

# Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze von gestern, heute und morgen

© Hochschule Biberach, Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß, September 2022

## Einführung

Wer für sich beansprucht, nachhaltig zu denken und zu handeln, muss beim heutigen Einbau von Wärmeübergabestationen in Wärmenetze von gestern eine ganze Menge wissen und berücksichtigen, wenn er sichergehen will, dass sie auch morgen noch effizient und robust arbeiten.

Im März 2021 hat das Bundesverfassungsgericht das Bundes-Klimaschutzgesetz 2019 (KSG-2019) zur Verschärfung zurückgewiesen. Begründet wurde diese Zurückweisung mit dem Hinweis, dass „... Klimaschutzmaßnahmen, die gegenwärtig unterbleiben, in Zukunft unter möglicherweise noch ungünstigeren Bedingungen ergriffen werden müssen und dann Freiheitsbedürfnisse und –rechte weit dramatischer beschnitten werden müssen. .... weil noch ziemlich alle Bereiche des menschlichen Lebens mit der Emission von Treibhausgasen verbunden sind“ [1]. Die damalige Bundesregierung hat schnell gehandelt und bereits im Juli 2021 das KSG-2021 [2] vorgelegt, dass eine Klimaneutralität bis 2045 vorsieht.

Man darf gespannt sein, ob nach Jahren der Diskussion nun endlich Schwung in das Thema Energiewende kommt. Im Gegensatz zum Stromsektor, der gegenwärtig immerhin schon ca. 45 % regenerativen Strom anbietet [3] liegt der Wärmesektor mit einem regenerativen Anteil von derzeit nur gut 15 % [3], noch in den Startlöchern. Dies ist besonders schwerwiegend, da mehr als die Hälfte (55 %) der in Deutschland verwendeten Endenergie in den Wärmesektor fließt [3]. Noch schlechter sieht es im Bereich Mobilität aus. Hier liegt der Anteil regenerativer Energien gerade mal bei 7,5 % wie Abbildung 1 zeigt.

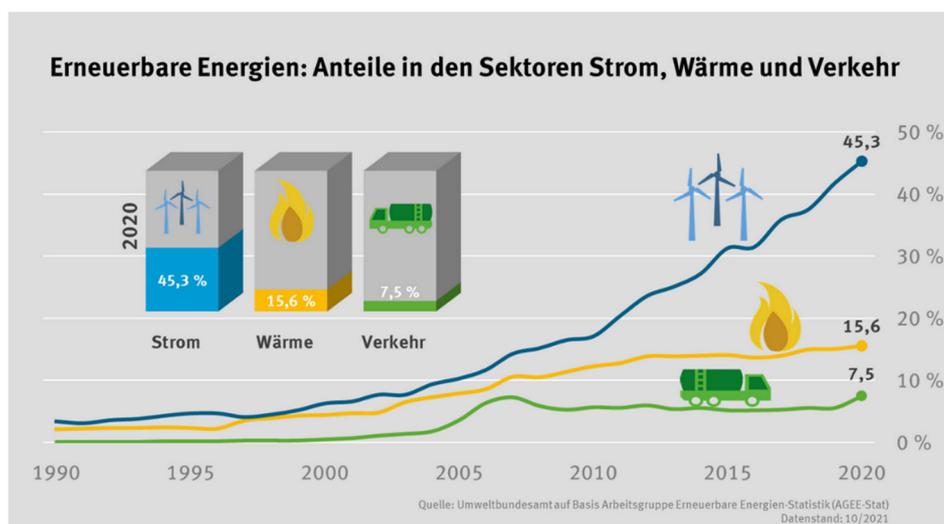


Abb. 1: Anteil erneuerbarer Energie in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr [3]

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

**HBC.**  
HOCHSCHULE  
BIBERACH  
UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

Diese Zahlen sind nicht gerade erbaulich, wenn man sich die ebenfalls im KSG-2021 konkretisierten Zwischenziele für 2030 näher anschaut. Danach muss z.B. der Gebäudesektor bis zum Jahr 2030 seine nach dem Quellenprinzip bilanzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 43 % reduzieren, der Industriesektor um 37 % (jeweils bezogen auf das Jahr 2020 [2]).

Auch der Ende Februar 2022 ausgebrochene Krieg in der Ukraine, der binnen zwei Wochen nahezu zu einer Verdoppelung der Heizölpreise geführt hat [28], verdeutlicht die Abhängigkeit von den Energieträgern Erdöl und Erdgas. Der Wunsch, auch zukünftig in Freiheit zu leben, erfordert den unverzüglichen Abbau von einseitigen Abhängigkeiten (dies gilt übrigens nicht nur für den Energiesektor, sondern beispielsweise auch für den Nahrungsmittel-, Medizin- und Pflegebereich). Dies wird nicht nur viel Geld, sondern auch Willen und Kraft erfordern und ein gutes Stück des derzeitigen Luxus reduzieren. Doch wer sich, nach 30 Jahren des Redens, nicht schnellstens mit Taten darauf einstellt, läuft Gefahr, sich bald in einer aussichtslosen Lage wiederzufinden.

Um die Herkulesaufgabe der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu meistern, sollte das Problem von mehreren Seiten angegangen werden. Zum einen muss im Gebäudesektor der Verbrauch an Nutzwärme durch Dämm- und Abdichtmaßnahmen an der Gebäudehülle und durch eine Wärmerückgewinnung in der kontrollierten Wohnraumlüftung signifikant gesenkt werden. Zum anderen muss die Nutzung von Heizöl und Erdgas (fossiler Energieträger) durch den Einsatz von regenerativen Energien substituiert werden (Dekarbonisierung). Hierzu zählen neben regenerativ erzeugtem Strom zum Antrieb von Wärmepumpen auch aus regenerativem (Überschuss-) Strom erzeugte synthetische Gase und Kraftstoffe die dann vorzugsweise einer Kraft-Wärmekopplung zugeführt werden. Die anfallende regenerative Abwärme kann somit sinnvoll in der Nah- und Fernwärme eingesetzt werden.

Sehr wesentlich hierbei ist, dass der Gebäudesektor seine Wärmeversorgung nicht nur von der Erdgas- und Heizölverbrennung auf Wärmepumpen oder Fernwärme verlegt. Damit könnte der Gebäudesektor nach dem Quellenprinzip zwar sehr schnell und einfach CO<sub>2</sub>-Neutralität erreichen, denn er emittiert ja kein CO<sub>2</sub> mehr über die Gebäudeschornsteine. In einer ganzheitlichen Betrachtung würde man das Problem aber im Wesentlichen einfach in den Energiesektor verlagern. Und die nach dem Verursacherprinzip ermittelten tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen dann sehr stark vom regenerativen Anteil bei der Endenergie-Bereitstellung im jeweiligen Energiesektor ab.

Und hier gibt es im Bereich der Nah- und Fernwärme derzeit ein sehr diverses Bild. Während zahlreiche in den letzten Jahren speziell in Süddeutschland, Österreich (Beispiel: Nahwärme Hilbe OG, Dornbirn Österreich; ca. 10 % fossiler Energieanteil von 2015 bis 2020) [12] und der Schweiz neu errichtete Nahwärmenetze einen sehr hohen Wärmeanteil aus der Abwärme von mit Biogas betriebenen BHKW's und der Holzverbrennung beziehen und damit eine sehr günstige CO<sub>2</sub> Bilanz aufweisen, liegt der durchschnittliche Einsatz regenerativer Energieträger in deutschen Fernwärmesystemen gerade mal bei knapp 18 % [4,5]. Vor diesem Hintergrund muss auch in der Fernwärme zwingend ein Transformationspfad eingeleitet werden, der nicht ohne Veränderungen auch bei den Endkunden sprich Wärme-Abnehmern einhergeht. Hierbei muss den Wünschen und Forderungen nach Komfort, Betriebssicherheit, aber auch Ökonomie

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

und Ökologie sowohl aus Sicht der Netzbetreiber als auch der Wärmeabnehmer Rechnung getragen werden. Der Verwendung optimierter Wärmeübergabestationen sowie deren Weiterentwicklung kommt hierbei eine große Bedeutung zu.

Die vorliegende Abhandlung soll ein grundlegendes Verständnis für Wärmenetze im Bereich der Nah- und Fernwärme vermitteln. Darüber hinaus soll aufgezeigt werden, in welche Richtung sich Nah- und Fernwärmesysteme entwickeln. Nur so können Wärmeübergabestationen eingebaut bzw. weiterentwickelt werden, die in bestehenden Netzen von gestern sowohl heute als auch zukünftig zuverlässig und gut arbeiten. Auch wenn der exakte Weg dieser Entwicklung derzeit nicht absehbar ist, lassen sich schon heute viele Tendenzen sehr klar erkennen. Damit ist ein schnelles und dennoch besonnenes Handeln schon heute möglich.

In diesem Zusammenhang soll vorab klargestellt werden, dass es nicht darum geht die Fernwärmetechnologie über die WP-Technologie zu stellen oder umgekehrt. Beide Technologien haben ihre Vorteile und können auch sinnvoll miteinander kombiniert werden. Im ländlichen Raum mit geringen Wärmeabnahmedichten sind Fernwärmenetze nicht sinnvoll zu betreiben und es gibt genügend Raum um die verschiedenen Wärmequellen für Wärmepumpensysteme zu erschließen. In Gegenden mit einer hohen Wärmeabnahmedichte (dies müssen keine Großstädte, sondern es können auch dicht bebaute Dörfer sein), müssen Wärmenetze stark forciert werden. Hier ist nämlich in der Regel die Erschließung der Wärmequelle für jede Wärmepumpe einzeln sehr aufwendig und nicht unproblematisch.

## **Nah- und Fernwärmesysteme**

In Nah- und Fernwärmesystemen (NuFS) wird die thermische Energie in Kraftwerken, Heizkraftwerken oder Heizzentralen erzeugt und über Rohrleitungen zu den Kunden transportiert. Kunden können sowohl Wohn- und Gewerbegebäude als auch Industriebetriebe sein. Somit können große zentrale Wärmeerzeuger eine ganze Reihe von Kunden, mehrere Quartiere oder auch ganze Städte mit Wärme versorgen. Die Bereitstellung von Wärme aus großen zentralen Einheiten bringt eine ganze Reihe von Vorteilen mit sich:

- **Bedienungs- und Wartungsaufwand, Komfort:**  
Die Kunden (Verbraucher) können sich über einen hohen Komfort bei minimalem eigenen Bedienungs- und Wartungsaufwand freuen
- **Verwertbare Energieträger:**  
In Osteuropa aber auch im Osten Deutschlands sind Fernwärmesysteme viel verbreiteter als in den westlichen Ländern und Bundesländern. Ein Grund hierfür ist der im Osten wesentlich umfangreichere Einsatz von Kohle in der Wärmeversorgung. Und Kohle lässt sich in größeren Zentralen wesentlich besser verbrennen als in der dezentralen Gebäudebeheizung. Bei dem überwiegend im Westen verwendeten

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Heizöl und Erdgas sieht dies ganz anders aus. Hier entfallen bei der dezentralen Verbrennung die thermischen Verluste bei der Wärmeverteilung.

Aus der Verbrennung von Kohle sollten alle so schnell wie möglich aussteigen. Die dargelegten Überlegungen gelten aber für eine ganze Reihe regenerativer- oder alternativer Energieträger gleichermaßen (z.B. Holzhackschnitzel, Holzabfall, Abfall). Dies ist auch ein Grund, warum Fernwärmesysteme auch in den Skandinavischen Ländern sehr verbreitet sind.

- Emissionen:

Ca. zwei Drittel der erneuerbaren Energien im Wärmesektor entfallen in Deutschland gegenwärtig auf Holz [3], was etwa 84 TWh entspricht. Deutschlands Holzaufkommen lässt hier eine Steigerung zu [5].

Der Großteil des Holzes wird hierbei in „Kachel- oder Schwedenöfen“ dezentral verheizt [5]. Speziell die Feinstaubemissionen sorgen hier nicht zu Unrecht oft für Schlagzeilen. Bei Verbrennung von Holz in größeren Anlagen lassen sich diese Feinstaubemissionen z.B. durch Filter oder Luftwäscher viel einfacher, effizienter und damit auch kostengünstiger zurückhalten.

- Wirkungsgrad bei Kraft-Wärme-Kopplung:

Während der thermische Wirkungsgrad bei der reinen Wärmeerzeugung nicht entscheidend von der Größe des Wärmeerzeugers abhängt, sieht dies mit dem elektrischen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung ganz anders aus [6]. Hier gilt je größer die Anlage desto höher der elektrische Wirkungsgrad. Und dies gilt auch für die favorisierte Kraft-Wärme-Kopplung mit ihren hohen Gesamtwirkungsgraden. Während der Gesamtwirkungsgrad nahezu größenunabhängig ist, steigt der elektrische- und fällt der thermische Wirkungsgrad mit der Anlagengröße.

- Abwärme Nutzung:

Sofern das Temperaturniveau hinreichend hoch ist, können NuFS aber auch die Abwärme von Industrie und Gewerbe aufnehmen. Die Möglichkeit die Abwärme somit an anderer Stelle zu nutzen wird zukünftig eine sehr bedeutende Rolle spielen.

Allerdings gibt es fast nichts, was nur Vorteile mit sich bringt. Nachteilig sind im Fall von NuFS vorrangig die Verteilverluste. Wie schon erwähnt, treten bei der dezentralen Beheizung von Gebäuden, vorrangig mittels Öl und Gas außerhalb des Gebäudes, in der Regel nur untergeordnete Verteilverluste auf. Bei NuFS belaufen sich die jährlichen Verteilverluste zumindest im nichtindustriellen Bereich aber leicht auf 20 % (Grenzwert für bisherige KfW Förderung). Bei älteren Netzen und/oder bei einem energetisch sanierten bzw. neuen Gebäudebestand erreichen die Netzverluste über das Jahr betrachtet auch schnell eine Größenordnung von 40 % und mehr [7 sowie eigene Erfahrungen aus Gerichtsgutachten]. In solchen Fällen ist eine Netzsanierung dringend zu prüfen.

Im Rahmen der thermischen Energiewende wird Wärmepumpen eine sehr große Zukunft zugesprochen. In Ballungsgebieten mit einer hohen Abnahmedichte sind dem klassischen

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Einsatz von Wärmepumpen durch die begrenzte Verfügbarkeit von Umweltwärmequellen aber Grenzen gesetzt. Daher rechnen verschiedene Quellen [8,9] mit einer Ausweitung der Wärmerversorgung durch NuFS. Während [8] von ca. 30 % der gesamten deutschen Wärmeversorgung durch NuFS bis zum Jahr 2030 ausgeht, schätzt [9] den Anteil von NuFS an der Wärmeversorgung auf 25 % bis zum Jahr 2050.

## Wärmenetze

Die Aufgabe von Wärmenetzen besteht, wie in Abbildung 2 dargestellt, in der Übertragung von thermischer Energie durch strömende Fluide vom Ort der „Erzeugung“ zu den „Verbrauchern“. Ziel ist es, hierbei die richtige Menge zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort zur Verfügung zu stellen und dabei die Verluste so gering wie möglich zu halten.

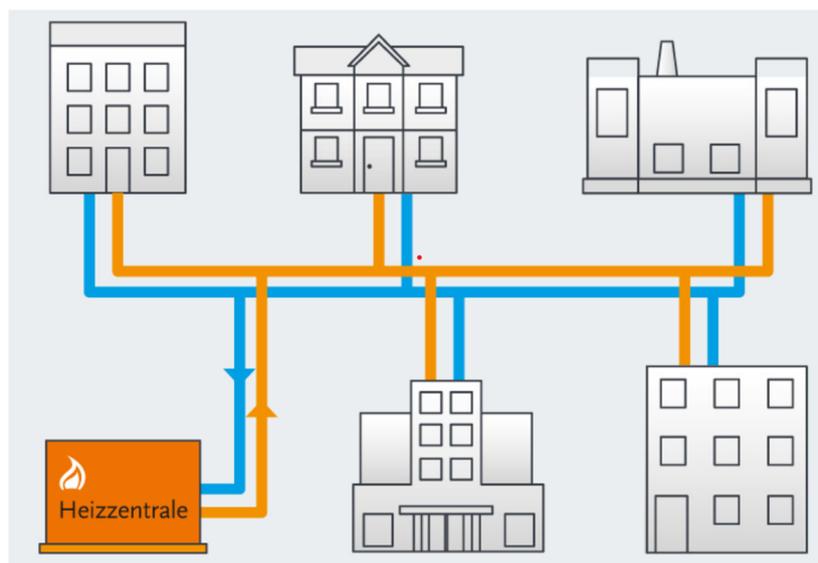


Abb. 2: Wärmenetz

## Verluste

Die Verluste von Wärmenetzen lassen sich grundsätzlich in Wärme- und Reibungsverluste aufteilen, die sich durchaus gegenseitig beeinflussen.

Die thermischen Verluste der Rohrleitungen ergeben sich in erster Linie aus der Rohrdimension und Netzlänge (Oberfläche), der Wärmedämmung (U-Wert) und der Temperaturdifferenz zwischen Fluid ( $t_F$ ) und Umgebung ( $t_e$ ) zu:  $\dot{Q}_{Ver} = U \cdot A \cdot (t_F - t_e)$

Für eine erste Betrachtung erscheint es sinnvoll, Vor- und Rücklauf jeweils getrennt zu betrachten. Die Temperatur des Fluides in den Vorlaufleitungen ( $t_{F,V}$ ) und den Rücklaufleitungen ( $t_{F,R}$ ) wird hierbei jeweils als konstant angesetzt.

Neben einer verbesserten Wärmedämmung bei Neuanlagen besteht das größte Potential, die thermischen Verluste zu reduzieren, in einer Reduzierung der Vor- und Rücklauftemperatur.

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Die Vorlauftemperatur muss hierbei den Mindestanforderungen der Verbraucher genügen und muss gemeinsam mit dem Massenstrom der notwendigen thermischen Übertragungsleistung angepasst werden. Niedrige Vorlauftemperaturen reduzieren nämlich nicht nur die thermischen Leitungsverluste, sondern auch die mögliche thermische Übertragungsleistung. Die Rücklauftemperatur sollte durch den Verbraucher möglichst weit abgekühlt werden. Dies verringert nicht nur die thermischen Verluste der Rücklaufleitung, sondern führt je nach Konfiguration der Erzeugung auch zu:

- einem höheren thermischen Wirkungsgrad (Brennwerttechnologie),
- einem umfangreicheren Einsatz von BHKW's (Motorkühlung) und ggf.
- einem höheren elektrischen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung (Absenkung des Entspannungsdruckes bei der Stromerzeugung).

Gleichzeitig bringt dies den Vorteil mit sich, dass die Übertragungskapazität des Wärmenetzes (thermische Übertragungsleistung) vergrößert wird, die sich zu:

$$\dot{Q}_{\text{Über}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{F,V} - t_{F,R})$$

errechnet.

Die hydraulische Verlustleistung ( $P_{\text{hyd}}$ ) ergibt sich aus dem Produkt von Volumenstrom ( $\dot{V}$ ) und den Druckverlusten ( $\Delta p$ ) zu:

$$P_{\text{hyd}} = \dot{V} \cdot \Delta p$$

Da der Druckverlust in einem bestehenden Rohrnetz proportional zum Volumenstrom (bzw. Massenstrom) im Quadrat ist, besteht ein kubischer Zusammenhang zwischen Massen- bzw. Volumenstrom und hydraulischer Verlustleistung:

$$P_{\text{hyd}} \sim \dot{m}^3$$

Um diese Verluste zu überwinden, muss Antriebsleistung über eine Pumpe ins Hydrauliksystem eingebracht werden. Zur Ermittlung des hierfür notwendigen Pumpenstroms müssen die Wirkungsgrade von Pumpe und Elektromotor berücksichtigt werden. Somit ergibt sich der Pumpenstromverbrauch zu:

$$P_{el} = \frac{(\dot{V} \cdot \Delta p)}{(\eta_P \cdot \eta_E)}$$

Da weder der Wirkungsgrad der Pumpe noch der des Elektromotors über den Einsatzbereich (variabler Fördermassenstrom) konstant ist, gilt der kubische Zusammenhang nur zwischen hydraulischer Verlustleistung und Massenstrom, nicht aber zwischen notwendiger Stromaufnahme für den Pumpenantrieb und dem Massenstrom.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das größte Einsparpotential (die größte Reduzierung der Verluste) in einer konsequenten Absenkung der Rücklauftemperatur an den Wärmeübergabestationen liegt, da dies einen positiven Einfluss auf:

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

- Reduzierung der Rücklauf-Leitungsverluste,
- Erhöhung der Erzeugereffizienz,
- Reduzierung des Pumpenstromaufwandes durch Reduzierung des Massenstroms bei gleicher thermischer Übertragungsleistung bzw.
- Erhöhung der thermischen Übertragungsleistung bei konstantem Massenstrom

hat.

## Historische Entwicklung von Wärmenetzen

Nah- bzw. Fernwärmesysteme kommen seit etwa 1880 zum Einsatz. Seit damals haben sich über die Jahre die Eigenschaften der NuFS geändert. Dies gilt insbesondere für die Temperaturniveaus und die verwendeten Energieträger. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich wird, wurde in der ersten Generation (ca. 1880 bis 1930) von Nahwärmesystemen meist Dampf auf einem Temporniveau von bis zu 200°C verwendet, der dann lediglich in einem Stadt-Quartier oder Industriebetrieb verteilt wurde. Als Energiequelle diente primär Stein- und Braunkohle.

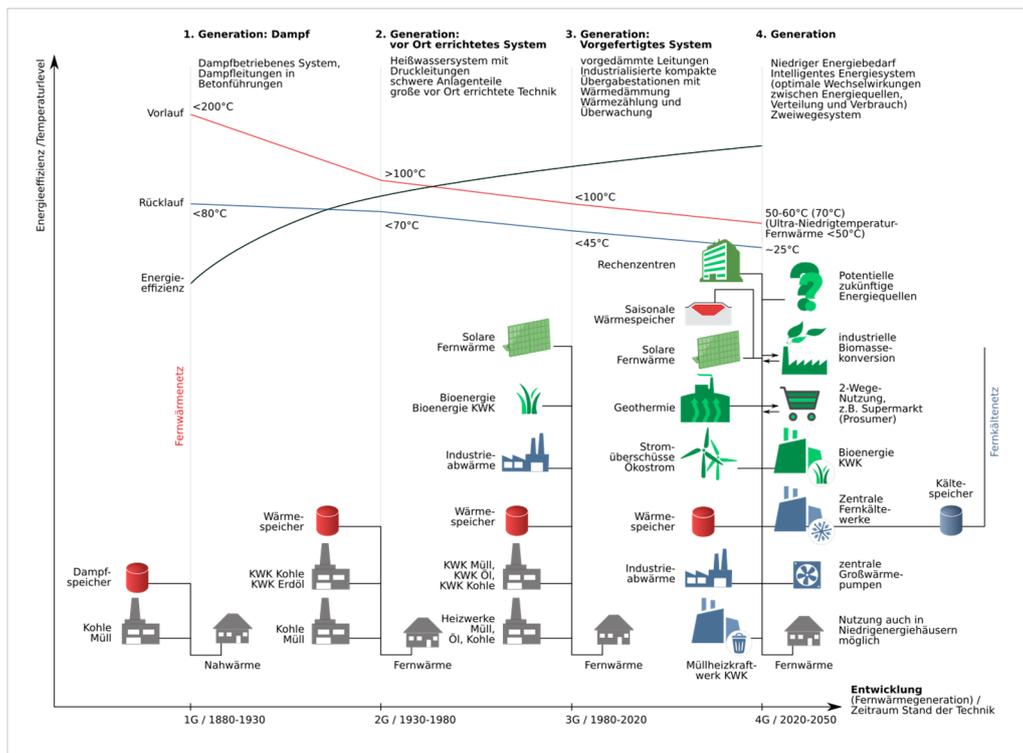


Abb. 3: Historische Entwicklung von Wärmenetzen [30]

In der zweiten Generation (ca. 1930 – 1980) wurden die Systeme in ihrer Größe zum Teil stark ausgeweitet. Darüber hinaus wurde die Wärmeverteilung überwiegend von Dampf auf Wasser umgestellt. Zur Reduzierung der thermischen Verluste wurde hauptsächlich die Vorlauftemperatur abgesenkt, wobei die Temperaturen zumindest im Winter zum Erreichen einer hohen thermischen Übertragungskapazität noch heute deutlich über 100°C gefahren werden. In der Erzeugung wurden nun Kohle- und Abfall-Heizwerke (reine Wärmeerzeugung)

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

sowie vermehrt auch Kohle und Öl befeuerte Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK: energetisch effiziente, gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme) eingesetzt. Nach den Energiekrisen in den 1970'ern hat man in der dritten Generation der NuFS das Vorlauftemperaturniveau weiter deutlich abgesenkt. In der Regel wird es im Sommer auf 70 bis 80°C abgesenkt und im Winter auf unter 100°C angehoben. Neben der Reduzierung der Anzahl reiner Heizwerke wurde großer Wert auf die Ausweitung der KWK gelegt. Darüber hinaus war man bemüht, Hochtemperatur-Abwärme aus der Industrie in die Wärmenetze einzuspeisen und zu Heizzwecken in Gebäuden weiter zu verwenden. Weiterhin kommt als Energieträger Erdgas in immer größerem Umfang zum Einsatz. Abbildung 4 zeigt die anteilmäßige Entwicklung der verschiedenen Energieträger [10].

33. Brennstoffeinsatz in Heizkraftwerken und Fernheizwerken

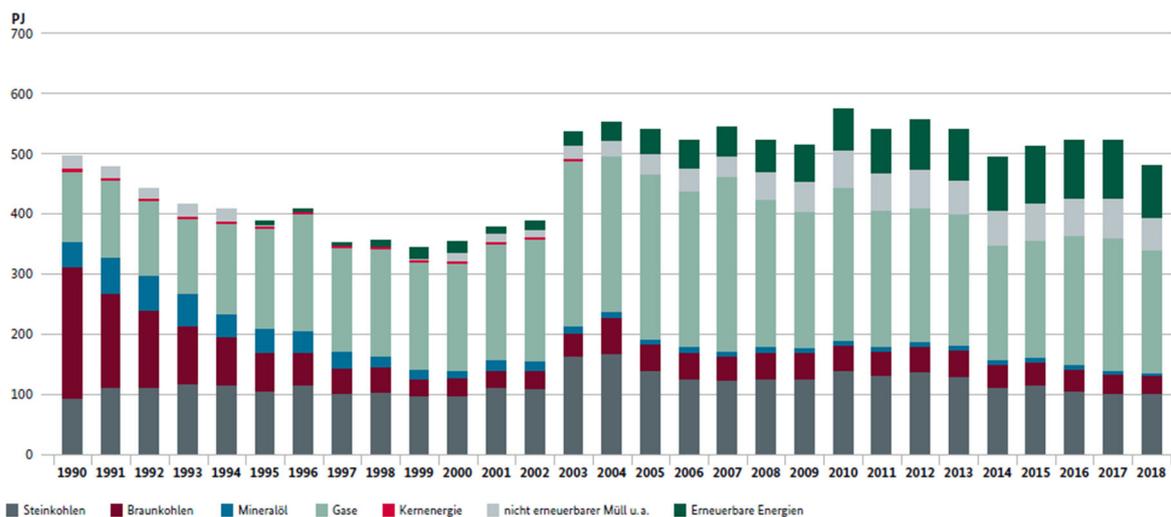


Abb. 4: Entwicklung des Brennstoffeinsatzes in Heizkraftwerken und Fernheizwerken [9]

Speziell in ländlichen Nahwärmenetzen wird die Abwärme von mit Biogas betriebenen BHKW's sowie die Wärme aus der Verbrennung von Biomasse eingesetzt. Vereinzelt kommen auch solarthermische Großanlagen wie in Crailsheim [11] zum Einsatz.

Aufgrund der niedrigeren Vorlauftemperaturen ist es zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden thermischen Übertragungsleistung wichtig, auch die Rücklauftemperatur abzusenken. Dies hat wie bereits erwähnt neben der Reduzierung der Leitungsverluste den Vorteil, dass die Wirkungsgrade einiger Erzeuger signifikant erhöht werden können. So können nach [12] im Bereich der Holzhackschnitzel-Verbrennung die Jahresnutzungsgrade um 25 % ansteigen. Bei gasbetriebenen Brennwert-BHKW's lässt sich der thermische Wirkungsgrad ebenfalls um bis zu 20% erhöhen.

Derzeit werden bundesweit knapp 14 % der Wohnungen über Fernwärme beheizt [13], wobei es regional und zwischen Stadt und Land große Unterschiede gibt. In der Stadt Ulm beispielsweise liegt der Wärmeversorgungsanteil der Fernwärme bei über 50 % [14].

Der Anteil regenerativer Energiequellen bei der Wärme-Gestehung in NuFS liegt landesweit im Mittel bei knapp 18 %. Nimmt man den Anteil an Müllverbrennung dazu, kommt man auf

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

ca. 30 % [10]. Der sehr gute Ruf von NuFS in Bezug auf eine „CO<sub>2</sub>-arme“ Wärmeversorgung beruht in erster Linie auf der Kraft-Wärme-Kopplung und der damit einhergehenden Allokation (Aufteilung) der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Wärme- und Stromanteil. Auch hier gibt es sehr große Unterschiede. Während nach [15] die mittleren Treibhausgas-Emissionen für Fernwärme mit 243 g/kWh angegeben werden (zum Vergleich Heizöl 310 g/kWh bzw. Erdgas 231 g/kWh), geben die Stadtwerke München CO<sub>2</sub>-Emissionen von 150 g/kWh an. Die Fernwärme Hamburg wirbt gar mit CO<sub>2</sub>-Emissionen von nur 64 g/kWh. Die im Mittel noch sehr hohen Treibhausgasemissionen bei [15] sind zum einen mit der Tatsache zu begründen, dass auch aktuell zur Erzeugung von Fernwärme noch sehr viel Kohle und Gas verfeuert wird [16].

Auch wenn die Zeit für die vierte Generation von NuFS bereits vor einigen Jahren eingeleitet wurde, werden in der Praxis die erstrebenswerten Anforderungen an die Systeme der dritten Generation längst nicht überall erreicht. Speziell was die niedrigen Rücklauftemperaturen von unter 45°C anbelangt, sind viele Netzbetreiber von diesem Ziel noch weit entfernt. Das ist sehr bedauerlicher, da eine Reduzierung der Rücklauftemperatur um nur 1 K die Effizienz des Gesamtsystems um im Mittel ein Prozent ansteigen lässt [14].

## Zukünftige Entwicklung

### Vierte Generation von Nah- und Fernwärmenetzen

Bei Wärmenetzen der vierten Generation (verbreitete Umsetzung seit ca. 2020) wird die Vorlauftemperatur weiter bis auf ca. 50 bis 60°C abgesenkt. Diese Möglichkeit einer weiteren Temperaturabsenkung steht in engem Zusammenhang mit einer notwendigen hohen energetischen Qualität der Gebäude. Während es in der Vergangenheit erforderlich war, schlechte Wärmedämmung mit einer großen Heizleistung zu kompensieren, ermöglichen die heutigen Baustandards und Heizungssysteme, die Heizleistung und damit auch die notwendigen Temperaturen deutlich zu reduzieren. Durch diese Vorlauftemperaturabsenkung werden nicht nur die Leitungsverluste reduziert, sondern es ergeben sich auch sehr vielfältige Möglichkeiten für den effizienten Einsatz weiterer Wärmeerzeuger (z.B. Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie) sogar bis hin zur direkten Nutzung von Abwärme.

In diesem Zusammenhang spielt aber nicht nur die Vorlauftemperatur, sondern auch eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur eine entscheidende Rolle. Liegt diese wie angestrebt in einer Größenordnung von 25°C, ergeben sich sehr vielfältige Möglichkeiten auch der dezentralen Abwärme-Nutzung. Ein weiterer Grund für die Forderung niedriger Rücklauftemperaturen liegt in der Aufrechterhaltung der thermischen Übertragungsleistung. Sinkt nämlich die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf im Verteilsystem ab, reduziert sich auch dessen Übertragungskapazität. Daher muss auf das Erreichen niedriger Rücklauftemperaturen sehr großes Augenmerk gelegt werden.

Während beim Bau neuer Wärmenetze speziell in Neubaugebieten diesen Besonderheiten der niedrigen Vor- und Rücklauftemperatur relativ leicht Rechnung getragen werden kann,

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

ergeben sich bei Bestandsanlagen erheblich mehr Schwierigkeiten. Das „Zurechtkommen“ mit niedrigen Vorlauftemperaturen und das „Rückspeisen“ niedriger Rücklauftemperaturen fordern beim Verbraucher meist nicht unerhebliche Investitionen. Um diese auszulösen, ist in der Regel entweder „Druck“ (vertragliche Verpflichtung) oder Motivation (Anreiz) notwendig. Hier sollte vermehrt über flexible Arbeitspreise nachgedacht werden, deren Höhe von der Vorlauftemperatur und der Rücklauftemperatur abhängig ist.

Um jeden Abnehmer mit einer „individuellen Vorlauftemperatur“ zu bedienen, ist der Einsatz von Dreileiterrohrnetzen mit einer höheren Vorlauftemperatur von ca. 70°C und einer niedrigen Vorlauftemperatur von ca. 40°C sowie einem Rücklauf in Betracht zu ziehen.

### **Fünfte Generation von Nah- und Fernwärmenetzen**

Erste umfangreiche Überlegungen, Diskussionen und Publikationen zur fünften Generation von Wärmenetzen fallen schon in die Zeit ab ca. 2005 und liegen damit schon vor dem Beginn der breiten Praxiseinführung der vierten Generation von Netzen ab ca. 2020 vor. Es soll aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass schon wesentlich früher (z.B. 1979 in Dorsten, Deutschland) Wärmenetze gebaut wurden, die dem heutigen Diskussionsstand von Wärmenetzen 5.0 zumindest zum Teil genügen. In der wissenschaftlichen Literatur werden eine ganze Reihe von Bezeichnungen wie etwa [17]:

- Wärmenetz 5.0
- Kalte Wärmenetze
- Anergienetze
- LowEx-Wärmenetze
- Bidirektionale Niedertemperatur-Wärmenetze

für diese 5. Generation der Wärmenetze verwendet.

[17] listet auf seiner Internet-Seite mehr als 50 bereits in Europa realisierte Wärmenetze der 5. Generation. Der Wissenschaftler stellt hier die Merkmale von Wärmenetzen der 5. Generation mit ihren Vor- und Nachteilen sowie den Unterschied zur 4. Generation von Wärmenetzen vor und listet zahlreiche Links zu wertvollen wissenschaftlichen Publikationen in diesem Bereich.

Eine allgemein anerkannte Definition von Wärmenetzen der 5. Generation ist [17] nicht bekannt. Er stellt aber eine eigene Übersetzung eines Definitionsversuchs von [18] vor:

*„Ein Wärmenetz der 5. Generation ist ein thermisches Energieversorgungsnetz, welches Wasser oder Sole als Energieträger sowie hybride Wärmeübergabestationen mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen nutzt. Das Netz wird auf Temperaturen betrieben, die so nahe der Umgebungstemperatur des Bodens liegen, dass eine direkte Wärmeversorgung durch das Netz nicht möglich ist. Die geringen Netztemperaturen ermöglichen die direkte Nutzung von industrieller und urbaner Abwärme sowie erneuerbarer Wärmequellen mit niedrigem Exergiegehalt. Die Möglichkeit, den Betrieb der Wärmepumpen in den*

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

*Wärmeübergabestationen in den Gebäuden umzukehren, erlaubt es, mit demselben Rohrnetz Wärme- und Kältebedarfe von angeschlossenen Verbrauchern zu decken. Die hybriden Wärmeübergabestationen (mit integrierten Wärmepumpen) verbessern die Kopplung verschiedener Energiesektoren (Wärme/Kälte und Strom; Power-to-Heat) in einem dezentralen intelligenten Energiesystem.“*

Im Folgenden wird nun versucht, die wesentlichsten Merkmale, Besonderheiten und Probleme von Wärmenetzen der 5. Generation für den allgemeinen Fachmann zu listen und zu erläutern. Der besseren Verständlichkeit wegen wird versucht, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren und nicht alle Details zu berücksichtigen.

- In Wärmenetzen der 5. Generation versorgt nicht ein oder wenige Versorger viele Verbraucher mit thermischer Energie. Vielmehr haben alle Kunden die Möglichkeit, dem Netz Thermische Energie zu entnehmen oder zuzuführen. Somit tritt der Kunde als Prosumer auf.
- Wird dem Versorgungsnetz durch die Summe der Kunden mehr Wärme entzogen als zugeführt, kühlt es sich ab und muss durch den Betreiber nachgeheizt werden.
- Da zukünftig Gebäude vermehrt auch gekühlt werden müssen, haben die Wärmenetze der 5. Generation nicht nur die Aufgabe, die Gebäude (und andere Kunden) mit Wärme, sondern auch mit „Kälte“ (Aufnahme der Abwärme) zu versorgen. Hierzu können sehr unterschiedlich aufwendige Netzstrukturen (Ein- bis Vierleiter-Netze) zum Einsatz kommen.
- Wird z.B. im Sommer dem Netz durch die Summe der Kunden mehr Wärme zugeführt (Abwärme aus Industrie plus Klimatisierung) als zum Heizen (z.B. Trinkwassererwärmung) benötigt wird, muss das Netz durch den Betreiber gekühlt werden.
- Wärmenetze der 5. Generation, auch kalte Nahwärmenetze genannt, werden auf einem geringen Temperaturniveau (i.d.R. zwischen 5 und 40°C) betrieben, was die folgenden Vorteile mit sich bringt:
  - Geringe Wärmeverluste an die Umgebung, meist Erdreich.
  - Eine Wärmedämmung der Rohrleitungen im Erdreich ist in der Regel nicht notwendig.
  - Erdreich kann als ausgleichende Speichermasse dienen.
  - Leichte direkte Einbindung von Abwärme.
- Die Wärmeübergabestationen bedürfen einer hybriden Ausführung. Wie in Abbildung 5 dargestellt, verfügen die Wärmeübergabestationen in Netzen der 5. Generation über einen Wärmetauscher zur „direkten“ (ohne Temperaturhub durch Wärmepumpe / Kältemaschine) Nutzung der vom Netz bereitgestellten thermischen Energie und einer dazu parallel geschalteten (reversierbaren) Wärmepumpe. Diese muss die vom Netz zur Verfügung gestellte Wärme auf das vom Verbraucher geforderte Temperaturniveau anpassen.
  - Liegt beispielsweise die Versorgungstemperatur im Netz bei 15°C, kann der angeschlossene Kunde diese Niedertemperaturversorgung als Wärmequelle

für die in der Übergabestation integrierte WP nutzen, die das Temperaturniveau auf das vom Heizungssystem benötigte Niveau bedarfsgerecht anhebt (z.B. 25° bis 35°C für Flächenheizungen oder 40° bis 55°C für Heizkörper bzw. 45° bis 70°C für Brauchwassererwärmung). Muss der Kunde in seinem Gebäude Räumlichkeiten auf Grund hoher interner- oder solarer Lasten kühlen, kann er das 15° grädige Wasser aus dem Versorgungsnetz „direkt“ über den Wärmetauscher zur Aktivierung von Kühlflächen nutzen. Sollte er zum Kühlen niedrigere Temperaturen benötigen, als das Versorgungsnetz liefert, kann er die reversierbare Wärmepumpe als Kältemaschine einsetzen und so das für seine Anwendung notwendige Temperaturniveau selbst erzeugen.

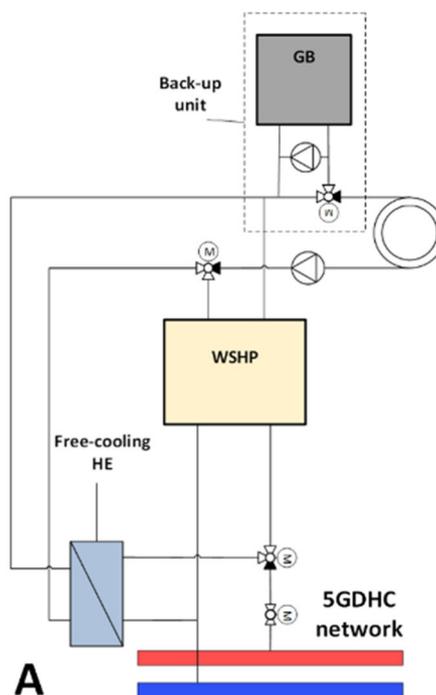


Abb. 5: Wärmeübergabestation in Netzen der 5. Generation

- Besteht im Sommer bei den Kunden ein sehr hoher Kühlbedarf und speisen diese viel Wärme in das Netz ein, erhöht sich das Temperaturniveau im Netz. Hierdurch erleichtert sich der Anwendungsfall Heizen, wohingegen der Aufwand für das Kühlen beim Kunden größer wird.
- Der Idealfall für den Netzbetreiber und die Summe aller Kunden liegt vor, wenn durch den Betreiber möglichst wenig Heizenergie zu, oder Kühlenergie abgeführt werden muss. Hierzu kann er das Temperaturniveau des Netzes in gewissen Grenzen (ca. 5° bis 40°C) variieren. Es ist anzumerken, dass der optimale Betriebspunkt für die Summe der Netzteilnehmer nicht das Optimum für den einzelnen Kunden bedeutet.
- Die Idee, die diesen Wärmenetzen der 5. Generation zugrunde liegt, lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Netzverluste an die Umgebung minimieren.
- Das Netz übernimmt nur die Grundversorgung.
- Die individuelle Temperaturanpassung beim Kunden erfolgt durch Wärmepumpen / Kältemaschinen bzw. Beimischung.
- Durch den gleichzeitigen Bedarf an Kälte und Wärme der verschiedenen Kunden / Sektoren kann hier ein Ausgleich stattfinden mit dem Ziel, ein Minimum an Wärme nachzuheizen oder an die Umgebung abzuführen (kühlen).
- Wärmenetze der 5. Generation dienen einer Vielzahl an dezentralen Wärmepumpen als Wärmequelle und / oder einer Vielzahl von Kältemaschinen als Wärmesenke. Damit ermöglichen sie eine geräuschärmere und optisch weniger präsenste Form der Wärme- und Kälteversorgung als Luft-WP und luftgekühlte Kältemaschinen.

Obwohl diese Wärmenetze der 5. Generation eine Vielzahl von Vorteilen bieten, weisen sie auch eine Reihe von Nachteilen auf:

- Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf liegt mit 5 bis 10 K wesentlich niedriger als bei herkömmlichen Wärmenetzen. Dies führt bei einer gleich großen thermischen Übertragungsleistung zu entsprechend höheren Massenströmen und damit zu einem erheblich höheren Strombedarf durch die Umwälzpumpen. Größere Rohrdurchmesser (dank günstiger Kunststoffleitungen und nicht notwendiger Wärmedämmung) können den hohen Druckverlusten und damit Stromkosten entgegenwirken. Gleiches gilt für den niedrigeren Wärme- / Kältebedarf moderner oder sanierter Gebäude.
- Es ist eine aufwendige Systemregulierung notwendig, die die verschiedenen Interessen zahlreicher, nicht nur einzelner Kunden berücksichtigen muss.
- Freiheitsgrade bei den Randbedingungen (variable Temperaturniveaus) machen Planung und Ausführung nicht einfacher. Derzeit mangelt es an bewährten Planungsmethoden und Regelungskonzepten sowie Betriebserfahrungen [18].
- Alle Wärmeübergabestationen werden aufwändiger und teurer, da sie eine Wärmepumpe, ggf. sogar reversierbare Wärmepumpe (mit Kühlfunktion) benötigen. Es sei in diesem Zusammenhang ganz explizit darauf hingewiesen, dass Wärmepumpen in der Regel kostenfreie Umweltwärme nutzen. So berücksichtigen alle Kennzahlen (Leistungszahl, COP, SCOP, JAZ etc.) zur Beschreibung der Effizienz von Wärmepumpen und Wärmepumpensystemen die dem Verdampfer zugeführte Leistung / Energie (Umweltwärme) nicht!

Bei der Versorgung der dezentralen Wärmepumpen in den Übergabestationen mit niedertemperiertem Wasser aus dem Wärmenetz der 5. Generation kann aber sicherlich nicht mehr von einer kostenfreien Versorgung mit Umweltwärme ausgegangen werden.

Bei den heutigen Wärmenetzen der 4. Generation und älter entfallen nur ca. 20 bis 30 % der vom Kunden zu zahlenden Kosten auf die eingesetzten Energieträger. D.h. 70 bis

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

80 % der Kosten sind im Wesentlichen Investitions- und Betriebskosten. Diese Investitions- und Betriebskosten dürften bei den Wärmenetzen der 5. Generation aber kaum geringer ausfallen. Dazu kommen dann noch die Stromkosten für den Antrieb der dezentralen Wärmepumpen. Somit dürfte der vom Verbraucher zu tragende Gesamtaufwand pro kWh Nutzenergie fast doppelt so hoch liegen, wie bei Wärmepumpen, die kostenfreie Umweltenergie nutzen.

Der Autor möchte hier nicht missverstanden werden. Dies ist kein Plädoyer gegen Wärmenetze der 5. Generation. Aber man muss den Fakten in die Augen sehen. Hierzu gehört auf der anderen Seite auch, dass wie schon erwähnt Wärmenetze der 5. Generation oft erst einen geräuschärmeren und optisch weniger präsenten Betrieb der Wärme- und Kälteversorgung ermöglichen, was speziell in dicht besiedelten Gebieten ein erheblicher Vorteil ist.

- Wenn sich die Temperaturen im Wärmenetz ändern, ändert sich auch die Verdampfungstemperatur und damit der Verdampfungsdruck an den dezentralen Wärmepumpen. Ein Abfallen der Temperatur verringert nicht nur die Effizienz (Carnot- und reale Leistungszahl) der WP, sondern auch den Liefergrad der Verdichter und die Dichte am Ansaugstutzen. Damit sinkt auch die Heizleistung der WP erheblich. In Abbildung 6 [6] sind die Wirkungsgrade und Liefergrade für verschiedene Verdichter qualitativ und in einer quantitativen Größenordnung angegeben. Für Hubkolbenverdichter stehen in der Praxis typspezifische Diagramme nur sehr vereinzelt zur Verfügung.

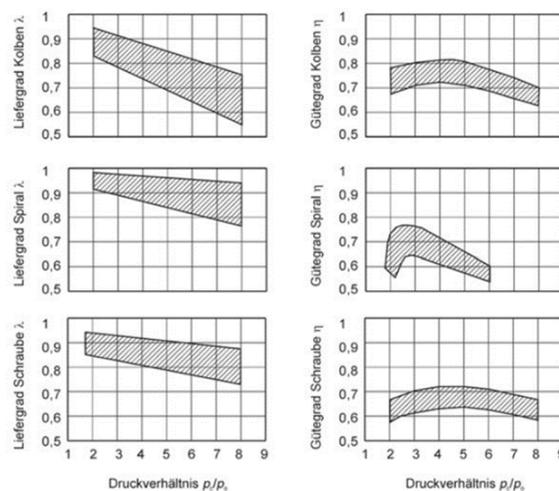


Abb. 6: Wirkungsgrad und Liefergrad für verschiedene Verdichter-Typen [6]

Für heute bei kleineren WP überwiegend eingesetzte Scroll- oder Rollkolbenverdichter sind solche Diagramme, die für eine optimierte Auslegung und Betriebsweise notwendig sind, gar nicht existent oder werden zumindest nicht zur Verfügung gestellt.

Der Autor hat im Rahmen von Gerichtsgutachten solche Unterlagen schon mehrfach erfolglos bei Herstellern angefragt. Auch angesehene Forschungsinstitutionen konnten hier nur die individuelle Einzelmessung auf einem Prüfstand anbieten.

- Zuvor genannter Punkt gilt im Kältebetrieb der reversierbaren WP in ähnlicher Weise.
- Wenn notwendige Informationen zur Detailoptimierung von Komponenten wie z.B. Wärmepumpen gar nicht zur Verfügung stehen, darf oder muss an die Aussagen von Simulationen von komplexen Systemen wie Wärmenetzen der 5. Generation, die solche Komponenten beinhalten, ein großes Fragezeichen gestellt werden. Das heißt nicht, dass die Simulation falsch ist; aber sie bildet eben nur das Modell und nicht die Realität ab!

Auch hier möchte der Autor nicht falsch verstanden werden. Dies ist kein Plädoyer gegen Wärmenetze der 5. Generation oder Simulationen. Aber die Aussagen bedürfen einer kritischen Hinterfragung und Interpretation sowie einem Abgleich mit der Realität. Und hier steht man noch am Anfang und hat recht begrenzte Möglichkeiten.

- Es gibt mehrere Gründe, warum die Druckdifferenz und das Druckverhältnis von Kondensations- und Verdampfungsdruck in WP (Verdichter, Expansionsorgan) einen bestimmten Grenzwert nicht unterschreiten darf. Damit geht auch ein Mindesttemperaturhub von Wärmepumpe und Kältemaschine einher, der in einer Größenordnung von 20 K (entspricht dem derzeitigen Stand der Technik) liegt. Ist der in der Praxis notwendige Temperaturhub kleiner als der Mindesttemperaturhub der WP, kann dies in der Praxis nicht energetisch vorteilhaft ausgenutzt werden. Liefert beispielsweise das Wärmenetz eine Temperatur von 30°C, während der Heizkreis eine Vorlauftemperatur von 35°C benötigt, muss die Wärmepumpe eingesetzt werden. Deren Effizienz entspricht dann aber einem COP bei einer Kondensationstemperatur von 50° und nicht 35°C.

Auch diese Überlegungen sind zukünftig in die Systembewertung verstärkt mit einzubeziehen.

In der historischen Betrachtungsweise stellen die dezentral in den Gebäuden installierten Wärmeübergabestationen das Bindeglied zwischen dem Wärmeversorgungsnetz und den privaten Verbrauchernetzen dar. Zukünftig haben die Versorgungsnetze die Aufgabe der Wärme- und Kälteversorgung.

Mit dem Begriff Prosumer bezeichnet man einen Kunden, der sowohl die Funktion/Rolle des Produzenten/Versorgers (Producer) als auch des Verbrauchers (Consumers) einnehmen kann. Befindet sich nun ein Wärmenetz der 5. Generation im überwiegenden Heizmodus (der Netzbetreiber muss Wärme nachspeisen), gilt jeder Kunde, der zu diesem Zeitpunkt Wärme entnimmt, als Verbraucher, während diejenigen, die dem Netz Wärme zuführen, weil sie selbst kühlen müssen (d.h. Abwärme weitergeben) in diesem Moment Producer sind. Ist hingegen das Netz im überwiegenden Kühlmodus (Netzbetreiber muss Wärme abführen), so sind all jene Kunden, die zu Heizzwecken Wärme entnehmen Producer (netzdienliche Wärmeabnahme) - und diejenigen, die kühlen müssen und damit Wärme ins Netz einspeisen, Consumer (netzbelastende Wärmezufuhr).

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Nachdem nun wesentliche Vorteile von Wärmenetzen der 4. und 5. Generation gelistet sowie einige Probleme angesprochen wurden, um dem interessierten Leser einen Eindruck zu vermitteln, wo die Reise der Wärmenetze hingehen kann, sollen nun wie eingangs angesprochen, Empfehlungen für die Ausführung gebäudeseitiger Heizungssysteme samt Wärmeübergabestationen gegeben werden.

### **Gebäudeseitige Heizungssysteme**

Wärmeübergabestationen (WÜST), wie in Abbildung 7 dargestellt, bilden das Bindeglied zwischen dem Versorgungsnetz und den lokalen Verbrauchernetzen, die mit der Zeit zu Prosumernetzen (Kundennetze) mutieren. Dabei kommt den Wärmeübergabestationen die Aufgabe zu, Angebot (und Nachfrage) der Versorger mit den Wünschen, Anforderungen (und „Lieferoptionen“) der Verbraucher oder Kunden (zukünftige Prosumer) bestmöglich zu vereinen.



Abb. 7: Wärmeübergabestation [31]

Bei Wärmenetzen der 5. Generation werden hierzu in den Übergabestationen zumindest Wärmepumpen (WP) z.T. aber auch reversierbare Wärmepumpen (RWP) eingesetzt, die sowohl heizen als auch kühlen können. Hierbei ist darauf zu achten, dass der für den Antrieb der RWP benötigte Stromverbrauch möglichst gering bleibt. Neben dem Versorgungsnetz spielen dabei auch die Konzeption, Auslegung und der Betrieb der lokalen Kundennetze eine zentrale Rolle. Auch wenn heute nicht die Entwicklungen sämtlicher Details absehbar sind, können schon jetzt eine ganze Reihe von Maßnahmen angestoßen und umgesetzt werden, die bereits heute systemdienlich sind, und dies in Zukunft auch bleiben werden.

### **Absenken der Rücklauftemperatur**

Noch immer kämpft der überwiegende Teil von NuFS (der 2., 3. und z.T. auch 4. Generation) mit zu hohen Rücklauftemperaturen im realen Betrieb.

Obwohl in der wissenschaftlichen Literatur schon seit 35 Jahren auf das zunehmende Problem der Rücklauftemperaturenanhebung („delta T degradation“ oder „low delta T syndrom“) in Heizungssystemen hingewiesen wird [19], findet dies in der Praxis erst sehr langsam

Aufmerksamkeit. Die Höhe der Rücklauftemperatur an den einzelnen Wärmeübergabestationen wird durch:

- die Rücklauftemperatur der einzelnen Verbraucher,
- die hydraulische Verschaltung der Verbraucher,
- einem fehlenden hydraulischen Abgleich sowie
- ein Anheben der Rücklauftemperatur aufgrund von in den Rücklauf überströmendem Vorlaufwasser

geprägt.

### **Reduzierung der Verbraucher-Rücklauftemperatur**

Die Höhe der Rücklauftemperatur direkt an den Verbrauchern wird zunächst durch die Wahl und Auslegung der Wärmeübertrager, z.B. der Raumheizeinrichtungen, festgelegt. Hier kann bei vorgegebener Leistung das Temperaturniveau in erster Linie durch eine große Wärmeübertragungsfläche abgesenkt werden. Die möglichst konsequente Beachtung des Gegenstromprinzips an Wärmeübertragern hilft ebenfalls, die Rücklauftemperaturen abzusenken. Entgegen einer weit verbreiteten Einschätzung führt bei konstanter thermischer Leistungsabnahme eine Erhöhung der Vorlauftemperatur (bei korrekt geregelter Massenstrom) zu einem Absinken der Rücklauftemperatur am Verbraucher.

Im Hinblick auf niedrige Rücklauftemperaturen ist in der Praxis nicht nur dem hydraulischen Abgleich, sondern auch der richtigen Dimensionierung von Regelventilen [19] große Aufmerksamkeit zu schenken.

In hydraulisch nicht abgeglichenen Systemen erhöht sich bei zu stark durchströmten Verbrauchern die Rücklauftemperatur, während sie bei zu schwach durchströmten absinkt. Die Mischwasser-Rücklauftemperatur zur Wärmeübergabestation, die sich aus den Massenstrom-gewichteten Rücklauftemperaturen der einzelnen Verbraucher ergibt, steigt bei konstantem Gesamtmassenstrom deutlich an [20]. Gleiches passiert, wenn Regelventile aufgrund fehlerhafter Dimensionierung nicht konstant regeln, sondern ins Schwingen geraten [19].

Weiterhin ist der Abgleich der Wärmekapazitätsströme an Wärmetauschern von Kreislauf-Verbund-Systemen eine altbekannte Möglichkeit [21], die Rücklauftemperatur zu reduzieren, was in der Praxis aber sehr wenig Beachtung findet.

### **Hydraulische Verschaltung der Verbraucher**

Grundsätzlich lassen sich Verbraucher oder Verbrauchergruppen (Heizkreise) parallel oder in Reihe anordnen. Die Parallelschaltung hat den Vorteil, dass sich die Verbraucher individuell mit Heizungswasser versorgen lassen, wodurch auch die Leistung und die Vorlauftemperatur eines jeden Verbrauchers beliebig variiert werden kann. Die Reihenschaltung hingegen bringt den Vorteil, dass der Rücklauf weiter ausgekühlt werden kann. Dies bietet sich besonders dann an, wenn die Verbraucher bzw. Verbrauchergruppen ohnehin unterschiedliche Vorlauftemperaturen benötigen, wie dies zum Beispiel bei Heizkörper- und Fußbodenheizkreisen der Fall ist. Hier ist der Rücklauf der Heizkörper in der Regel hinreichend

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

warm, um als Vorlauf für den Fußbodenheizkreis zu fungieren. Problematisch bei der starren Reihenschaltung ist, dass der Heizwassermassenstrom nicht individuell auf den jeweiligen Verbraucherkreis angepasst werden kann, ohne dass sich auch der Massenstrom in den anderen Verbrauchern ändert.

H.-G. Baunach und R. Zortea sind als Pioniere der flexiblen Reihen- / Paralleleinbindung von Verbrauchern anzusehen. Vereinfacht ausgedrückt, können bei entsprechenden Randbedingungen die Verbraucher zu Gunsten einer niedrigen Rücklauftemperatur – und damit auch **eines** geringen Massenstroms aufgrund der großen Gesamt-Temperaturspannung - in Reihe betrieben werden. Fordert einer der Verbraucher (oder Verbrauchergruppen) aber einen anderen Massenstrom oder eine höhere Vorlauftemperatur, wird ein variabler Bypass aktiviert. Somit lassen sich die Verbraucher von der starren Reihenschaltung stufenlos in eine Parallelschaltung überführen. Damit lässt sich der Vorteil der Reihenschaltung, die niedrige Rücklauftemperatur, bei voller individueller Flexibilität eines jeden Verbrauchers bestmöglich erreichen.

Die Fa. Zortström erreicht dies mit Hilfe ihrer „ZORTSTRÖM-Multi Verteiler“ [22]. Hier wird wie in Abbildung 8 dargestellt der Verteiler in Form einer Hydraulischen Weiche ausgeführt. Durch den Einbau horizontaler, durchlässiger „FlowSplit“ Trennbleche werden verschiedene Temperaturzonen erzeugt, an die die unterschiedlichen Erzeuger- und Verbraucherkreise angeschlossen werden. Die FlowSplit-Trennbleche ermöglichen einen strömungsberuhigten Wasseraustausch zwischen den einzelnen Zonen. Sind die Massenströme der verschiedenen Heizkreise aufeinander abgestimmt, so sind diese im günstigsten Fall streng in Reihe geschaltet. Differieren die Massenströme, kommt es im Verteiler zu einem Ausgleich der Massenströme über die durchlässigen Temperaturzonen-Trennbleche. Somit kann jeder Verbraucher individuell mit dem notwendigen Massenstrom versorgt werden.

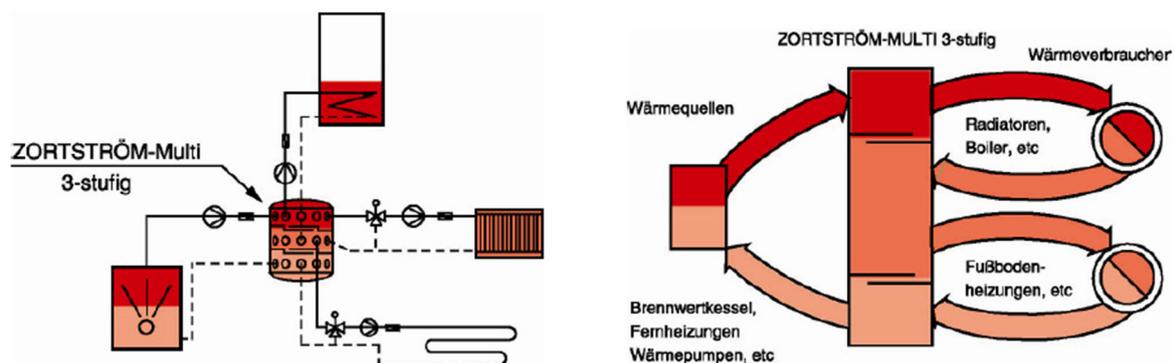


Abb. 8: Zortström-Multi Verteiler mit drei Temperaturzonen [22]

Mit dem Produkt „multiflow“ der Fa. Sinusverteiler [23] wird seit wenigen Jahren ein sehr ähnlicher Ansatz verfolgt.

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Die Firma Baunach bietet ein spezielles Mehrwege-Mischventil namens „rendeMIX“ an, welches die Vorlauftemperatur für den Niedertemperatur-Verbraucher (z.B. Fußbodenheizung) aus dessen eigener Rücklauftemperatur, der Rücklauftemperatur des Hochtemperatur-Verbrauchers (Heizkörper) und der Vorlauftemperatur des Wärmeerzeugers zusammen mischen kann [24]. Wie in Abbildung 9 dargestellt, kann im vorliegenden Fall die Vorlauftemperatur des Heizkreises 2 aus der eigenen- und der Rücklauftemperatur des Heizkreises 1 zusammengemischt werden. Gegenüber der klassischen Parallelschaltung der Verbraucher (Abbildung 10) kann die strikte Reihenschaltung der Verbraucher die Rücklauftemperatur – bei vorliegenden Randbedingungen - um mehr als 13°C auf 30°C reduzieren. Hierbei ergibt sich gegenüber der klassischen Parallelschaltung aus Abbildung 10 ein um 33 % reduzierter Massenstrom, was den Druckverlust im Erzeuger mehr als halbiert.

Erst wenn zum Beispiel der Massenstrom im Heizkreis 1 zu gering oder dessen Rücklauftemperatur zu niedrig wird, um den Verbraucher 2 ausreichend zu versorgen, wird Vorlaufwasser direkt vom Erzeuger beigemischt und die Verbraucherkreise gehen so in eine Parallelschaltung über. Allerdings führt die Tatsache, dass Heizkreis 2 nicht mehr den kompletten Massenstrom von Heizkreis 1 verarbeiten kann, zu einer Anhebung der Mischwasserrücklauftemperatur am Erzeuger.

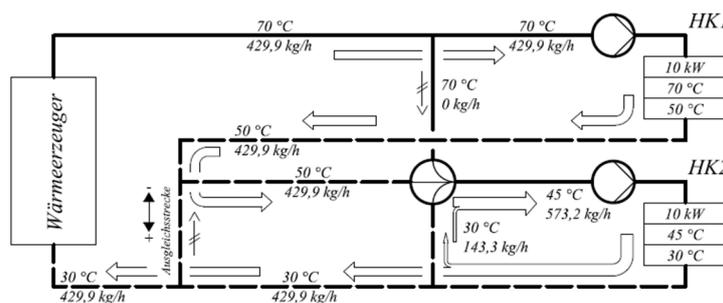


Abb. 9: Variable Reihen-Parallelschaltung von Heizkreisen mittels Mehrwege-Mischventil „rendeMix“ [25]

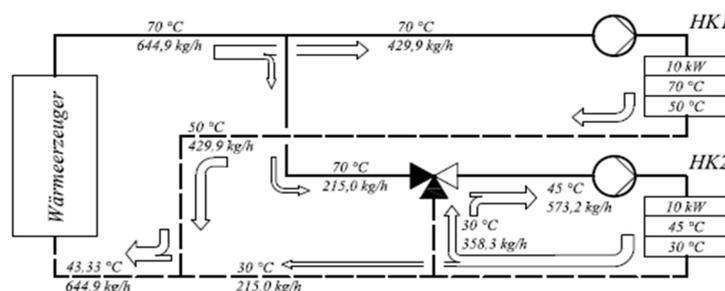


Abb. 10: Klassische Parallelschaltung von statischem- (HK 1) und gemischtem Heizkreis (HK 2) [25]

Die sehr kompakte Bauweise des patentierten „rendeMix“ Mehrwege-Mischventils kann bei Bedarf wie in Abbildung 11 dargestellt durch zwei Dreiflur-Mischventile ersetzt werden.

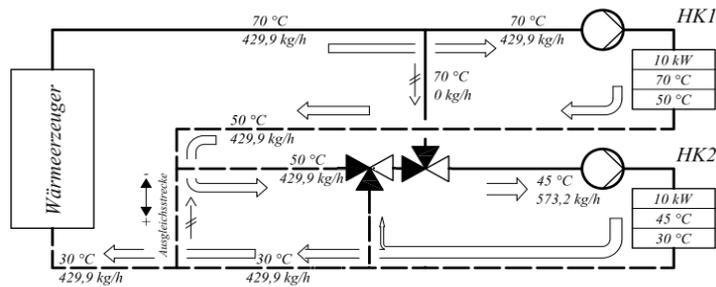


Abb. 11: Variable Reihen-Parallelschaltung von Heizkreisen mittels zwei Dreiwege-Mischventilen [25]

Nachdem zahlreiche Patente auf diesem Gebiet ausgelaufen sind oder sich in der Auslaufphase befinden, setzt am Markt derzeit eine Konkurrenzsituation durch weitere Hersteller ein. So bietet die Fa. Yados mit ihrem Energieeffizienzverteiler, vgl. Abbildung 12 exakt die gleiche Funktionalität an, und dies bereits heute in beliebigen Dimensionen.

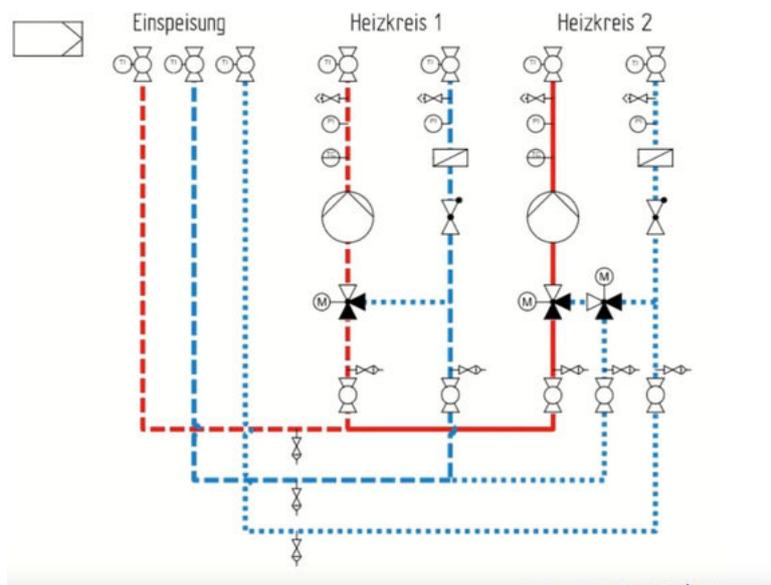


Abb. 12: Energieeffizienzverteiler Fa. Yados [26]

### Hydraulischer Abgleich

In hydraulisch nicht abgeglichenen Systemen erhöht sich bei zu stark durchströmten Verbrauchern die Rücklauftemperatur ohne, dass die Heizleistung signifikant ansteigt. Bei zu schwach durchströmten Verbrauchern sinkt hingegen die Leistung merklich und die Rücklauftemperatur deutlich ab. Die Mischwasser-Rücklauftemperatur zur Wärmeübergabestation, die sich aus den Massenstrom-gewichteten Rücklauftemperaturen der einzelnen Verbraucher ergibt, steigt bei konstantem Gesamtmassenstrom deutlich an

[20]. Hieraus ergibt sich eine Reduzierung der gesamten Übertragungsleistung. Oder anders ausgedrückt – zur Aufrechterhaltung der Übertragungsleistung muss bei erhöhter Rücklaufemperatur der Massenstrom angehoben werden.

### Mindestmassenstrom

Die Hersteller fordern für den überwiegenden Teil ihrer Wärmeerzeuger (BHKW, Brennwert- und Niedertemperaturkessel sowie Wärmepumpen) heute einen Mindestmassenstrom.

Mindestmassenströme werden vornehmlich bei der Anwendung von sogenannten Hochleistungswärmetauschern gefordert. Diese Wärmetauscher weisen sich meist durch einen geringen Wasserinhalt und kleine Wasserkanäle aus. Hier wird im Nennbetrieb durch hohe Turbulenzen ein guter Wärmeübergang erzielt. Bei einer zu starken Reduzierung des Massenstroms besteht aber die Gefahr, dass zumindest lokal die Strömung von turbulent auf laminar umschlägt, was zu einer starken Reduzierung des Wärmeübergangs und damit auch der Wärmeabfuhr führt. Neben einer höheren Grädigkeit bei der Wärmeübertragung kann dies bei höheren Temperaturen oft die Gefahr lokaler Verdampfung und Kavitation und damit eine starke Bauteilschädigung mit sich bringen. Durch die Einhaltung eines Mindestmassenstroms kann dies vermieden werden.

Diese Zusammenhänge müssen auch bei Wärmeübergabestationen berücksichtigt werden.

Bei Massenstrom-variablen Verbrauchern wird der meist bauseits zu garantierende Mindestmassenstrom durch ein Überströmen von Vorlaufwasser in den Rücklauf sichergestellt. Dies kann durch ein Überströmventil, wie in Abbildung 13 a, oder eine Hydraulische Weiche, wie in Abbildung 13 b dargestellt, geschehen.

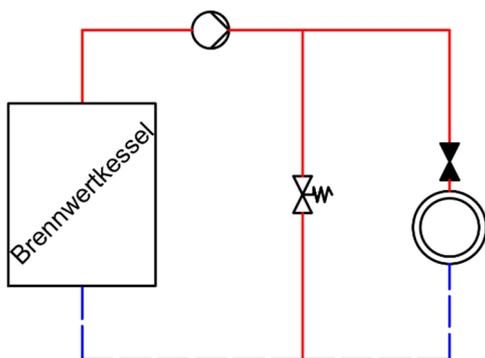


Abb. 13 a: Garantierter Mindestmassenstrom mittels Überströmventil

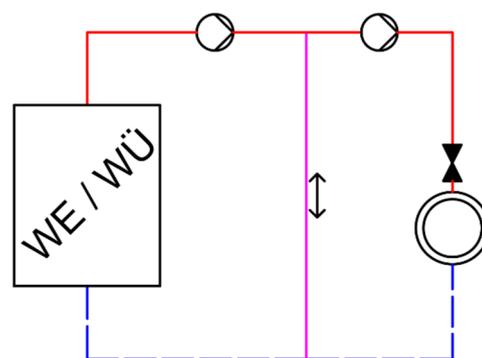


Abb. 13 b: Garantierter Mindestmassenstrom mittels Hydraulischer Weiche

Auch die Verwendung einer Umlenkschaltung (Abbildung 14 a) oder einer klassischen Einspritzschaltung (Abbildung 14 b) garantieren einen konstanten Massenstrom über den Wärmeerzeuger (WE) bzw. Wärmeübertrager (WÜ).

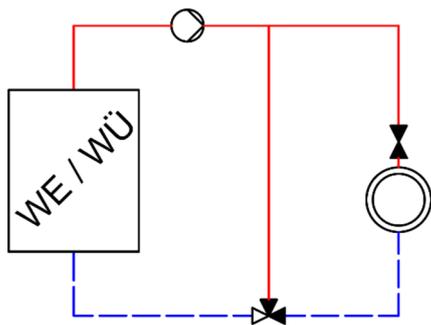


Abb. 14 a: Umlenkschaltung

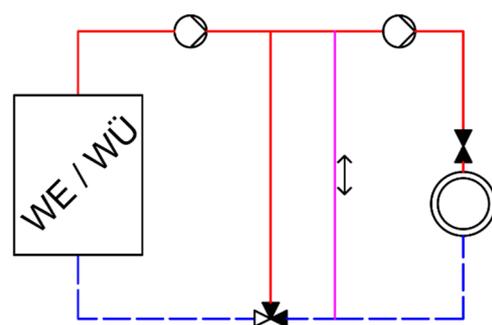


Abb. 14 b: Klassische Einspritzschaltung

Der große Nachteil bei all diesen Varianten ist die Rücklauftemperaturenanhebung (Heizfall) im Verbraucherkreis. Diese pflanzt sich über den Wärmetauscher der Wärmeübergabestation in den Rücklauf des Versorgungsnetzes fort.

Da die Sicherstellung eines Mindestmassenstroms in der Praxis von Planung und Ausführung hohe Aufmerksamkeit erfordert, wird hierauf in den Verkaufsunterlagen in der Regel nicht hinreichend eingegangen. Die Hersteller behaupten, durch „optimierte Leistungsregelungen“ einen weitgehend störungsfreien Betrieb sicher stellen zu können, was in der Praxis nur bedingt funktioniert. Der notwendige Mindestmassenstrom wird von den Herstellern oft erst in der Betriebsanleitung angegeben.

Daher sind beim Einsatz von Wärmeerzeugern sowie Wärmeübergabestationen bevorzugt solche zu verwenden, die keine Anforderung an den Mindestmassenstrom stellen. Wird hingegen ein Mindestmassenstrom gefordert, sollte der reale Massenstrom in der Praxis bis zu diesem Wert abgesenkt werden. Erst wenn dieser Grenzwert unterschritten zu werden droht, soll er durch ein Überströmen von Vorlaufwasser in den Rücklauf konstant gehalten werden.

In der Praxis hingegen werden Komponenten, die einen Mindestmassenstrom fordern, in der Regel mit einem konstanten Massenstrom, meist dem Nennmassenstrom, angefahren. Hierfür wird unnötig viel Wasser vom Vorlauf in den Rücklauf abgeleitet, was im Heizfall zu einem starken Anstieg der Rücklauftemperatur führt.

Wird kein Mindestmassenstrom benötigt, lässt sich bei einer Regelung der thermischen Übertragungsleistung am Verbraucher mittels hydraulischer Drosselschaltung (Massenstromregelung) eine niedrigere Rücklauftemperatur erreichen, als bei Verwendung einer Beimischschaltung (Vorlauftemperaturregelung).

### Pufferspeicher (Spitzenlastabdeckung)

Auch bei NuFS setzen sich die Gebühren aus Leistungs- und Arbeitspreis zusammen. Um kurzzeitige Leistungsspitzen und damit hohe Leistungspreise zu vermeiden, setzen etliche Kunden in ihren Systemen sogenannte Spitzenlastspeicher ein. Bei einer ideal geschichteten

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Speicherbeladung und -entladung sowie bei richtiger Positionierung der Temperaturfühler für die Regelung des Be- und Entladevorgangs kommt es zu keiner Rücklauftemperaturenanhebung. In der Praxis gibt es allerdings immer auch unter günstigen Bedingungen eine gewisse Durchmischung im Pufferspeicher, die zwangsläufig zu einem Anstieg der Rücklauftemperatur und einem Absenken der Vorlauftemperatur führt [32]. Im realen Alltag sieht das Ganze oft so schlimm aus, dass die Rücklauftemperatur nur wenige Grad unter der Vorlauftemperatur liegt. Die Stadtwerke Gießen haben sich schon vor vielen Jahren entschlossen, bei Wohngebäuden den Spitzenlastspeicher durch einen größeren Wärmetauscher zu ersetzen, ohne hierfür bei kurzzeitigen Leistungsüberschreitungen einen erhöhten Leistungspreis zu verrechnen. Der Vorteil der deutlich niedrigeren Rücklauftemperaturen überwiegt hier. Dieses Beispiel kann keinesfalls verallgemeinert werden, vergleichbare Problemsituationen sind aber häufig und die resultierende Maßnahme durchaus sinnvoll.

### Trinkwassererwärmung

Die Temperatur in der öffentlichen Wasserversorgung schwankt saisonal zwischen ca. 5° und 15°C. Für die Trinkwarmwasserversorgung wird das Wasser aus hygienischen Gründen heute meist auf 60°C erwärmt. Auch wenn dies nicht die einzige Möglichkeit ist, hygienisch sicher Trinkwarmwasser bereitzustellen, so ist sie doch sehr verbreitet. Von Seiten der Nutzer reicht in der Regel eine Trinkwarmwassertemperatur von 45°C an den Zapfstellen.

Soll nun Kaltwasser von 10° auf 60°C aufgeheizt werden, so reicht bei Verwendung eines Gegenstromwärmetauschers (Abbildung 15) in der Regel 65° grädiges Heizungswasser aus, das bis auf ca. 15°C abgekühlt werden kann (in der Praxis 65->25/60<-10°C).

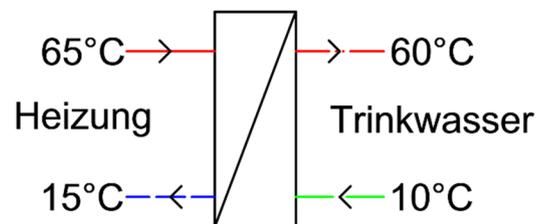


Abb. 15: Trinkwassererwärmung im Gegenstromwärmetauscher

Um unter anderem Spitzenlasten zu reduzieren, werden in der Trinkwarmwasserversorgung häufig Trinkwarmwasserspeicher eingesetzt. Hier wird zwischen Speichern mit innenliegenden Wärmeübertragern (Abbildung 16 a) und solchen mit außenliegenden Wärmeübertragern (Abbildung 16 b) unterschieden.

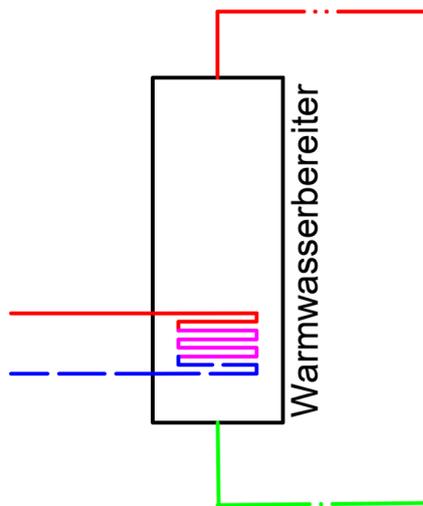


Abb. 16a: Speicher mit innenliegendem Wärmeübertrager

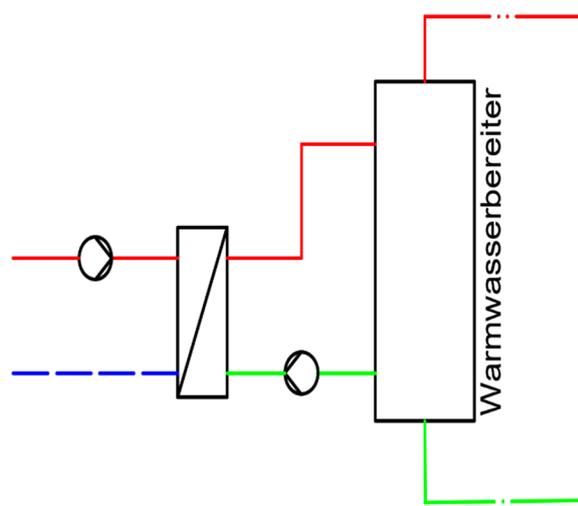


Abb. 16 b: Speicher mit externen Wärmeübertrager

Die innere Wärmeübertragung hat den großen Nachteil, dass mit steigender Speichertemperatur auch die Rücklauf­temperatur des Heizmediums zwangsläufig ansteigt. Bei der Beladung des Puffers mittels Speicher­ladesystem und externem Gegenstrom­Wärmeübertrager (Abbildung 16 b) kann, eine ideale Beladung und Schichtung im Speicher vorausgesetzt, die Rücklauf­temperatur bis zum vollständigen Beladen des Speichers niedrig gehalten werden. Dieser Idealfall kommt den gewünschten niedrigen Rücklauf­temperaturen in der Versorgung sehr entgegen. In der Praxis kommt es aber häufig zu zahlreichen Problemen und zum Teil zu extremen Vermischungen im Speicher, die zu hohen Rücklauf­temperaturen des Heizmediums führen. Beispielhaft kann hier genannt werden:

- Schlechte Schichteigenschaften des Pufferspeichers (z.B. durch Rohr­anschlüsse)
- Interner Temperaturausgleich durch gut wärmeleitende Einbauten.

Die häufigsten Ursachen für eine zu hohe Durchmischung sind:

- zu hohe Massen­ströme bzw. Strömungs­geschwindigkeiten bei der Be- und Speicher­beladung.
  - Zur Erreichung der Solltemperatur muss das Wasser mehrmals umgewälzt werden
  - Der hohe Massenstrom führt zu einer zusätzlichen Durchmischung im Speicher
- Verschmutzter Wärmetauscher mit einer erheblich reduzierten Übertragungsleistung (auch hier muss das Wasser mehrfach umgewälzt werden).

Erschwerend kommt bei allen Anwendungen noch die Aufheizung des Zirkulationswassers dazu, das von 55° auf 60°C aufgewärmt werden muss. Auch wenn die benötigte Leistung für die Aufheizung des Zirkulationswassers gering ist, belaufen sich die Zirkulationsverluste nicht selten auf weit über 50 % des gesamten Energiebedarfs zur Trinkwassererwärmung, weshalb

die Trinkwassererwärmung einen zentralen Einfluss auf die Rücklauftemperatur von Wärmeübergabestationen hat. Nicht selten wird die Trinkwassererwärmung im Zusammenhang Rücklauftemperaturenanhebung als „Übel Nummer eins“ bezeichnet.

In der Praxis gibt es zahlreiche Bemühungen und Erfolge, die Rücklauftemperatur an den Wärmeübergabestationen auch mit Trinkwassererwärmung zu senken. Bei einem Aufheizen der Trinkwasserzirkulation von 55° auf 60°C kann selbst der beste Techniker das Heizwasser auf bestenfalls 57°C abkühlen. Durch eine Reduzierung des Massenstroms auf ein notwendiges Minimum kann er aber dafür sorgen, dass die Mischtemperatur an der Wärmeübergabestation drastisch reduziert wird (vgl. Absenkung der Rücklauftemperatur durch hydraulischen Abgleich). Darüber hinaus kann er durch geschickte hydraulische Verschaltung der Verbraucher versuchen, dieses relativ hoch temperierte Rücklaufwasser an anderer Stelle zu verwenden (flexible Parallel- und Reihenschaltung von Verbrauchern). Beispielhaft für verschiedene Entwicklungen sei hier die Low-Ex-Anlagentechnik der Hochschule München (Prof. F. J. Ziegler) erwähnt.

In zwei bisher umgesetzten Pilotanlagen mit unterschiedlicher Wärmebereitstellung kann die Anlagentechnik vermessen werden. In Pilotanlage I, einem Mehrfamilienhaus mit 49 Wohneinheiten und Fernwärmeversorgung, wird im Winter bei einer Fernwärmeverlauftemperatur von 105°C eine durchschnittliche Fernwärmerücklauftemperatur (incl. Trinkwassererwärmung) von 18°C erreicht (vgl. Abbildung 17), im Sommer bei 90°C Fernwärmeverlauftemperatur durchschnittlich 25°C Fernwärmerücklauftemperatur. In Pilotanlage II mit 102 Wohneinheiten und Gas-Brennwerttechnik mit solarer Unterstützung können vergleichbare Werte gemessen werden [27].

Vermarktet wird dieses exzellente System unter dem Namen AUMA-FMS von der AUMA ENERGY GMBH aus Österreich, wobei hier die Investitionskosten sehr hoch liegen. Eine etwas vereinfachte Variante mit der sich ebenfalls sehr gute Resultate erzielen lassen, bietet die Fa. Yados unter dem Namen AQUA ID-PR an.

Es soll in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen werden, dass ein Absenken der Rücklauftemperatur unter die vertraglich festgelegte max. Rücklauftemperatur meist auch zu einer Erhöhung der maximalen möglichen Abnahmeleistung führt. In der Regel begrenzen die Versorger nämlich nicht die vertraglich vereinbarte max. Abnahmeleistung, sondern den hierfür notwendigen Massenstrom (Funktion von max. Abnahmeleistung und Auslegungstemperaturdifferenz).

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

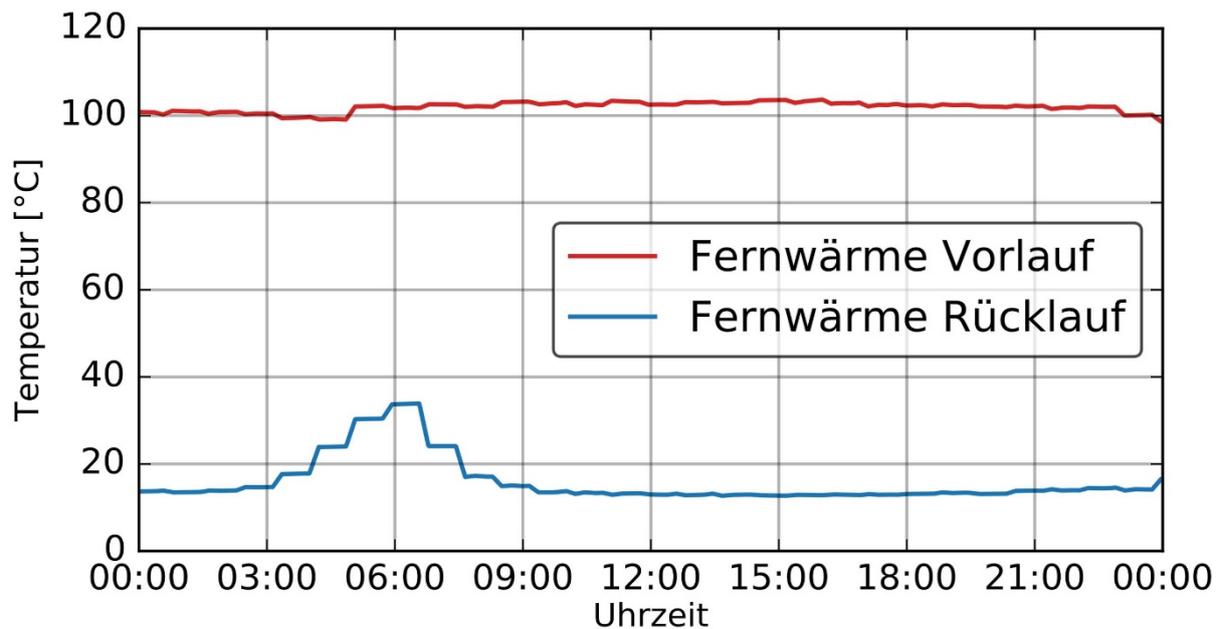


Abb. 17: Messdaten aus Pilotanlage I im Winterbetrieb [27]

Speziell bei der Trinkwassererwärmung muss sehr oft ein enorm hohes Leistungsspektrum bis auf weniger als ein Prozent der Nennleistung bei konstanter Versorgungstemperatur abgedeckt werden. Um hierbei eine gute Regelgüte und niedrige Rücklauftemperaturen zu garantieren, erscheint es in vielen Fällen angebracht, den Heizmassenstrom nicht mit einem groß dimensionierten Ventil, sondern mit zwei parallelgeschalteten Ventilen zu regeln [19].

### Absenken der Vorlauftemperatur

Im Immobilienbereich sind die beiden großen Wärmeverbraucher die Bereiche Raumheizung und Trinkwassererwärmung. Im Gebäudebestand liegt der Anteil an Raumwärme bei 80 % bis 90 % und der für die Trinkwassererwärmung bei lediglich 10 % bis 20 %. Bei Neubauten und in der Gebäudesanierung werden mittlerweile sehr große Einsparungen bei der Raumheizung durch Wärmedämmung, Abdichtung und kontrollierte Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erzielt, wohingegen Einsparungen bei der Trinkwassererwärmung noch kaum zu bemerken sind (die Wärmerückgewinnung im Bereich Trinkwarmwasser steht hier erst am Anfang). Dies führt zu einer Verschiebung der Verbrauchsanteile. Zumindest im Bereich von Neubauten lässt sich heute ein Stand (z.B. Passivhaus) erreichen, bei dem der Wärmebedarf für Trinkwarmwasser in einer ähnlichen Größenordnung liegt, wie der Wärmebedarf für die Raumbeheizung.

Früher lag das notwendige Temperaturniveau für die Raumbeheizung (ca. 90°C) in der Regel über dem der Trinkwarmwasserbereitstellung (ca. 70°C). Heute werden beim Großteil der Gebäude beide Bereiche auf einem relativ ähnlichen Temperaturniveau gefahren (ca. 60° bis 70°). Theoretisch kann zukünftig die Temperatur-Anforderung für die Trinkwassererwärmung auf ca. 50°C und für die Raumheizung auf max. 35°C begrenzt werden.

## Temperatur Trinkwasserversorgung

Wie bereits zuvor erwähnt, liegt aus hygienischen Gründen die Temperatur der meisten Trinkwarmwassersysteme bei 60°C. Hierzu ist Heizwasser mit 65°C Vorlauftemperatur ausreichend. In der Regel stellen die Wärmeversorger dem Kunden aber ganzjährig mindestens 75° bis 80° grädiges Heizwasser zu Verfügung, damit dieser jederzeit eine thermische Desinfektion des Trinkwarmwassers bei 70°C Trinkwassertemperatur durchführen kann.

Die regelmäßige und prophylaktisch sowie automatisch durchgeführte „thermische Desinfektion des Trinkwassers“ gehört aber schon länger nicht mehr zum Stand der Technik. Vielmehr sollen Trinkwarmwassersysteme nur noch bei Bedarf, das heißt bei Legionellenbefall „thermisch desinfiziert“ werden [29]. Da dies aber nur sehr selten vorkommt, erscheint hier eine elektrische Nachheizung viel sinnvoller. Somit könnte schon heute die Versorgungstemperatur für die Brauchwassererwärmung auf 65°C zurückgenommen werden.

Von der Nutzerseite gesehen ist theoretisch eine Trinkwarmwassertemperatur von 45°C in der Regel völlig ausreichend. Für die Bereitstellung von 45C grädigem Trinkwasser in einer dezentralen Frischwasserstation ist Heizwassertemperatur von 50°C ausreichend. Wenn die Technologie der Frischwasserstationen flächendeckend angewendet wird, besteht hierin eine weitere Möglichkeit, die Versorgungstemperaturen zumindest im Sommer abzusenken. Allerdings ist zu beachten, dass Heizungssysteme mit vielen dezentralen Trinkwassererwärmer im Durchfluss (Frischwasserstationen) sowohl in den Investition- als auch Betriebskosten höher liegen als Heizungssysteme mit zentralen Trinkwassererwärmern. Interessant wird die dezentrale Trinkwassererwärmung daher in der Regel erst, wenn das Temperaturniveau von Trinkwassererwärmung und Raumheizeinrichtungen gleich ist und versorgungsseitig nur ein Heizkreis im Gebäude verzogen werden muss.

## Vorlauftemperatur Raumheizung

Während in den 1950 ´iger und 60 ´iger Jahren Heizkörper noch auf 90°C Vorlauftemperatur ausgelegt wurden, liegt die maximale Vorlauftemperatur von 70°C schon seit einigen Jahrzehnten fest. Mittlerweile sind aber auch die ältesten Gebäude in der Regel soweit saniert (z.B. neuere Fenster), dass 70 °C Vorlauftemperatur zur Beheizung der Gebäude in der Regel völlig ausreichend sind. Besteht hierüber Unsicherheit, sollten die Versorger ihre Kunden von einer möglichen Vorlauftemperaturrücknahme rechtzeitig und rechtsgültig in Kenntnis setzen.

Um mit den Versorgungsbedingungen eines Wärmenetzes der 4. Generation auszukommen, müssen die Verbraucher in der Regel mit Vorlauftemperaturen von max. 60°C zufrieden sein. Bei dem Anschluss an ein Wärmenetz der 5. Generation sollte die benötigte Vorlauftemperatur nicht über 35°C liegen. Dieser Wert ergibt sich aus der Überlegung, dass das Wärmenetz im Winter mit etwa 15°C betrieben wird und der minimale Temperaturhub der Wärmepumpe (maximale Effizienz) bei etwa 20°C liegt.

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

Für den Neubau bereitet diese Versorgungstemperatur keinerlei Probleme. Behaglich warme Räume sind hier nicht nur mit Fußbodenheizungen oder Flächenheizungen, sondern auch mit großzügig dimensionierten Heizkörpern zu erreichen. Um für die Wärmeversorgung von Morgen gerüstet zu sein, wird empfohlen (vielleicht sollte es auch vorgeschrieben werden), schon heute die Raumheizeinrichtungen aller Neubauten auf max. 35°C Vorlauftemperatur auszulegen. Damit sind die Systeme bestens gerüstet, sowohl für den Anschluss an Wärmenetze der 5. Generation als für den Anschluss an ein eigenständiges Wärmepumpensystem. Niedrige Verbrauchertemperaturen bringen auch den Vorteil, dass die effektive Speicherkapazität von thermischen Pufferspeichern aufgrund der höheren Auskühlmöglichkeit vergrößert wird. Dies gilt auch für die nicht unumstrittenen wasser gebundenen Holzheizungssysteme. Aus Sicht des Autors machen diese Systeme zur Versorgungssicherung bei länger andauernden Dunkelflauten zumindest im ländlichen Bereich in den nächsten Jahren noch großen Sinn.

Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden kann die notwendige Vorlauftemperatur selbst bei Beheizung mit Heizkörpern recht einfach auf Temperaturen unter 50°C abgesenkt werden. Hierzu stehen die folgenden zum Teil schon mehrfach erwähnten Möglichkeiten zur Verfügung:

- Wärmedämmung der Gebäudehülle
- Abdichtung der Gebäudehülle
- Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung
- Abschalten der Nachtabsenkung. Bei gut gedämmten Gebäuden ist der hierdurch verursachte Mehrverbrauch an thermischer Energie recht gering. Auf Grund des längeren Betriebs der Raumheizeinrichtung kann die benötigte Energie (gleich Verluste des Gebäudes) über einem längeren Zeitraum, d.h. bei geringerer Heizleistung, nachgeführt werden. Diese geringere Heizleistung erfordert keine so hohen Versorgungstemperaturen. Darüber hinaus entfällt die Leistungsbelastung des Versorgungsnetzes beim morgendlichen Aufheizen.
- Vergrößerung der Heizkörper
- Verwendung von Heizkörpern mit Zwangskonvektion durch Ventilatoren, vgl. Abbildung 20. Wegen der Eignung für niedrige Vorlauftemperaturen werden diese oft auch als Wärmepumpen-Heizkörper bezeichnet.

In vielen Fällen lassen sich diese Ventilatoren auch nachrüsten. Es soll an dieser Stelle nicht verheimlicht werden, dass die Ventilatoren auch Schall emittieren. Wie bei den Lüftern von Computern sind hier in der Praxis sehr große Unterschiede zu verzeichnen, weshalb sich ein Vergleich lohnt.

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß



Abb. 20: Der Wärmepumpenheizkörper x-flair der Fa. Kermi

Die beiden letzteren Maßnahmen sind deutlich günstiger als der nachträgliche Einbau einer Flächenheizung.

Werden alle oben genannten Maßnahmen ergriffen, reichen auch bei der Bestandssanierung trotz Beheizung mit Heizkörpern mitunter Vorlauftemperaturen um 35°C aus.

In Ballungsgebieten wird die Ausweitung von Wärmenetzen in den kommenden Jahren schnell vorangetrieben werden müssen. Die Sanierung der Bestandsgebäude wird sich aber über einen Zeitraum von mindestens 20 bis 30 Jahren hinziehen. So lange benötigen unsanierte Gebäude höhere Vorlauftemperaturen und eine größere Leistung als Neubauten oder sanierte Gebäude. Um nicht die gesamte Wärme durch den Netzbetreiber auf dem höchsten benötigten Temperaturniveau bereitstellen zu müssen – dies wäre beim zentralen Einsatz von Wärmepumpen und einer möglichst umfangreichen Abwärmennutzung ineffizient – kommen zwei Möglichkeiten in Frage:

- Betreiben eines Dreileiternetzes mit einem Hochtemperaturvorlauf von z.B. 70° bis 80°C, einem Mitteltemperaturvorlauf mit Temperaturen im Bereich von 35° bis 50°C sowie einer Rücklaufleitung. Abbildung 21 zeigt den Anschluss einer Wärmeübergabestation an ein solches Dreileiter-Nahwärmenetz. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Hochtemperatur-Wärme teurer ist als die Niedertemperaturwärme (höhere spezifische Wärmekosten).

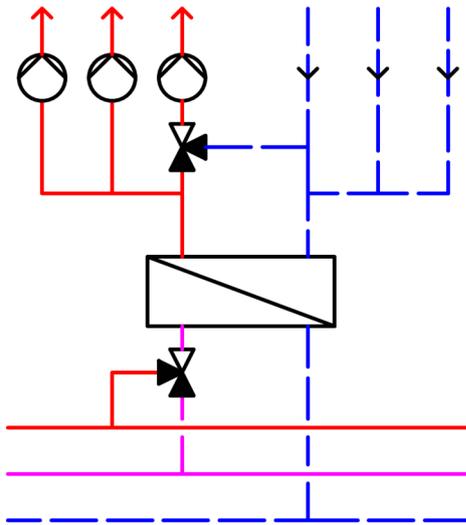


Abb. 21: Dreileiter-Wärmenetz mit Wärmeübergabestation und zentraler, versorgerseitiger Temperaturerhöhung

Die Hauptversorgung der Verbraucher stammt aus dem Mitteltemperaturanschluss und wird bei Bedarf über eine verbraucherseitige Beimischschaltung runtermischt. Sollten die Verbraucher ein höheres Temperaturniveau benötigen, wird das Mitteltemperaturniveau durch Beimischen von Hochtemperaturwasser angehoben. In Abbildung 21 erfolgt die Temperaturerhöhung zentral auf der Versorgerseite. Eine solche einfache Schaltung ist nur sinnvoll, wenn alle Abnehmerkreise dieselbe oder zumindest eine ähnliche Vorlauftemperatur benötigen. Anderenfalls wird nämlich versorgerseitig vor dem Wärmeübertrager die Temperatur angehoben und anschließend verbraucherseitig zumindest in einigen Heizkreisen wieder abgesenkt. Eine Ausnahme mag hier z.B. die temporäre Trinkwassererwärmung darstellen. Hier könnte das Verbrauchernetz lediglich für die Zeit der Speicherladung auf hohem Temperaturniveau betrieben werden. Vorsichtig ist aber in einem solchen Fall mit dem Ausgleich der Zirkulationsverluste umzugehen.

Werden zeitgleich Verbraucherkreise auf unterschiedlichen Temperaturniveaus betrieben ist eine Ausführung und ein Anschluss nach Abbildung 22 effizienter. Hier können die Verbraucherkreise Wahlweise vom Hochtemperaturvorlauf (V1), vom Mitteltemperaturvorlauf (V2) oder von beiden (V3) versorgt werden. Somit wird nur der wirklich notwendige Anteil von Hochtemperaturwasser entnommen.

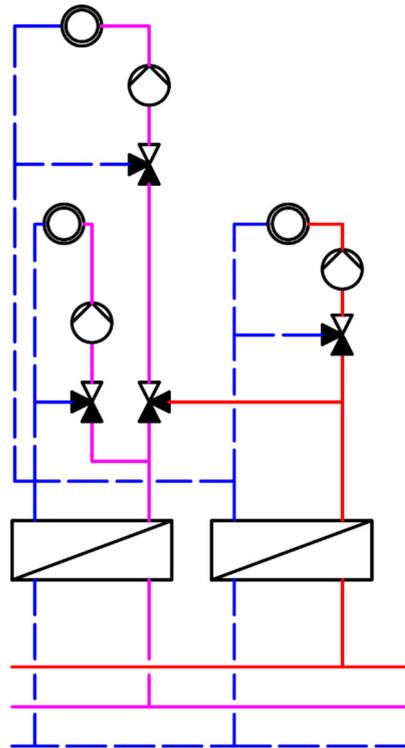


Abb. 22: Dreileiter-Wärmenetz mit Wärmeübergabestation und dezentraler, verbraucherseitiger Temperaturerhöhung

- Betreiben des Wärmenetzes auf einem abgesenkten Temperaturniveau von z.B. 35° bis 50°C und dezentrale Anhebung der Temperatur durch lokale Wärmepumpen wie beim Wärmenetz der 5. Generation.

Auch in diesem Fall sollte die Wärmepumpe nur den wirklich notwendigen Anteil des Heizungswassers auf ein höheres Temperaturniveau anheben, wie in Abbildung 23 dargestellt.

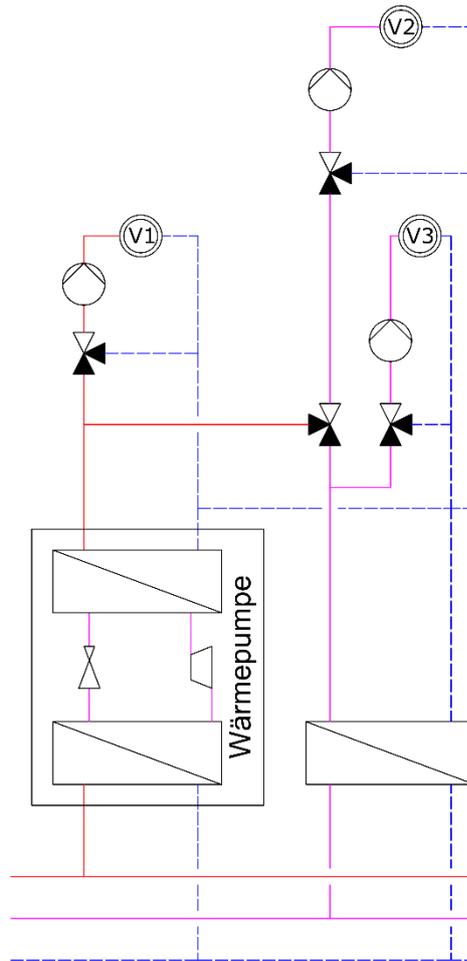


Abb. 23: Zweileiter-Wärmenetz mit Wärmeübergabestation und dezentraler, verbraucherseitiger Temperaturerhöhung mittels WP

Welche Variante der Temperaturerhöhung die günstigere ist, kann bei den derzeit sehr dynamischen Entwicklungen (auch auf den Energiemärkten) nicht abgesehen werden.

## Zusammenfassung / Fazit

In Zusammenhang mit der Energiewende wird derzeit viel über Wärmenetze der 5. Generation geredet. Auch die Förderpolitik ist stark darauf ausgerichtet. Bei genauer Betrachtung gibt aber noch viele offene Fragen speziell was den optimierten Betrieb dieser Netze angeht. Dies betrifft in erster Linie die optimale Netztemperatur und die Frage ob eine Wärmeeinspeisung oder Wärmeabnahme zum jeweiligen Zeitpunkt netzdienlich ist.

Auch wenn momentan nicht die Entwicklung sämtlicher Details absehbar sind, können schon jetzt eine ganze Reihe von Maßnahmen angestoßen und umgesetzt werden, die bereits heute systemdienlich sind, und dies auch in Zukunft bleiben werden. Hierzu zählen insbesondere:

- die Absenkung der Rücklauftemperaturen,
- das Absenken der Vorlauftemperatur,
- der Einsatz von dezentralen Wärmepumpen / Kältemaschinen zur lokalen Anhebung /Absenkung der Temperaturniveaus.

Bei letztem Punkt ist zu beachten, dass entgegen des heute üblichen Einsatzes von Wärmepumpen-Systemen die Nutzung der Wärmequelle (NuFS) nicht kostenfrei ist. Gleiches gilt im übertragenen Sinn bei der Kühlung für die Wärmesenke. Darüber hinaus sollte bedacht werden, dass die heute üblichen Wärmepumpen nicht auf Verdampfungstemperaturen zwischen 30°C und 50°C ausgelegt sind. Somit können Sie bei diesen Verdampfungstemperaturen oft gar betrieben werden oder arbeiten zumindest meist wenig effizient. Eine Ausnahme ist hier die die „Exergiemaschine eXm“ der Fa. BMS-Energietechnik aus der Schweiz. Allerdings ist auch hier Vorsicht geboten. In den meisten beworbenen Anwendungsfällen wird die Wärme aus dem System entzogen und auf ein höheres Temperaturniveau transformiert. Es wird also im System Anergie zu Exergie aufgewertet. Hier aber wie beim üblichen WP Einsatz (Nutzung von kostenfreier Umweltwärme) von Leistungszahlen (COP) bzw. Arbeitszahlen (SCOP) zu sprechen ist irreführend.

All diese Unsicherheiten dürfen uns aber vom umgehenden handeln nicht abhalten. Es gibt genug Optimierungsmöglichkeiten die sich sofort umsetzen lassen, und die auch in Zukunft noch nachhaltig sind.

INSTITUT

TITEL

ANSPRECHPARTNER/IN

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

---

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

---

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

---

**HBC.**  
HOCHSCHULE  
BIBERACH  
UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

## Quellen:

- [1] Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich, Pressemitteilung Nr. 31/2021 vom 29. April 2021; <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html> (Zugriff 22.02.2022)
- [2] Bundes-Klimaschutzgesetz 2021 (Stand 07.07.2021); [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/ksg\\_aend\\_g\\_2021\\_3\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aend_g_2021_3_bf.pdf). (Zugriff 22.02.2022)
- [3] Umweltbundesamt, Erneuerbare Energien in Zahlen, Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien (November 2021): <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick> (Zugriff 22.02.2022)
- [4] Energiewende direkt, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 23. März 2021; <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2021/03/Meldung/direkt-erklaert.html> (Zugriff 22.02.2022)
- [5] Agentur für Erneuerbare Energien, Holzenergie in Deutschland, Status quo und Potentiale, August 2017, ISSN 2190-3581
- [6] Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Verlag, München, 2019/2020, 79. Auflage, ISBN eBook: 978-3-96143-079-6 (ITM-Verlag)
- [7] Fachverband Sanitär, Heizung, Klima; Faktenblatt Wärmeverluste bei Fernwärmeheizungen, März 2014;
- [8] AGFW, Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.: Förderprogramme BEW & BEG, <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energiewende-politik/effizienz-klimaschutz/bew-beg/> (Zugriff am 28.02.2022)
- [9] Matthias Deutsch, Agora Energiewende; Wärmewende 2030: Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor, Februar 2017
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Energiedaten: Gesamtausgabe, Stand Oktober 2019
- [11] Jürgen Hübner, TheGA Erfurt: Solare Nahwärme am Beispiel Crailsheim-Hirtenwiesen II, Juni 2016
- [12] A. Floss, F. Hilbe: Brennwertnutzen bei der Holzverbrennung, Science.Research.Pannonia, Green Deal, Energie – Gebäude – Umwelt, Fachhochschule Burgenland Band 25, Erste Auflage 2021, ISBN: 978-3-903207-64-6, Verlag Holzhausen, Seite 105 bis 112

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

- [13] Elisa Dunkelberg, Timo Wassermann et. al.: Fernwärme Klimaneutral transformieren, Schriftenreihe des IÖW 218/20, Berlin, Juni 2020, ISBN 978-3-940920-22-5
- [14] Zepf, Karl; Richter, Stephan; Ziegler, Roland; Zieher, Markus; Floß, Alexander; „Energetische Optimierung der Fernwärmeversorgung Ulm“ Forschungsvorhaben Fernwärmemodellstadt Ulm, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Förderkennzeichen 0327347A Abschlussbericht Oktober 2012
- [15] Marc Großlos: Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und Versorgungen, Institut für Wohnen und Umwelt, Februar 2020
- [16] Alexandra Langenheld: Wie werden Netze grün? Agora Energiewende, Dokumentation zur Diskussionsveranstaltung am 21. Mai 2019 auf den Berliner Energietagen 2019
- [17] Marco Wirtz: Wärmenetze 5. Generation / Kalte Nahwärme, [https://www.mwirtz.com/5gdhc\\_de.html](https://www.mwirtz.com/5gdhc_de.html) (Zugriff am 01.03.2022)
- [18] Simone Buffa et.al.: 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe, ELSEVIER, 2019, Renewable and Sustainable Energy Reviews 104 (2019) 504-522
- [19] Gregor P. Henze, Alexander G. Floss: Evaluation of temperature degradation in hydraulic flow networks, Energy and Buildings Volume 43 issue 8, Elsevier, ISSN: 0378-7788, August 2011
- [20] H. Roos: Hydraulik der Wasserheizung, 4. Auflage, ISBN: 3-486-26399-4, Oldenburgverlag, 1999
- [21] R. Kober: Energieeffiziente Gebäudeklimatisierung, Raumluft in A<sup>++</sup> Qualität, 1. Auflage, ISBN: 978-3-922420-18-7, Promotor Verlag, 2009
- [22] R. Zortea: Zortström Planungsmappe, Veröffentlicht als PDF, <http://www.bosy-online.de/hydraulischeSchaltungen/Zortstroem-Panungsmappe.pdf>, Stand 2003
- [23] Interview Franz Frieling: Multivalente Technik für mehr Energieeffizienz, tab 12/2022, [https://www.tab.de/artikel/tab\\_Fuer\\_Grossanlagen\\_konzipiert\\_3465681.html](https://www.tab.de/artikel/tab_Fuer_Grossanlagen_konzipiert_3465681.html) (aufgerufen 14.03.2022)
- [24] H.-G. Baunach: Firmenprospekt HG Baunach GmbH & Co. KG: Baunach rendeMIX, Veröffentlicht als PDF: <https://docplayer.org/18609785-Baunach-einfach-besser-prinzip-2007-02-rmix-250-2-4-lh-e-baunach-rendemix-einfach-besser.html>, Februar 2007
- [25] C. Dietrich: Effiziente Nutzung von Pufferspeichern, Diplomarbeit Hochschule Biberach, Studiengang Gebäudetechnik / Gebäudeklimatik, März 2008
- [26] Energie Effizienz Verteiler, Yados

INSTITUT

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

TITEL

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

ANSPRECHPARTNER/IN

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

- [27] Entwicklung und Optimierung hocheffizienter Trinkwassererwärmungssysteme, Hochschule München, [https://www.bs.hm.edu/projekte/projekte\\_1~1\\_3776.de.html](https://www.bs.hm.edu/projekte/projekte_1~1_3776.de.html) (Zugriff 07.03.2022)
- [28] Heizöl Preisvergleich; <https://www.tecson.de/heizoelpreise.html> (aufgerufen am 08.03.2022)
- [29] Thermisch Desinfektion von Trinkwarmwassersystemen...
- [30] Wikipedia;  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Generations\\_of\\_district\\_heating\\_systems\\_DE.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Generations_of_district_heating_systems_DE.svg) (Zugriff am 10.03.2022)
- [31] Fa. YADOS
- [32] Floß DOMT
- [32] D. Koop: Pumpenaustausch und hydraulischer Abgleich: Was bringt das wirklich?, haustec.de, Das Fachportal für die Gebäudetechnik  
[https://www.haustec.de/heizung/waermeverteilung/pumpentausch-und-hydraulischer-abgleich-was-bringt-das-wirklich?utm\\_campaign=NL20210614&utm\\_medium=newsletter&utm\\_source=haustec&utm\\_term=Pumpentausch+und+hydraulischer+Abgleich%3A+Was+bringen+sie+wirklich%3F](https://www.haustec.de/heizung/waermeverteilung/pumpentausch-und-hydraulischer-abgleich-was-bringt-das-wirklich?utm_campaign=NL20210614&utm_medium=newsletter&utm_source=haustec&utm_term=Pumpentausch+und+hydraulischer+Abgleich%3A+Was+bringen+sie+wirklich%3F) (Zugriff am 24.05.2022)

### Hyperlinks

Mit Urteil vom 12. Mai 1998 – 312 O 85/98 – „Haftung für Links“ hat das Landgericht Hamburg entschieden, dass man durch die Ausbringung eines Links die Inhalte der gelinkten Seite ggf. mit zu verantworten hat. Dies kann – so das Landgericht – nur dadurch verhindert werden, dass man sich ausdrücklich von diesen Inhalten distanziert. Vor diesem Hintergrund distanziert sich der Autor hiermit ausdrücklich von allen Inhalten sämtlicher in dieser Veröffentlichung angegebenen Links, da er keinen Einfluss auf Inhalt und Gestaltung der verlinkten Seiten hat. Die Angabe der Links dient der leichteren, eigenverantwortlichen Recherche.

INSTITUT

TITEL

ANSPRECHPARTNER/IN

Institut für Gebäude- und Energiesysteme IGE

**Wärmeübergabestationen für (Fern-) Wärmenetze  
von gestern, heute und morgen**

Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß

**HBC.**  
HOCHSCHULE  
BIBERACH  
UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES