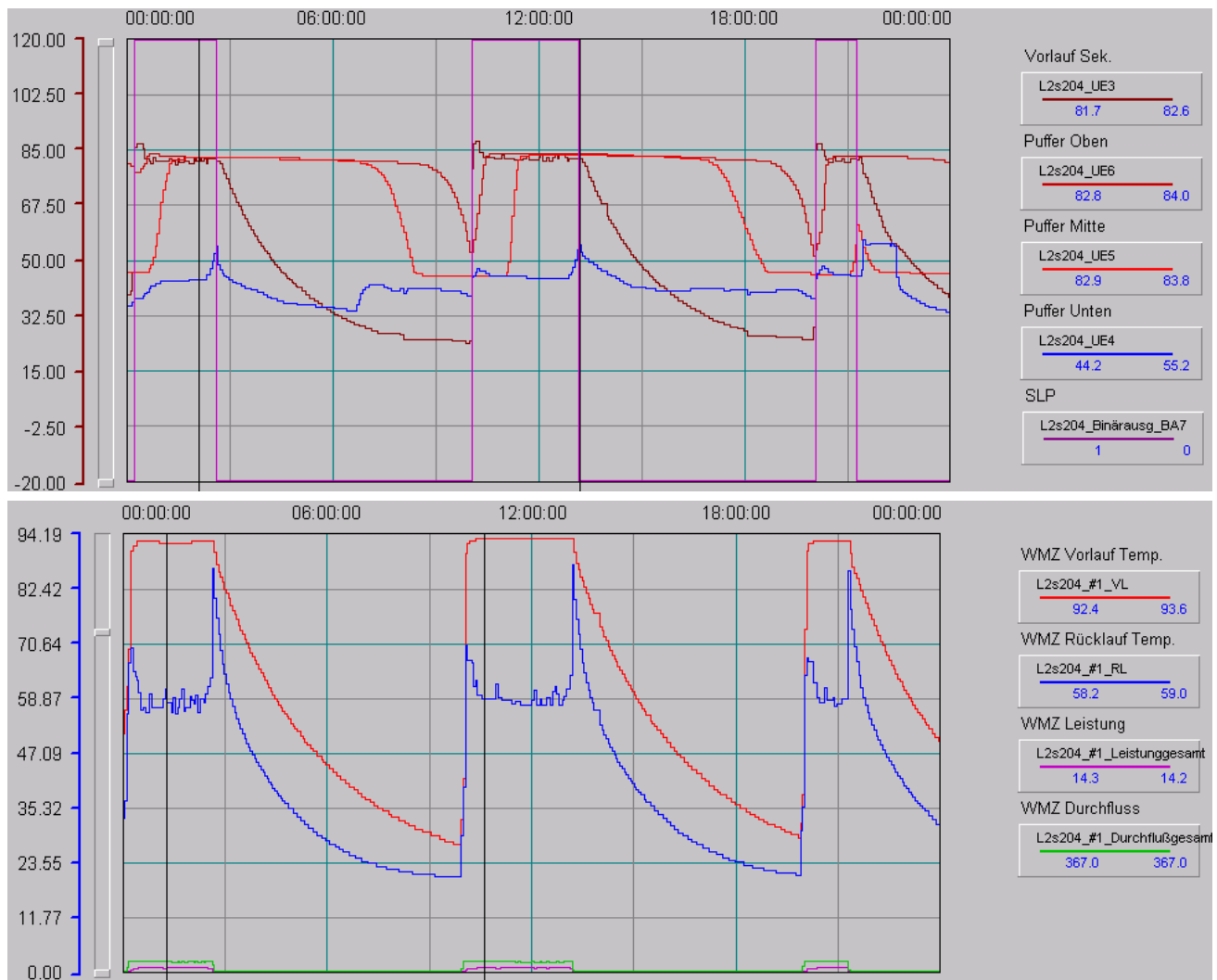


Abbildung 12: Visualisierungsausdruck von Betriebsdaten der Wärmeübergabestation mit Wärmespeicher

Erläuterungen: Bild oben: Linke Skala ist Temperaturskala in °C; Vorlauf Sek. = Eintrittstemperatur Pufferladung; SLP = Binärer Ausgang welches Pufferladung signalisiert; 1 = Ladung, 0 = keine Ladung)
Bild unten: Linke Skala ist Temperaturskala in °C; Wärmemengenzähler (WMZ) befindet sich auf der Primärseite; Leistung in kW, Durchfluss in l/h

Zum Zeitpunkt der höchsten Lastspitze hat sich im Winter 2011/2012 eine max. Rücklauftemperatur von rund 57°C ergeben. Im Winter 2012/2013 hat sich bei den höchsten Lastspitzen eine Rücklauftemperatur von rund 55°C ergeben. Als durchschnittliche Rücklauftemperatur über den Betrachtungszeitraum der höchsten Lastspitzen entsprechend Abbildung 13 ergibt sich für den Winter 2011/2012 eine Rücklauftemperatur von 56,8°C bzw. für den Winter 2012/2013 von 54,3°C.

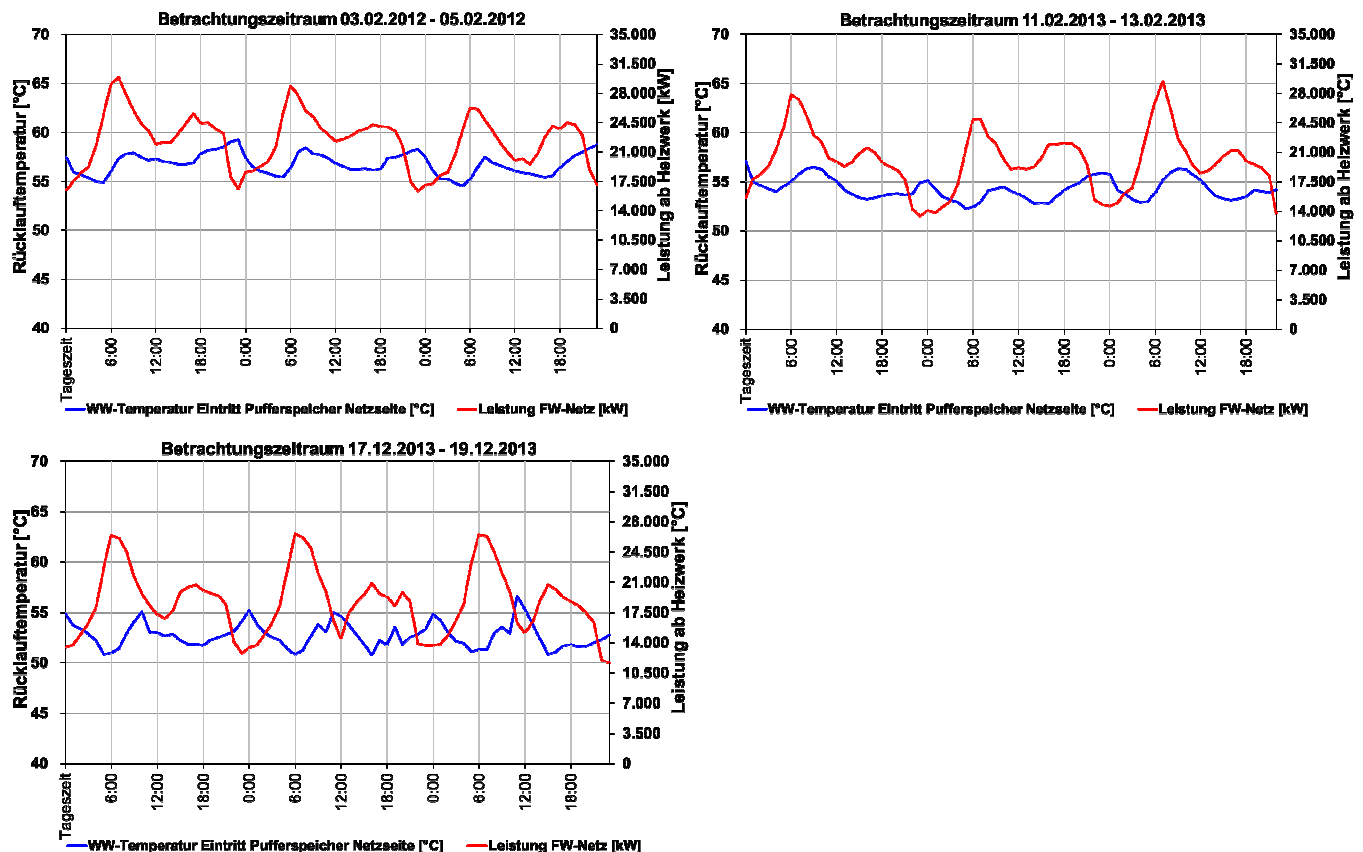


Abbildung 13: Rücklauftemperatur - Fernwärmenetz Lienz

Erläuterungen: Oben links: Kälteste Tage Heizsaison 2011/2012; Oben rechts: Kälteste Tage Heizsaison 2012/2013; Unten: Kälteste Tage Heizsaison 2013/2014

Die Datenauswertung der kältesten Tage im Winter 2013/2014 ergeben bei den höchsten Lastspitzen eine Rücklauftemperatur von rund 52°C bzw. eine durchschnittliche Rücklauftemperatur von 52,7°C. **Das selbst gesetzte Ziel der Senkung der Rücklauftemperatur von 2°C pro Jahr konnte somit erreicht werden. Eine Reduktion der Rücklauftemperatur von in Summe rund 4°C ermöglicht beim Biomasse-Heizkraftwerk Lienz eine Erhöhung der Heizleistung um rund 3,4 MW und den Anschluss von zusätzlichen Wärmeabnehmern mit einem Verrechnungsanschlusswert von rund 4,8 MW. Das selbst gesetzte Ziel von der Schaffung von einem zusätzlichen Anschlusspotential von 4 MW während der Projektlaufzeit konnte somit übertroffen werden.** Tatsächlich konnten während der Projektlaufzeit neue Fernwärmekunden mit einem Verrechnungsanschlusswert von ca. 1,7 MW im Jahr 2012, bzw. ca. 1,3 MW im Jahr 2013 bzw. ca. 0,8 MW im Jahr 2014 an das Fernwärmenetz angeschlossen werden.

Weiters wurde untersucht, ob die theoretisch zu erwartende Entlastung der Netzpumpen durch die Reduktion der Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz auch durch die tatsächlichen Messdaten der Drehzahlen der Fernwärmenetzpumpen verifiziert werden kann. In Abbildung 14 sind die Drehzahlen der relevanten Fernwärmenetzpumpen für die kältesten Tage im Winter 2011/2012 (Oben links), im Winter 2012/2013 (Oben rechts) und im Winter 2013/2014 (Unten) dargestellt. Anhand der Messdaten ist ersichtlich, dass im Winter 2012/2013 trotz zusätzlicher Abnehmer im Fernwärmenetz die Netzpumpen geringer belastet sind als im Winter 2011/2012. Die Datenauswertungen vom Winter 2013/2014 bestätigen diesen Trend und zeigen eine weitere Entlastung der Netzpumpen. Die Entlastung der

Netzpumpen kann auf die Reduktion der Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz (größere Temperaturspreizung und somit verminderter erforderlicher Durchfluss) zurückgeführt werden.

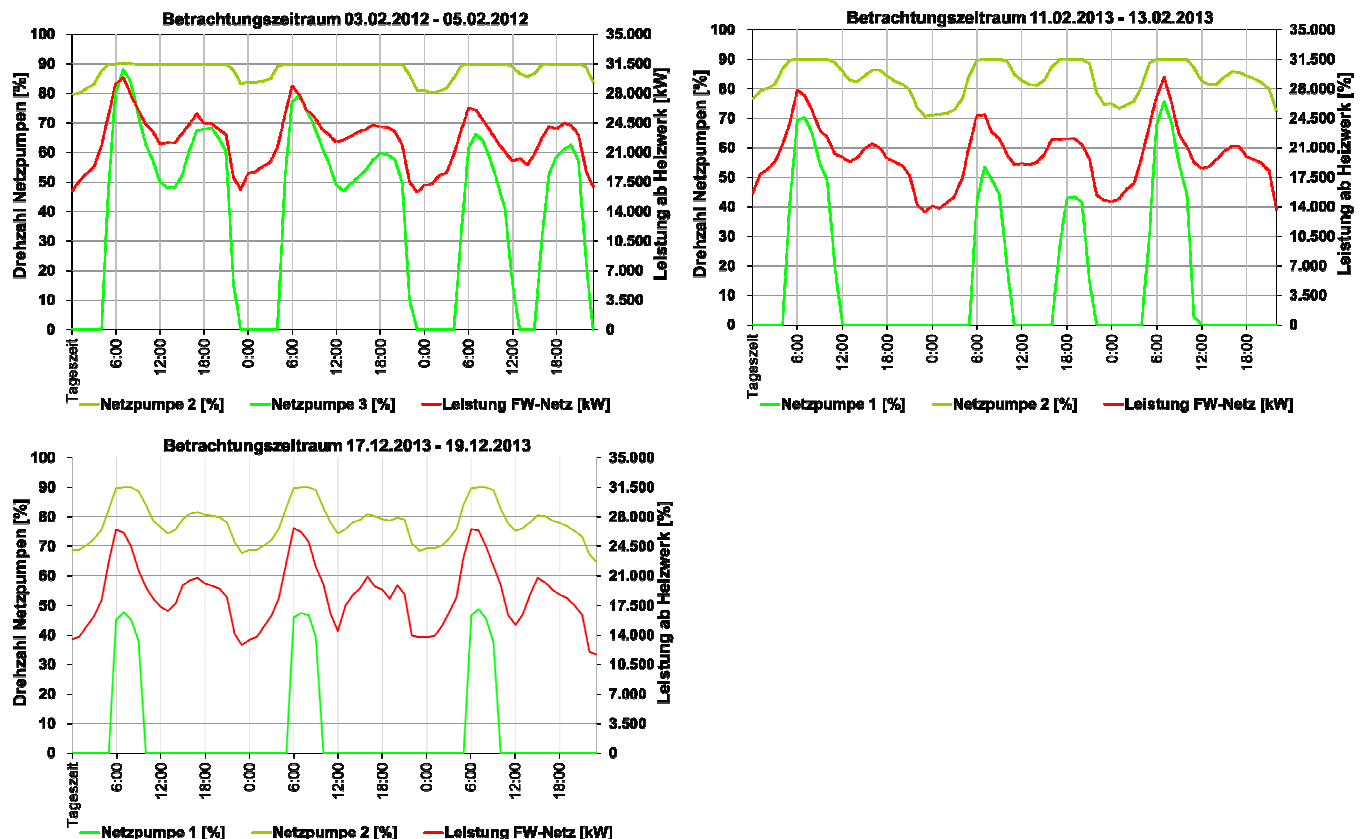


Abbildung 14: Drehzahlen der Netzpumpen - Fernwärmenetz Lienz

Erläuterungen: Oben links: Kälteste Tage Heizsaison 2011/2012; Oben rechts: Kälteste Tage Heizsaison 2012/2013; Unten: Kälteste Tage Heizsaison 2013/2014

Die Reduktion der Rücklauftemperatur bringt den Vorteil, dass die spezifischen Wärmeverluste im Fernwärmenetz in $\text{kWh}_{\text{Wärmeverluste}}/\text{kWh}_{\text{Wärmeerzeugung}}$ und der spezifische Stromverbrauch der Fernwärmenetzpumpen in $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$ verringert werden können. Weiters werden verbesserte Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung und somit zur Effizienzsteigerung geschaffen.

Die Reduktion der spezifischen Wärmeverluste im Fernwärmenetz ergibt sich vorwiegend durch die Möglichkeit der Erhöhung der Auslastung des bestehenden Fernwärmenetzes aufgrund der Verringerung der Rücklauftemperatur. **Durch die Reduktion der Rücklauftemperatur um 4°C kann bei den in Lienz gegebenen Rahmenbedingungen die übertragene Wärmemenge um rund 10% erhöht und die spezifischen Wärmeverluste bezogen auf das bestehende Fernwärmenetz theoretisch um rund 10% gesenkt werden.** Um den Wärmebedarf im Fernwärmenetz zu steigen und um den sinkenden Wärmebedarf durch die Sanierung von Altbauten auszugleichen, müssen neue Fernwärmekunden an das Fernwärmenetz angeschlossen werden. Abhängig von den hierfür erforderlichen Anschlussleitungen erhöhen sich aber die Verluste im Fernwärmenetz und ändern sich auch die spezifischen Wärmeverluste im Fernwärmenetz. Wenn aber keine Optimierungs- und Ausbaumaßnahmen ergriffen werden, würde es durch den sinkenden Wärmebedarf durch die Sanierung von Altbauten zu einem kontinuierlichen Anstieg der spezifischen Wärmeverluste im Fernwärmenetz kommen. Beim Vergleich der Betriebsdatenauswertung vom Jahr 2011 bzw. 2013 zeigt sich eine

Reduktion der spezifischen Wärmeverluste beim Fernwärmenetz Lienz von 17,73% auf 17,17%. Dies entspricht einer Reduktion um rund 3%.

Die Reduktion des spezifischen Stromverbrauchs der Fernwärmenetzpumpen ergibt sich aufgrund der größeren Temperaturspreizung durch die Reduktion der Rücklauftemperatur und des hiermit verminderten erforderlicher Durchflusses im Fernwärmenetz. Da weiters der Druckverlust im Fernwärmenetz mit etwa dem Quadrat zum Durchfluss zunimmt **ergibt sich durch eine Reduktion der Rücklauftemperatur um 4°C eine Reduktion vom spezifischen Stromverbrauch der Fernwärmenetzpumpen bei gleicher übertragener Wärmeleistung um ca. 25%.**

Der Ölverbrauch der Spitzenlastkessel hat sich im Projektzeitraum deutlich verändert. Dieser betrug im Jahr 2011 rund 241.000 l, im Jahr 2012 rund 145.000 l und im Jahr 2013 rund 178.000 l. Der Ölanteil an der Wärmeversorgung beträgt demnach rund 2% - 3% an der gesamten Wärmeerzeugung. Die Änderungen sind vorwiegend durch Witterungsverhältnisse sowie Störungen und Umbaumaßnahmen bei den Biomassefeuerungen bedingt und sind nicht auf die in diesem Projekt durchgeführten Arbeiten zurückzuführen.

Auf den Jahresnutzungsgrad der Feuerungsanlagen haben die Optimierungsmaßnahmen im Fernwärmenetz nur einen geringen Einfluss, da die derzeit bei den Biomasse-KWK-Anlagen vorgesehenen Wärmerückgewinnungsanlagen durch die Verringerung der Rücklauftemperatur nicht beeinflusst werden. Dies kann sich aber in Zukunft gravierend ändern, wenn gegebenenfalls zusätzliche Wärmerückgewinnungsanlagen vorgesehen werden (z.B. Niedertemperatur-ECO oder Rauchgaskondensationsanlage). In diesem Fall führt eine Reduktion der Rücklauftemperatur zu einer gravierenden Verbesserung des Jahresnutzungsgrads der Feuerungsanlagen.

Die Stromerzeugung der Biomasse-KWK-Anlagen hat sich im Projektzeitraum nur geringfügig verändert. Diese betrug im Jahr 2011 sowie im Jahr 2012 rund 8.1 GWh und im Jahr rund 8.3 GWh. Die Stromproduktion wurde durch die in diesem Projekt durchgeführten Arbeiten kaum beeinflusst.

Der Großteil der CO₂-Einsparungen bei diesem Projekt wird durch die Ermöglichung des Anschlusses neuer Fernwärmekunden erzielt, welche ansonsten vorwiegend Heizöl EL als Brennstoff einsetzen würden. Während der **Projektlaufzeit konnten in Summe Fernwärmekunden mit einem Verrechnungsanschlusswert von rund 3,8 MW an das Fernwärmenetz angeschlossen werden. Unter Berücksichtigung von 1.400 Jahresvolllaststunden der Heizungsanlagen und eines Jahresnutzungsgrades der Ölheizungen von 75% ergibt sich eine Einsparung von Heizöl EL von rund 725.000 l/a und eine CO₂ Einsparung von rund 1.900 t/a.** Weitere CO₂ Einsparungen ergeben sich durch den verringerten Stromverbrauch durch die Fernwärmenetzpumpen, durch die noch nicht genutzten zusätzlich geschaffenen Potentiale für den Anschluss zusätzlicher Fernwärmekunden (rund 1 MW VAW) und durch die noch nicht genutzten geschaffenen Potentiale zu Verbesserung des Jahresnutzungsgrads der Anlagen mittels Wärmerückgewinnungsanlagen.

Aus wirtschaftlicher Sicht können die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen eindeutig positiv bewertet werden. Aufgrund der im Projekt geschaffenen Tools und der Systematik ist eine jährliche Überprüfung der Wärmeübergabestationen hinsichtlich Optimierungspotentialen mit einem relativ geringen Aufwand verbunden. Die Kosten für die Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen sind oft gering, da meist nur Einstellungsänderungen bei der Regelung und der Hydraulik bzw. Wartungsarbeiten vorgenommen werden müssen. Wenn bei einem Fernwärmekunden größere Umbauarbeiten erforderlich sind, sollte mit diesem bezüglich der Finanzierung der Umbaumaßnahmen verhandelt werden.

Entscheidend ist hier ob die Vorgaben entsprechend Wärmeliefervertrag eingehalten werden können. Weiters sollte auch individuell die Förderungsmöglichkeit der Maßnahme geprüft werden, da sich die Förderungsrahmenbedingungen laufend ändern. Selbst wenn die Finanzierung der Maßnahme vollständig vom Betreiber des Fernwärmenetzes getragen werden muss, kann aufgrund der genannten positiven Effekte eine Umsetzung trotzdem sinnvoll sein. Dies ist speziell dann der Fall, wenn sich der zu optimierende Abnehmer in einem kritischen Netzbereich befindet, das Fernwärmenetz bzw. die Netzpumpen generell am Limit sind oder wenn Wärmerückgewinnungssysteme, welchem von einer niedrigen Rücklauftemperatursystem profitieren vorhanden oder geplant sind. Im Zuge dieses Projektes sind neben den direkt im Projekt angefallenen Personalkosten nur rund 50.000 € Investitionskosten für Umbaumaßnahmen angefallen, die direkt von der Stadtwärme Lienz getragen werden mussten.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen und technischen Bewertung dezentraler Wärmespeicher kann folgendes gesagt werden: Für die Implementierung einer dezentralen Wärmespeicheranlage bei dem ausgewählten Fernwärmekunden mit einem Verrechnungsanschlusswert von 15 kW sind rund 4.700 € an zusätzlichen Investitionskosten angefallen. Daraus ergeben sich spezifische Investitionskosten von 313 €/kW. Die Kosten für die Regelungsimplementierung von 1.100 € sind weitgehend unabhängig von der Anlagengröße bzw. Kosten für hydraulische Maßnahmen und den Wärmespeicher von 3.600 € können mit einem „Economy-of-Scale“-Ansatz auf andere Anlagengrößen hochgerechnet werden. Der wirtschaftliche Nutzen dieser Maßnahme ergibt sich durch die Glättung von Lastspitzen im Fernwärmenetz während der Morgenspitze. Diese Glättung von Lastspitzen ermöglicht eine bessere Auslastung des Fernwärmenetzes, eine Reduktion der Einsatzzeiten der Spitzenlastkessel und eine Erhöhung der Ökostromproduktion der Biomasse KWK-Anlage. Neben den zusätzlichen Investitionskosten für die Implementierung des Wärmespeichersystems ergeben sich die Nachteile, dass durch dieses System höhere Temperaturen im Rücklauf des Fernwärmenetzes zu erwarten sind und dass beim Fernwärmekunden höhere Wärmeverluste und ein höherer Platzbedarf gegeben sind. Die zusätzlichen Wärmeverluste beim Fernwärmekunden sind relevant (rund 5%) und variieren stark in Abhängigkeit der jeweiligen Rahmenbedingungen. Um die Verluste nicht unnötig zu erhöhen ist es weiters wichtig, dass nicht nur der Pufferspeicher sondern auch die Anbindungsleitungen isoliert werden. Der Einsatz dezentraler Wärmespeicher erscheint daher nur dann sinnvoll, wenn in einem Fernwärmenetz oder einem Netzbereich der Anschluss weiterer Abnehmer ohne teure Verstärkungsmaßnahmen im Fernwärmenetz aus technischer Sicht nicht mehr vertretbar ist und andere Optimierungsmaßnahmen nicht mehr sinnvoll möglich sind. Weiters sollten im Heizwerk keine Wärmerückgewinnungssysteme, welche von einer niedrigen Fernwärme-Rücklauftemperatur profitiert, vorhanden oder geplant sein.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Durch das Projekt und durch die im Projekt bearbeiteten Arbeitspakete konnten für alle Projektpartner wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden, welche die zukünftige Arbeit und Vorgangsweise der Projektpartner relevant beeinflussen werden. Weiters sind diese Erkenntnisse auch speziell für andere Betreiber von Fernwärmenetzen und Planer von Interesse.

Anhand der erarbeiteten Entwicklungsszenarien hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes und der Ausbaupotentiale konnte gezeigt werden, dass ohne Neuanschlüsse von Fernwärmeabnehmern der

Wärmeverkauf durch die Effekte aus thermischer Sanierung merklich abnehmen würde. Zu beachten ist hierbei auch, dass der Verlauf des Rückgangs des Wärmeverkaufs von der Sanierungsquote abhängt, welche wiederum vom Alter der Gebäude stark bestimmt wird. In den 70-iger Jahren wurden viele Gebäude errichtet, welche zu einem großen Anteil in den Jahren 2010 bis 2020 saniert werden. In der Vergangenheit wurde dieser Effekt, welcher sich bereits derzeit im Wärmeverkauf der SWL widerspiegelt, kaum beachtet. Ohne den Anschluss von neuen Fernwärmekunden würde dies zwangsläufig zu einem Rückgang im Wärmeverkauf und zu einer Erhöhung der spezifischen Netzverluste führen, wodurch auch die wirtschaftliche Performance des Projektes beeinträchtigt würde. Die thermische Sanierung von Gebäuden bietet aber auch die Chance zur Senkung der Fernwärmerücklauftemperatur bei deren Wärmeübergabestationen. Diese Gebäude weisen nach der Sanierung in der Regel einen deutlich geringeren Wärmebedarf auf. Die Dimensionierung der Heizkörper in den Gebäuden wird aber oft nicht geändert, wodurch diese mit geringeren Temperaturen betrieben werden können. Wenn im Zuge der Sanierung auch die Heizungshydraulik fernwärmegerecht angepasst wird, können wesentlich geringere Rücklauftemperaturen bei diesen Anlagen erzielt werden. Dieser Effekt wird vom Projektteam in Zukunft in den jeweiligen Arbeitsbereichen berücksichtigt werden. Diese Ergebnisse sind auch für alle Betreiber und Planer von Fernwärmesystemen von Bedeutung und sollten bei Ausbauplänen von Fernwärmesystemen berücksichtigt werden.

Für die Analyse und Bewertung der derzeitigen Wärmeabnehmer wurden eine systematische Vorgangsweise sowie ein Auswertungsprogramm entwickelt, um die große Anzahl der im Fernwärmenetz Lienz angeschlossenen Wärmeübergabestationen effizient auswerten und beurteilen zu können. Durch dieses Auswertungsprogramm auf Basis MS-EXCEL ist es mit geringem zeitlichen Aufwand möglich nach definierten Optimierungskriterien eine Reihung der Wärmeübergabestationen vorzunehmen, um vorrangig die Wärmeabnehmer mit dem höchsten Optimierungspotential auswählen zu können. Weiters wird für jede Wärmeübergabestation für einen ausgewählten Auswertungszeitraum ein übersichtliches Auswertungsblatt erstellt. Anhand dieses Auswertungsblattes ist es möglich sich einen schnellen Überblick über die Charakteristik des Abnehmers und die Schwachstellen bzw. Optimierungsmöglichkeiten zu verschaffen. Im Rahmen des Projektes hat sich gezeigt, dass die entwickelte Systematik und das Auswertungsprogramm sehr praktikabel sind. Durch die Optimierung der bestehenden Anlagen kann vor allem aufgrund der erzielbaren Reduktion der Fernwärmerücklauftemperaturen eine Effizienzsteigerung und eine Steigerung der Kapazität des Fernwärmenetzes erreicht werden. Es ist geplant, die Systematik und das Auswertungsprogramm beim Fernheizwerk Lienz im Rahmen von jährlichen Auswertungen in den nächsten Jahren weiter anzuwenden, um eine fortschreitende Verbesserung und Kontrolle zu ermöglichen. In weiterer Folge ist es das Ziel diese Systematik auch für andere Projekte zu nutzen. Generell kann festgestellt werden, dass eine systematische Optimierung von Wärmeabnehmern für fast alle Fernwärmebetriebe von Relevanz sein sollte und hierdurch die Basis für den effizienten Betrieb eines Fernwärmenetzes gelegt wird sowie Potentiale für verbesserte Wärmerückgewinnungsanlagen zur Effizienzsteigerung der Gesamtsysteme geschaffen werden.

Unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der Fernwärmeversorgung wurde eine hydraulische Verschaltung bezüglich dezentraler Wärmespeicherlösungen und darauf aufbauend ein entsprechendes Regelungskonzept entwickelt. Das entwickelte Regelungskonzept zielt darauf ab, dass der Wärmespeicher zu Beginn der Morgenspitze maximal geladen ist und dann die Ladung des

Wärmespeichers abgeschaltet wird. So wird erreicht, dass die Wärmeabnehmer, die mit diesem System ausgerüstet sind, keinen Beitrag zur Morgenspitze leisten und so das Fernwärmenetz optimal entlastet werden kann. Durch die Glättung der Lastspitzen sollen weitere Potentiale zum Anschluss neuer Fernwärmekunden geschaffen werden und die Effizienz der Wärmeversorgung verbessert werden. Es gilt aber zu beachten, dass dieses Regelungskonzept nur dann sinnvoll ist, wenn nicht zu viele Wärmeabnehmer mit diesem System ausgerüstet werden, da sonst eine Verschiebung der Lastspitze zu einem anderen Zeitpunkt hin bewirkt werden könnte. Gemeinsam mit dem bestehenden Lieferanten der Stationsregler konnte eine Lösung mit standardisierten Komponenten erarbeitet und die vorgeschlagene Regelungsstrategie in einem Regler umgesetzt werden. Die Installation und Inbetriebnahme der ersten dezentralen Wärmespeicheranlage erfolgte nach der Heizsaison 2012/2013. Bei dieser Anlage wurden anschließend Probleme beseitigt und die Betriebsparameter schrittweise optimiert. Die dezentrale Wärmespeicheranlage und deren zugehörige Regelung funktioniert plangemäß. Während der Lastspitzen zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr wird keine Leistung aufgenommen. Diese Anlage belastet das Fernwärmenetz in der für die Auslegung des Netzes beschränkenden Lastphase nicht zusätzlich. Es wurde aber auch ein prinzipieller Nachteil von diesem System ersichtlich. In Phasen in denen der Pufferspeicher geladen wird erfolgt dies mit hoher Leistung (in der Regel Nennleistung der Anlage), um eine Unterversorgung der Anlage zu vermeiden, und mit hoher sekundärseitiger Vorlauftemperatur, um den Wärmespeicher möglichst gut auszunutzen und um sicherzustellen, dass bei der Entladung des Wärmespeichers zu einem späteren Zeitpunkt eine ausreichende sekundärseitige Vorlauftemperatur zur Verfügung gestellt werden kann. Bei Wärmeübergabestationen ohne Wärmespeicher wird im Gegensatz zu der ausgeführten Station mit Wärmespeicher die thermische Leistung an den momentanen Verbrauch und die sekundärseitige Vorlauftemperatur an die momentanen Anforderungen angepasst (z.B. momentane Außentemperatur oder nächtliche Temperaturabsenkung, Temperaturerhöhung aufgrund Boilerladung). Dies führt dazu, dass eine Wärmeübergabestation mit Wärmespeicher im Vergleich zu einer Wärmeübergabestation ohne Wärmespeicher in der Regel eine signifikant höhere primärseitige Rücklauftemperatur aufweisen wird. Eine weitere Erhöhung der primärseitigen Rücklauftemperatur kann durch Rückmischung von Vorlaufwasser zu Rücklaufwasser, z.B. bei Durchladung des Wärmespeichers und nicht perfekter Schichtung im Wärmespeicher, verursacht werden. Bei der Errichtung von neuen Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher sollte, um die zu erwartende Erhöhung der primärseitigen Rücklauftemperaturen möglichst gering zu halten, eine wesentlich größere Dimensionierung der Fernwärmetauscher gewählt werden, was aber wiederum zu einer Erhöhung der Investitionskosten führt. Bei der Umrüstung bestehender Anlagen ist dies aufgrund von Platzgründen in der Wärmeübergabestation oft nicht oder nur mit erhöhtem Aufwand möglich. Weiters ergeben sich bei Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher die Nachteile, dass beim Fernwärmekunden höhere Wärmeverluste und ein höherer Platzbedarf gegeben sind. Die zusätzlichen Wärmeverluste beim Fernwärmekunden sind relevant (rund 5%) und variieren stark in Abhängigkeit der jeweiligen Rahmenbedingungen. Um die Verluste nicht unnötig zu erhöhen ist es weiters wichtig, dass nicht nur der Wärmespeicher sondern auch die Anbindungsleitungen gut isoliert werden.

Beim einem technoökonomischen Vergleich von sekundärseitigen Optimierungsmaßnahmen zur Rücklauftemperaturabsenkung mit der Installation von Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher zur Absenkung von Lastspitzen zeigt sich, dass zur Schaffung von zusätzlichen Ausbaupotentialen und Erzielung von Effizienzsteigerungen sekundärseitige Optimierungsmaßnahmen deutlich effektiver sind

als die Installation von Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher. Im Zuge des Projektes hat sich ergeben, dass die spezifischen Investitionskosten pro kW geschaffenes Anschlusspotential bei sekundärseitigen Optimierungsmaßnahmen deutlich geringer sind als bei Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher. Des Weiteren ist durch sekundärseitige Optimierungsmaßnahmen aufgrund der Absenkung vom Temperaturniveau im Heizsystem der Wärmeabnehmer, im Gegensatz zu den Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher, mit einer Verringerung der Wärmeverluste beim Fernwärme-kunden zu rechnen. Durch sekundärseitige Optimierungsmaßnahmen werden durch Absenkung der Fernwärme-Rücklauftemperatur Potentiale für verbesserte Wärmerückgewinnungsanlagen zur Effizienzsteigerung der Gesamtsysteme geschaffen. Durch die Implementierung von Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher ist von einer Erhöhung der Fernwärmerücklauftemperatur auszugehen, wodurch Potentiale für verbesserte Wärmerückgewinnungsanlagen in Heizwerken reduziert werden.

Der Einsatz dezentrale Wärmespeicher kann sinnvoll sein, wenn in einem Fernwärmenetz oder einem Netzbereich des Fernwärmenetzes der Anschluss weitere Abnehmer ohne teure Verstärkungsmaßnahmen im Fernwärmenetz aus technischer Sicht nicht mehr vertretbar ist und andere Optimierungsmaßnahmen nicht mehr sinnvoll möglich sind. Des Weiteren sollten im Heizwerk keine Wärmerückgewinnungssysteme, welche von einer niedrigen Fernwärme-Rücklauftemperatur profitieren, vorhanden oder geplant sein.

Die im Projekt zur Anwendung gekommen Optimierungsmaßnahmen wurden an den jeweiligen Fall angepasst. Als wichtige Optimierungsmaßnahmen können

- das Einregulierung diverser Umwälzpumpen und Ventile,
- die Beseitigung von Kurzschlüssen,
- des Einstellen der Regelung der Kundenanlage,
- die Entnahme von Wasserproben und Reinigung sekundärseitiger Schmutzfänger,
- die Reinigung bzw. der Tausch von Wärmetauschern,
- der Einbau zusätzlicher Regelventile
- und die Vergrößerung von Heizflächen

genannt werden.

Aufgrund der im Projekt gewonnen Erkenntnisse wird vom Projektteam die Optimierung sekundärseitiger Abnehmer auch in Zukunft fortgeführt und die fernwärmegerechte Ausführung von Wärmeübergabestationen und sekundärseitiger Anlagen zur Erzielung niedriger Rücklauftemperatur als wichtiger Planungsgrundsatz bekräftigt und weiter verankert. Dezentrale Wärmeübergabestationen mit Wärmespeicher werden in Zukunft voraussichtlich eine untergeordnete Rolle spielen, können aber in speziellen Fällen zur Anwendung kommen. Hierfür steht dann ein entwickeltes und getestetes System zu Verfügung.

Eine wiederkehrende Simulation des Fernwärmenetzes unter Berücksichtigung der aktuellen Ausbausituation und der aktuellen Netzparameter sollte generell durchgeführt werden, um Schwachstellen und Optimierungspotentiale erkennen zu können. Zur langfristigen Planung von Fernwärmeausbauten ist eine Simulation des Netzes unter Berücksichtigung von Entwicklungsszenarien hinsichtlich des zukünftigen Wärmebedarfes zielführend um Optimierungsziele definieren oder gegebenenfalls problematische Netzbereiche frühzeitig identifizieren zu können.

Bei der kaufmännischen Abwicklung von Optimierungsmaßnahmen hat sich gezeigt, dass es als Betreiber eines Fernwärmenetzes sinnvoll ist Eigenleistungen zur Identifikation von „schlechten Abnehmern“ und zur Ursachenfindung des schlechten Abnehmerverhaltens aufzuwenden. Die Ursachenbeseitigung hinsichtlich des schlechten Abnehmerverhaltens ist oft mit einem geringen Aufwand verbunden, da häufig regelungstechnische Parameteränderungen oder kleinere hydraulische Maßnahmen ausreichend sind. Wenn größere Maßnahmen erforderlich sind ist es hinsichtlich einer Kostenübernahme oder Kostenbeteiligung eines Fernwärmekunden entscheidend ob im Wärmeliefervertrag entsprechende Qualitätskriterien, wie z.B. eine maximale Rücklauftemperatur definiert sind, und aufgezeigt werden kann, dass die Schuld für das schlechte Abnehmerverhalten beim Fernwärmekunden liegt. In diesen Fällen konnte im Zuge des Projektes eine einvernehmliche Kostenübernahme oder Kostenbeteiligung von Fernwärmekunden erreicht werden.

Bei der Umsetzung von sekundärseitigen Optimierungsarbeiten hat sich gezeigt, dass eine Einbindung der örtlichen Haustechnikplaner und Installateure viele Vorteile bringt. Diese Personengruppen sind entscheidend für die fernwärmegerechte Ausführung der Hausanlagen und sollten einerseits über die Anforderungen an die Hausanlage zur Erreichung geringer Rücklauftemperaturen in Fernwärmenetz und andererseits auch über die technischen Hintergründe und der sich daraus ergebenden Vorteile für das gesamte System informiert werden. Größere Objekte werden des Öfteren auch von Planern und Installateuren betreut die nicht aus der Region kommen. Wenn dem Fernwärmebetreiber bekannt wird, dass bei solchen Objekten Arbeiten geplant sind oder wenn solche Objekte neu angeschlossen werden, sollte frühzeitig der Kontakt zu diesen Personen gesucht werden, um eine für das Fernwärmesystem möglichst ideale Ausführung der Anlagen zu ermöglichen.

Bei der Aus- und Bewertung der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen wurden die wesentlichen Betriebsdaten der Wärmeübergabestationen und der Wärmeerzeugungsanlagen im BM-Heizkraftwerk Lienz ausgewertet und mit den Daten aus den vorangegangenen Projektjahren verglichen. Die Betriebsdatenauswertungen zeigen, dass während der Projektlaufzeit eine Reduktion der Fernwärme-Rücklauftemperatur von rund 4°C erreicht werden konnte. Dies ermöglicht beim Biomasse-Heizkraftwerk Lienz eine Erhöhung der Heizleistung um rund 3,4 MW und den Anschluss von zusätzlichen Wärmeabnehmern mit einem Verrechnungsanschlusswert von rund 4,8 MW. Weiters können durch die Reduktion der Fernwärme-Rücklauftemperatur die Pumpkosten und Wärmeverluste gesenkt und verbesserte Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung geschaffen werden. Es zeigte sich, dass Optimierungsmaßnahmen zur Senkung der Fernwärmerücklauftemperatur bei den Fernwärmekunden eine effektive Maßnahme ist, um die Effizienz des gesamten Systems zu erhöhen. Durch diesen Ansatz werden die Voraussetzungen und die Grundlage für ein effizientes Fernwärmeversorgungssystem geschaffen. Diese Erkenntnis ist für das Projektteam und für alle Betreiber und Planer von Fernwärmesystemen von entscheidender Bedeutung und sollte bei der Planung von neuen und der Erweiterung und Optimierung von bestehenden Systemen einen hohen Stellenwert erhalten.

5 Ausblick und Empfehlungen

Ein wesentlicher Faktor für die Verwirklichung hocheffizienter Fernwärmesysteme liegt in der Erzielung möglichst geringer Fernwärme-Rücklauftemperaturen. Hierdurch können Wärmeverluste und Pumpkosten verringert und aufgrund der größeren möglichen Spreizung zwischen der Fernwärmever- und Rücklauftemperatur mit gleicher Leitungsdimension größere Leistungen bei geringeren spezifischen Investitionskosten transportiert werden. Die Reduktion der spezifischen Wärmeverluste im Fernwärmenetz in $\text{kWh}_{\text{Wärmeverluste}}/\text{kWh}_{\text{Wärmeerzeugung}}$ ergibt sich nicht nur aufgrund der geringeren Temperaturdifferenz der Fernwärmerücklaufleitung zur Umgebung sondern vorwiegend durch die Möglichkeit mit der Fernwärmeleitung bei gleicher Dimensionierung größere Energiemengen zu transportieren. Die Wärmeverluste in Fernwärmenetzen liegen oft im Bereich zwischen 15% -20%. Die Reduktion dieser Wärmeverluste ist ein entscheidender Faktor zur Effizienzsteigerung des Gesamtsystems.

Ein weiterer Punkt, welcher maßgeblich durch geringe Fernwärme-Rücklauftemperaturen beeinflusst wird, sind Wärmerückgewinnungsmaßnahmen in den Heizwerken. Wenn Fernwärme-Rücklauftemperaturen erreicht werden, bei denen abgasseitige Taupunkte bei Kesselanlagen deutlich unterschritten werden, sind Effizienzsteigerungen im zweistelligen Prozentbereich absolut möglich (z.B. durch effiziente Nutzung von Rauchgas-Kondensation).

Speziell von Interesse sind weiters auch industrielle Abwärmesysteme, bei denen durch eine niedrige Rücklauftemperatur im Fernwärmenetz oft erst eine direkte Nutzung von Abwärme ermöglicht wird, bzw. kann hierdurch eine Nutzbarmachung von Abwärme (z.B. mittels Wärmepumpen) effizienter verwirklicht werden.

Das Projekt hat gezeigt, dass durch sekundärseitige Optimierungsmaßnahmen bei Wärmeabnehmern auf effiziente Weise eine signifikante Reduktion der Fernwärme-Rücklauftemperaturen erreicht werden kann. Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sollten darauf abzielen die Grundlage für die praktische Realisierung von sehr niedrigen FW-Rücklauftemperaturen (Zielwert maximal 45°C) zu schaffen, um gravierende Effizienzsteigerungen durch Niedertemperatur-Verteilsysteme erzielen zu können (Zielwert zumindest 15% Effizienzsteigerung im Vergleich zu derzeitigen Systemen mit einer Fernwärme-Rücklauftemperaturen von 55°C.). Hierzu wären sinnvolle Maßnahmen zu untersuchen und zu definieren mit welchen dieses Ziel erreicht werden kann. Als Beispiel für solche Maßnahmen kann eine konsequente Umsetzung von sekundärseitigen Optimierungsmaßnahmen, eine Vergrößerung von Heizflächen, die Verbesserung der Wärmedämmung und der Einsatz von Wärmepumpen zur Temperaturabsenkung vom Fernwärme Rücklauf direkt beim Fernwärmeabnehmer genannt werden. Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit und Machbarkeit der Maßnahmen muss jeweils in Abhängigkeit der projektspezifischen Rahmenbedingungen geprüft und gewählt werden, wobei das vorliegende Projekt das große gegebene Umsetzungspotential gezeigt hat.

6 Kontaktdaten

Projektleiter:

Ing. Hermann Unsinn

Unternehmen und Kontaktadresse:

TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG

Eduard-Wallnöfer-Platz 2, 6020 Innsbruck

E-Mail: hermann.unsinn@tiwag.at

Tel.: +43 (50607) 21158

Fax.: +43 (50607) 21094

www.tiroler-wasserkraft.at

Projektpartner 1:

Reinhard Wilhelmer

Unternehmen und Kontaktadresse:

Stadtwärme Lienz Produktions- und Vertriebs-GmbH

Aguntstraße 54, 9900 Lienz

E-Mail: reinhard.wilhelmer@stadtwaerme-lienz.at

Tel.: +43 (4852) 67080 - 11

Fax.: +43 (4852) 67080 - 19

www.stadtwaerme-lienz.at

Projektpartner 2:

Prof. Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Ingwald Obernberger

Unternehmen und Kontaktadresse:

BIOS Bioenergiesysteme GmbH

Inffeldgasse 21b, 8010 Graz

E-Mail: office@bios-bioenergy.at

Tel.: +43 (0) 316 481 300

Fax.: +43 (0) 316 481 300 4

www.bios-bioenergy.at

Projektpartner 3:

Asc. Prof. (FH) Dipl.-Ing. Huber Christian

Unternehmen und Kontaktadresse:

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH

Andreas Hofer Straße 7, 6330 Kufstein

E-Mail: Christian.Huber@fh-kufstein.ac.at

Tel.: +43 (5372) 71819 136

Fax.: +43 (5372) 71819 - 104

www.fh-kufstein.ac.at/

IMPRESSUM

Verfasser

Projektleiter: Hermann Unsinn
TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG
Eduard-Wallnöfer-Platz 2, 6020 Innsbruck
E-Mail: hermann.unsinn@tiwag.at
Tel.: +43 (50607) 21158
Fax.: +43 (50607) 21094
Web: www.tiroler-wasserkraft.at

Projektpartner und AutorInnen

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG
Hermann Unsinn
Hermine Saurwein-Rainer

Stadtwärme Lienz Produktions- und
Vertriebs-GmbH
Reinhard Wilhelmer

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Ingwald Obernberger
Erwin Reisenhofer

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs
GmbH
Martin Tschurtschenthaler

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH