

Bidirektionale Übergabestationen in Nah- und Fernwärmenetzen

Markus Rabensteiner, Alois Kraußler, Evelyn Hummer
(4ward Energy Research GmbH)

ABSTRACT:

The secondary-side integration of renewable energy into a heating system can be considered as complex in many cases and with respect to the purely technical conditions such as maintaining and improving the overall efficiency of the supply system and provision security of supply (temperature and pressure requirements, storage capacity, ...) it is a challenge for the heat suppliers and network operators. Systems based on renewables must be useful to integrate into the existing system, in terms of their production, their available temperature level, their performance class and their logistics. The technical developments of recent years enable the transparent system operation and a comprehensive analysis of options for easy adjustment of system parameters and thus a relatively simple system optimization. Thus energy management systems that guarantee a system-wide control are already state of the art. To increase the share of renewables in heat production, however the structure of district heating and the interaction (incl. interfaces) between provider and consumer needs to be changed. To improve heat systems to the new conditions or rather to make the production more flexible and efficient, it requires an adjustment of the control and operational strategies and a multi-functional and ideally bi-directional "transfer station of the future" (for heat input and removal). Such technologies are not yet available yet, thus it is necessary to explore such a transfer station along with suitable application scenarios.

The project's aim of *MULTI-transfer* is to explore and recommend on further actions and how to plan and operate a multifunctional transfer station in combination with an intelligent control strategy for the overall district heating system (for new constructions and for existing networks). Thus a detailed consideration of three application scenarios should be done: solar thermal supply, heat pump application and integration of waste heat from refrigeration systems. The innovative system solution on the one hand considers the producer side (primary side) concerning optimization of additional supply and the network operation (optimized interaction of (waste) heat utilization and operation of a heating (power) plant) and on the other hand also the consumer side (secondary side) in terms of complementary load profiles and regulation of transfer stations.

1 Einleitung

Im Zuge des Projekts *MULTI-transfer* soll die Erforschung und Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen für den Aufbau und den Einsatz multifunktionaler Wärmeübergabestationen (Abbildung 1.1) in Kombination mit intelligenten Regelungsstrategien für das Gesamtsystem erfolgen (sowohl für Neubau, als auch für den Bestand). Dazu wird eine Detailbetrachtung von drei Anwendungsfällen durchgeführt: Solarthermie-Einspeisung, Wärmepumpen-Anwendungen und Abwärme-Integration (z. B. aus gewerblichen Kälteanlagen). Die innovative Systemlösung setzt damit sowohl auf der Erzeugerseite (Primärseite) hinsichtlich Optimierung der Einspeisung und des Netzbetriebes, als auch auf der Verbraucherseite (Sekundärseite) hinsichtlich sich ergänzender Lastprofile und Regelung von Übergabestationen an.

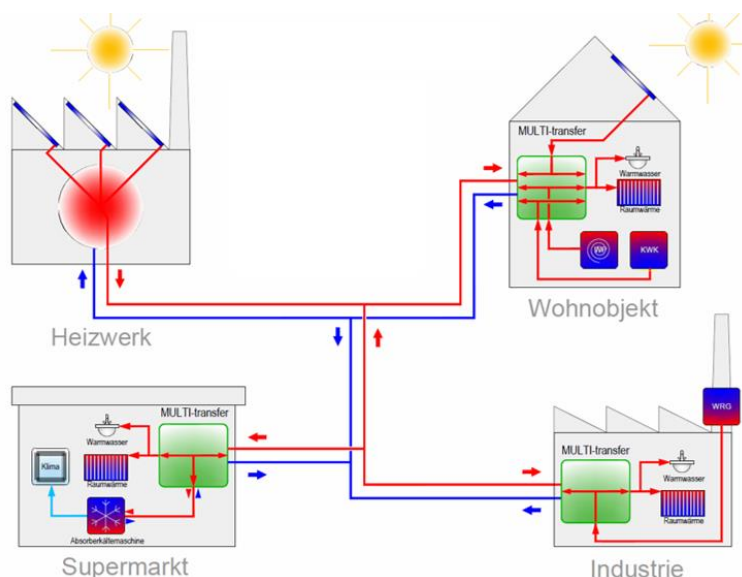


Abbildung 1.1: Bidirektionale Übergabestationen in einem Fernwärmenetz

2 Problemstellung

Effiziente Energieerzeugungsanlagen, der Einsatz von Kraft- Wärme- Kopplung und die Nutzung von Rest- und Abwärme machen die Nah- und Fernwärme zu einer umweltfreundlichen Wärmeversorgung. In Österreich werden rund 24 % aller Wohnungen (Stand 2013) mit Nah-/ Fernwärme beheizt [1]. Betreiber (insbesondere kleinerer- und mittlerer Netze) sehen sich allerdings, aufgrund unterschiedlicher Entwicklungen, wie z.B. Abnahme des Wärmebedarfs aufgrund besserer Baustandards, mit (wirtschaftlichen) Herausforderungen konfrontiert. Das Ausschöpfen aller Optimierungspotentiale durch Effizienzsteigerungsmaßnahmen (beim Heizwerk / im Netz / beim Verbraucher), sowie die Nutzung günstiger, (erneuerbarer) Wärme gewinnt daher zunehmend an Bedeutung. Diesem

Umstand geschuldet werden die Systeme aber auch zunehmend komplexer. Von besonderer Bedeutung für ein optimales FW-Versorgungssystem sind die einzelnen Übergabestationen, die das Bindeglied zwischen FW-Versorger und Endkunden bilden. Für eine effiziente und wirtschaftliche Versorgung ergibt sich demnach die Notwendigkeit der Anpassung folgender zwei Schlüsselbereiche:

- Innovative Regelungs- und Betriebsstrategien, welche sämtliche Optimierungspotenziale zur Effizienzsteigerung ausschöpfen, günstige erneuerbare Wärmequellen integrieren und eine hohe Jahresauslastung über möglichst ganzjährige Betriebskonzepte ermöglichen.
- Entwicklung einer intelligenten Übergabestation, welche einen multifunktionalen Betrieb ermöglichen muss und gleichzeitig in eine optimierte Regelstrategie eingebunden werden kann.

3 Methode

Im Zuge dieses Projekts wird der Aufbau und der Einsatz multifunktionaler Übergabestationen in Kombination mit intelligenten Regelungsstrategien untersucht. Dazu soll eine Detailbetrachtung folgender drei Anwendungsfälle erfolgen: Solarthermie-Einspeisung auf der Sekundärseite, größere Wärmepumpenanwendungen auf der Primärseite, Abwärme-Integration aus mittelgroßen (gewerblichen) Kälteanlagen auf der Sekundärseite.

3.1 Hydraulische Einbindung

Setzt man eine Maßnahme an einem Punkt des Netzes (z.B. sekundärseitig) hat das auch auf die Primärseite Auswirkungen. Es muss daher das gesamte System betrachtet werden. Dabei spielt der Druck in der FW-Leitung eine wichtige Rolle. Im Idealfall sollten Drücke im Primär- und Sekundärkreislauf gleich sein. Bei höheren Drücken im Primärkreislauf wird sich die Einbindung von Prosumern bei bestimmten Einspeisevarianten schwieriger gestalten. Der geringe Durchfluss im Sommer kann bei der Einbindung von Prosumern zu hydraulischen Problemen führen. Bei der hydraulischen Auslegung solcher Anlagen gibt es kaum Erfahrung. Hier müssen Fragen geklärt werden – wann welche Pumpe im Betrieb sein soll bzw. muss.

FW-Netze können als Zwei- oder Dreileiternetze ausgeführt werden. Aufgrund der Tatsache, dass heute fast ausschließlich 2-Leiternetze gebaut werden bzw. vorhanden sind, werden im Zuge von *MULTI-transfer* ausschließlich 2-Leiternetze betrachtet.

Die Einbindung dezentraler Wärmeerzeuger in das Netz kann direkt, hydraulisch getrennt mittels Wärmeüberträger, hydraulisch entkoppelt über eine hydraulische Weiche oder mit

dezentralem Energiespeicher erfolgen. Voraussetzung für eine Direkteinbindung des Wärmeerzeugers in das FW-Netz ist, dass der Wärmeerzeuger dem hohen Druckniveau standhält und nur Wasser eingesetzt wird. Bei der Einbindung von thermischen Solaranlagen und Kälteanlagen ist immer eine hydraulische Trennung erforderlich.

Die örtliche Lage der Prosumer im betreffenden Netz ist äußerst wichtig. Die Stabilisierung des Drucks im System ist von größter Wichtigkeit und ermöglicht eine leichtere Einspeisung in das Wärmeversorgungssystem. Vor allem bei Stahlrohren muss die Temperatur im System ebenfalls möglichst konstant gehalten werden, um Ermüdungsbrüche aufgrund von Wärmespannungen zu vermeiden.

Die Lage der dezentralen Wärmeeinspeisung kann die Einspeisung von Prosumern in bereits bestehenden Netzen stark einschränken. In Einzelfällen kann es sogar zu einem Stillstand der Wassersäule kommen. Bei der Einspeisung von Wärme in bestehende Wärmenetze gibt es technisch grundsätzlich drei Möglichkeiten (vgl. Abbildung 3-1):

- Von Rücklauf (RL) in Vorlauf (VL)
- RL-Anhebung
- VL-Anhebung

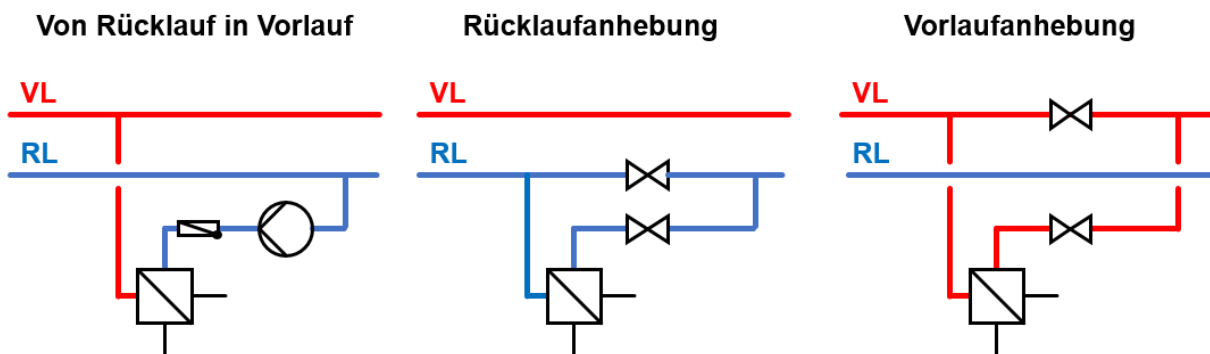


Abbildung 3-1: Möglichkeiten der Einspeisung von Wärme in bestehende Wärmenetze

Die Entnahme des Wärmeträgermediums aus dem RL und die Wiedereinspeisung in den VL ist die bevorzugte Variante, benötigt aber eine hohe Pumpleistung, da der Differenzdruck zwischen FW-VL und FL-RL im Wärmenetz überwunden und vom Einspeiser abgedeckt werden muss. Problematisch könnten die kleinen Volumenströme und die hohen Differenzdrücke (bis 1 bar) bei der Einspeisung in den VL sein. Für solche Anwendungsfälle gibt es nur eine begrenzte Anzahl an Herstellern. Die RL-Temperaturen bleiben konstant.

Bei der RL-Anhebung erfolgt die Entnahme sowie die Wiedereinspeisung des Wärmeträgermediums im RL. Die Pumpenergie wird von den Netzpumpen oder von eigenen

Wärmetauscher-Pumpen aufgebracht und deckt die Druckverluste des Wärmetauschers und der Verbindungsleitungen ab. Ein Strömungswiderstand muss in das FW-Netz eingebaut werden (bei Ausführung ohne eigener Wärmetauscher-Pumpe), um einen regelbaren Durchfluss durch den Wärmetauscher erzeugen zu können. Der Wirkungsgrad des primären Wärmeerzeugers verringert sich aufgrund der höheren RL-Temperaturen leicht. Es kann nur zusätzliche Energie in das FW-Netz eingebracht werden, der primäre Wärmetauscher kann nicht gänzlich ersetzt werden. In vielen kleineren Netzen ist eine RL-Anhebung mit der damit verbundenen höheren RL-Temperatur nicht vorteilhaft. Bei größeren Wärmenetzen und deutlich höheren RL-Temperatur kann eine RL-Anhebung aber durchaus sinnvoll sein.

Bei der VL-Anhebung wird das Wärmeträgermedium aus dem VL entnommen, durch einen Wärmetauscher geführt und wieder in den VL zurückeingespeist. Wie bei der RL-Anhebung ist es für den Netzbetreiber von Nachteil, dass er einen Strömungswiderstand in die FW-Leitung einbauen muss. Durch die höheren Netztemperaturen steigen die Netzverluste. Der Wirkungsgrad des primären Wärmeerzeugers bleibt unverändert. Der Vorteil für den Prosumer ist wie bei der RL-Anhebung, dass die Pumpenergie vom Netz aufgebracht wird.

3.2 Solarthermie

Ungefähr 90 % aller installierten Kollektoren sind Flachkollektoren. Diese besitzen einen guten Wirkungsgrad, der allerdings bei höheren Temperaturen stark abnimmt – womit dieser Kollektortyp nur in FW-Netzen mit niedrigeren Temperaturen effizient arbeitet. Die deutlich teureren Vakuumröhrenkollektoren erreichen höhere Temperaturen und besitzen somit besonders bei hohen Temperaturunterschieden zwischen Absorber und Umgebung deutlich höhere Wirkungsgrade.

Je nachdem, welches Temperaturniveau bzw. welche Art der hydraulischen Einbindung von den Kollektoren erreicht werden muss, gibt es drei verschiedene Anlagensysteme, welche sich besser oder schlechter zur dezentralen Einbindung eignen

Durch den hohen Durchfluss von High-Flow-Solaranlagen wird die gewonnene Wärme schnell aus den Solarthermie-Kollektoren verbraucht, was die Wärmeverluste minimiert. Die Temperaturspreizung ist geringer als bei anderen Betriebsweisen. Diese Solaranlagen eignen sich besonders gut für die Einspeisung in den FW-RL. Bei der Low-Flow-Solaranlage ist die Durchflussmenge an Solarflüssigkeit im Vergleich zu den anderen Betriebsweisen deutlich geringer. Die Solarflüssigkeit wird stärker erhitzt und die Solaranlage arbeitet auf einem hohen Temperaturniveau, es entsteht also eine höhere Temperaturspreizung. Diese Solaranlagen eignen sich vor allem für FW-Netze mit einem höheren Temperaturniveau.

Die Matched-Flow-Solaranlage arbeitet mit variablen Volumenströmen und ist somit außerordentlich flexibel im Betrieb, weist aber höhere Anschaffungskosten auf. Sie eignet sich vor allem für die Entnahme im FW-RL und die Einspeisung in den FW-VL, da der Kollektor geregelt nach der benötigten VL-Temperatur betrieben werden kann.

3.3 Kälteanlagen

Der Vorteil der Abwärme aus Kühlprozessen z.B. aus Supermärkten besteht vor allem in der ganzjährigen Nutzbarkeit. Genutzt werden können etwa die Abwärme der Kühlgeräte, der Tiefkühl-Zellen und der Normalkühl-Zellen. Die Verflüssigungstemperatur der Kälteanlagen liegt bei etwa 40°C, es ist mit einer Abwärmetemperatur von max. 30 bis 35°C zu rechnen.

Der Kältebedarf im Laufe eines Tages bei Gewerbebetrieben (z.B. Lebensmittelhandel) ist abhängig von den Öffnungszeiten – das Lastprofil fällt in der Nacht von 100 auf ca. 30 % ab. In Industriebetrieben (z.B. lebensmittelverarbeitende Betriebe) kann von einem konstanten Kältebedarf ausgegangen werden.

Ein durchschnittlicher Supermarkt hat ein jährliches Abwärmepotential von etwa 250 MWh. Vor allem in den Sommermonaten, in denen viel gekühlt werden muss, ist das Abwärmepotential besonders hoch. Die mittlere Soletemperatur ist ebenfalls außentemperaturabhängig und steigt bzw. sinkt mit dem Abwärmepotential. Es liegt ca. 5 Kelvin über der mittleren Außentemperatur. Der Jahresschnitt liegt bei etwa 18°C. Im Hochsommer kann von einer mittleren Temperatur von etwa 26°C ausgegangen werden.

3.4 Simulation

Um die Auswirkungen einer dezentralen Wärmeeinspeisung zu untersuchen wird vorab eine Simulation (Matlab/Simulink) eines bestehenden Wärmenetzes durchgeführt. Um realitätsnahe Ergebnisse zu erzielen muss für die numerische Berechnung das gesamte Netz herangezogen und validiert werden. Für die Untersuchung der dezentralen Wärmeeinspeisung werden möglichst realitätsnahe Last- bzw. Produktionsgänge von Kälte- und Solaranlagen herangezogen. Durch die holistische Herangehensweise können hydraulische Problemstellungen, wie z.B. die Verschiebung des Schlechtpunktes oder die Strömungsumkehr in gewissen Netzabschnitten untersucht werden. Die numerische Simulation ermöglicht darüber hinaus eine einfache Evaluierung verschiedener Einbindungsvarianten und Örtlichkeiten der Einbindung.

Aufbauend auf den Ergebnissen der numerischen Berechnung sollen Handlungsempfehlungen für einen Laborbetrieb/Feldversuch gemacht werden. Um möglichst realitätsnahe Bedingungen zu schaffen, müssen vor Start der experimentellen Phase die

Charakteristika eines geeigneten Wärmenetzes festgelegt werden. Im Zuge dieser experimentellen Phase soll auch ein energieressourcen-schonender Betrieb durch das Miteinbeziehen von Wetterprognosen untersucht werden.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Solarthermie

Für die Einspeisung von Solarthermie wäre eine RL-Anhebung am geeignetsten. Der Wirkungsgrad der Solarmodule würde steigen, da der Kollektor mit der geringsten möglichen Temperatur arbeiten kann. Der Temperaturhub im Kollektor kann gering sein, ein High-Flow-System kann eingesetzt werden. Jedoch müssen hier die topografischen Gegebenheiten der Einspeisepunkte beachtet werden. Soll die primäre Versorgungsquelle auch im Sommer nicht gänzlich ersetzt werden, kann diese Methode für die Bereitstellung von Wärme in dezentralen Anlagen empfohlen werden.

Für die Heizwerke ist vor allem die Einbindung von Solarthermie in den VL vorteilhaft. Bei der Entnahme im RL und der Einspeisung in den VL wird die RL-Temperatur nicht angehoben, ein Teil der Pumpenkosten (um den Differenzdruck zwischen VL und RL des FW-Netzes zu überwinden) wird aber vom Prosumer getragen. Voraussetzung, um überhaupt ins Netz einspeisen zu können, ist, dass die von der thermischen Solaranlage gelieferte Temperatur die des FW-Netzes übersteigt. Je höher die Netztemperaturen sind, desto geringer ist der Kollektorertrag. Bei Temperaturen über 70°C sind Vakuumröhrenkollektoren notwendig, um das geforderte Temperaturniveau zu erreichen. Empfohlen wird ein Match-Flow-Betrieb der Kollektoren, um diese mit variabler Leistung oder variablen Volumenstrom, in Abhängigkeit der Vor- und RL-Temperaturen im FW-Netz betreiben zu können. Der Vorteil bei einer Entnahme aus dem RL und einer Einspeisung in den VL ist, dass dadurch ein primärer Wärmeerzeuger, z.B. in den Sommermonaten, ersetzt werden kann. Es wäre eine Möglichkeit, den unrentablen Teillastbetrieb von Kesselanlagen zu verhindern.

Eine VL-Anhebung kann nicht empfohlen werden, da die Temperatur, die aus dem FW-Netz entnommen wird, bereits hoch ist und auf ein noch höheres Niveau gebracht werden muss. Der Wirkungsgrad der thermischen Solarkollektoren ist bei dieser Möglichkeit der hydraulischen Einbindung am geringsten, für den Prosumer somit am ungünstigsten. Auch der Betreiber des FW-Netzes hat durch den zusätzlichen Einbau eines Strömungswiderstandes und die nochmalige Erhöhung der Netztemperatur zusätzliche Verluste.

Bei Schlechtwetter können geringere Temperaturniveaus erhebliche Effizienzsteigerungen der Solarkollektoren zur Folge haben, bei kleinen Sonnenkollektoren ist die Einspeisung in den RL

ohne Speicherung möglich, zusätzlich sollte man den Druckhub bei Sonnenkollektoren beachten. Bei großen FW-Netzen sind nur Einbindungen großer solarthermischer Anlagen (> 500 kWth) sinnvoll. Zudem wird die Einspeisung in den VL forciert.

Solarthermische Einspeisung könnte zur Reduktion der Netzverluste im Sommer genutzt werden, da im Sommer in machen Netzen die Verluste höher sind als die verkaufte Energiemenge.

4.2 Kälteanlagen

Kalte Netze eignen sich sehr gut für die Einspeisung von Abwärme aus Kälteanlagen. Ein Temperaturniveau im Netz von 30 bis 35°C ist wünschenswert. Netzeinspeise-Temperaturen von 50 bis 60°C sind zu hoch für die Einbindung von Kälteanlagen in FW-Netze, ohne dass das Temperaturniveau mit Hilfe von Wärmepumpen erhöht wird.

Dadurch, dass die Rückkühler wegfallen, ist die Einbindung von Kälteanlagen in Wärmenetze für die Betriebe eine interessante Möglichkeit die Schallproblematik in den Griff zu bekommen. Das Abwärmepotential gewerblicher Kälteanlagen ist sehr hoch. Das Problem ist jedoch das niedrige Temperaturniveau. Die Einbindung dieser Abwärme in ein bestehendes Netz ohne eine zusätzliche Wärmepumpe auf der Seite des Prosumers ist unrealistisch, da die geforderten VL-Temperaturen in diesen Netzen zu hoch sind und eine Senkung der Netztemperaturen mit sehr hohen Kosten, vor allem von Seiten der FW-Kunden, verbunden wäre.

Um das Wärmepotential besser nutzen zu können ist die Einbindung einer Wärmepumpe entweder auf der Sekundärseite vom Prosumer oder auf der Primärseite vom Netzbetreiber zu überlegen. Das Temperaturniveau eines kalten Netzes, welches mehrere Abwärme-Produzenten zusammenschließt, könnte an einer Stelle mit einer Wärmepumpe angehoben werden, um in ein bestehendes FW-Netz eingespeist werden zu können. Am einfachsten ist die Nutzung in neuen kalten Netzen. Denkbar wäre, in neuen, aber auch in zu sanierenden Einkaufszentren relativ einfach und kostengünstig die Abwärme aus den Kälteanlagen des Lebensmittelgeschäfts zur Beheizung der anderen Geschäfte zu nutzen. Einkaufszentren sind immer sehr ähnlich aufgebaut. Hydraulische Lösungen und Regelungskonzepte können standardisiert und leicht an die unterschiedlichen Einkaufszentren angepasst werden.

5 Ausblick

Das Simulationsmodell in Matlab/Simulink wird anhand von Messdaten von den Abnehmern, dem Heizhaus und den Netzschlechtpunkten validiert. Durch den Aufbau einer Matrix sollen verschiedene Anwendungsfälle (Variation: Örtlichkeit, hydraulische Einbindung, Leistung,...)

berechnet werden. Auf Grundlage dieser Daten soll ein labortechnischer Aufbau und Betrieb einer bidirektionalen Übergabestation erfolgen.

6 Literatur

[1] Fachverband Gas Wärme, <http://www.fernwaerme.at/>, abgerufen am 20.01.2017.

Kontakt Autor:

DI Dr.
Markus Rabensteiner
4ward Energy Research GmbH
markus.rabensteiner@4wardenergy.at
+43 664 88251830