

1.Fernwärme – Kolloquium Gießen 19.02.2008

Wärmeversorgung aus dem Netzurücklauf - Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung

Dipl.-Ing.(FH) Andreas Wirths, Dr.-Ing. Klaus-Peter Fröhlich

Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG
Bereich Strategie/Technische Planung – Grundsatzfragen
Syringenplatz 29, 10407 Berlin
Tel. +49 163 2405004 Email andreas.wirths@vattenfall.de

Abstract

Die Netzurücklauf­temperatur von Fernwärmesystemen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz von Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen und die transportierbare Wärmeleistung des Netzes. Bei bestehenden Fernwärmesystemen ist eine günstige Beeinflussung der Rücklauf­temperatur, als „Antwort“ aller angeschlossenen Kundenanlagen, durch verbesserte Auskühlung oder durch zusätzliche Wärmesenken am Netzurücklauf möglich. Als Perspektive für die Netzverdichtung wird der Stand der Technik der *Wärmeversorgung aus dem Netzurücklauf* vorgestellt. Es erfolgt eine allgemeine Darstellung der Auswirkungen auf die Effizienz der Strom- und Wärmeauskopplung aus Heizkraftwerken, die Wärmeverluste und den Primärenergiefaktor.

Dieser Beitrag gliedert sich inhaltlich in das Projekt **MULTILEVEL DISTRICT HEATING**, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter der Förderkennziffer 0327400B, ein.

Vortragshalt

0. Einleitung

1. Die Rücklauftemperatur von Fernwärmenetzen und Ihre Beeinflussbarkeit

2. Versorgung aus dem Wärmenetzurücklauf
 - 2.1. Versorgung aus dem Netzurücklauf – Statistik
 - 2.2. Rücklaufanschluss – Schaltungsmöglichkeiten
 - 2.3. Auslegungskriterien – Varianten
 - 2.4. Messergebnis einer direkten Netzurücklaufversorgung

3. Auswirkung von Wärmesenken im Netzurücklauf
 - 3.1. Wärmeverluste
 - 3.2. Heizkraftwerke
 - 3.3. Primärenergiefaktor

4. Zusammenfassung

5. Ausblick

0. Einleitung

In den Blickpunkt der Fernwärmeforschung fällt in den letzten Jahren immer wieder die Rücklauftemperatur von Fernwärmesystemen. Bezüglich der Effizienz von Fernwärmesystemen wird die Rücklauftemperatur als „Optimierungs-Potenzial“ hervorgehoben. Dem Fernwärmeversorgungsunternehmen ist es jedoch nur bedingt möglich, die Rücklauftemperatur der Kundenanlagen zu beeinflussen. Mit der *Versorgung aus dem Netzurücklauf* kann jedoch eine gezielte Netzurücklauftemperaturabsenkung erreicht werden, ohne Maßnahmen an vorhandenen Kundenanlagen durchführen zu müssen. Im Rahmen des Projektes **MULTILEVEL DISTRICT HEATING** wird in Kooperation mit der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG der Stand der Technik und die Perspektive der Rücklaufversorgung untersucht und bewertet. Der vorliegende Vortragstext soll das Potenzial der Rücklaufanschlüsse verdeutlichen.

1. Die Rücklauftemperatur von Fernwärmenetzen und ihre Beeinflussbarkeit

Allgemeines zur Rücklauftemperatur und Definition der Versorgung aus dem Wärmenetzurücklauf

Die Betriebsweise und Effizienz der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen des FVU¹ wird durch die Fahrweise des Fernwärmesystems bestimmt. Zu den Einflussgrößen zählen Netzurücklauftemperatur, Netzvorlauftemperatur und Massestrom. Während die Vorlauftemperatur und/oder der Massestrom nach der Aussentemperatur geregelt wird, ist die Rücklauftemperatur die „Antwort“ der Wärmeübertragung des gesamten Fernwärmesystems. Die Rücklauftemperatur wird bestimmt von der Ausführung der angeschlossenen Kundenanlagen, genauer gesagt der Auskühlung des Primärmassestromes. Auf bestehende Kundenanlagen kann das FVU nur in geringem Maße einwirken, die vertraglich geforderten oder gewünschten Rücklauftemperaturen einzuhalten. Eine interessante Möglichkeit der Rücklauftemperaturabsenkung bieten Wärmesenken im Netzurücklauf, wie Wärmepumpen und Rücklaufanlagen. Besonderheit der Rücklaufwärmesenken ist, dass kein zusätzlicher Massestrom zur Verfügung gestellt werden muss. Für die Wärmeversorgung dieser Anschlussart wird ein Teilmassestrom des Rücklaufes abgezogen, von der Anlage abgekühlt und dem Rücklauf zurückgeleitet. Die Mischtemperatur an der Wiedereinführung liegt, abhängig vom abgezweigten Massestrom und der Auskühlung, unterhalb der Netztemperatur vor der Wärmesenke. Die Effizienzkriterien von *Wärmepumpen zu der Auskühlung des Netzurücklaufes* werden in [1] diskutiert. In diesem Beitrag wird der Stand der Technik der Versorgung aus dem Wärmenetzurücklauf am Beispiel des Fernwärmesystems der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG vorgestellt und der Einfluss auf die Effizienz von Fernwärmesystemen theoretisch als Perspektive für die Netzverdichtung erläutert.

¹ FVU Fernwärmeversorgungsunternehmen

1.1 Beeinflussbarkeit bei üblichen Vorlauf-Rücklauf-Anschlüssen

Die Rücklauftemperatur von üblichen Vorlauf-Rücklaufanschlüssen kann durch folgende Maßnahmen beeinflusst werden:

- a.) Hausanlagen – Radiator-Heizung oder Flächenheizung, z. B. Fußbodenheizung
- b.) Hausanlagen – TWE-Prinzip, z. B. Speicher, Durchflussprinzip, Sammelversorgung mit 60 °C-Zirkulation
- c.) TWE - Schaltungen, z. B. mehrstufig, einstufig
Eine wohnungsweise Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip kann eine niedrige Rücklauftemperatur gewährleisten. Erwähnenswert sind Messergebnisse zu diesem Verfahren von [2] und [3].
- d.) Motivation des Kunden durch einen volumenstromabhängigen Grundpreis und seinen Anteil am Mischpreis.
- e.) Installation und regelmäßige Kontrolle von Rücklauftemperaturbegrenzern.

1.2 Beeinflussbarkeit über „abgesenktes Temperaturniveau“

Eine direkte Einflussnahme auf das Temperaturniveau ist durch Anschluss von Wärmesenken an den Netzzrücklauf erreichbar. Durch zusätzliche Wärmesenken wird eine direkte Wirkung und damit gesicherte Absenkung der Rücklaufenthalpie erreicht. Die Funktionsweise von Rücklaufanschlüssen und deren Auswirkungen auf die Effizienz der Fernwärmeversorgung wird im Folgenden beschrieben.

2. Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf

2.1 Versorgung aus dem Netzzrücklauf – Statistik

Rücklaufanlagen zur Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf existieren schon seit den 1980er Jahren. Eine vorliegende Statistik aus dem Jahr 1991 zeigt die Anschlusswerte und die Rücklaufanschlüsse von FVU, die an der AGFW – Umfrage zur FW 441 [4] teilgenommen haben. Zum Zeitpunkt der Umfrage versorgte die BEWAG – heute Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG – bereits 13 Anlagen mit einer Anschlussleistung von 58 MW.

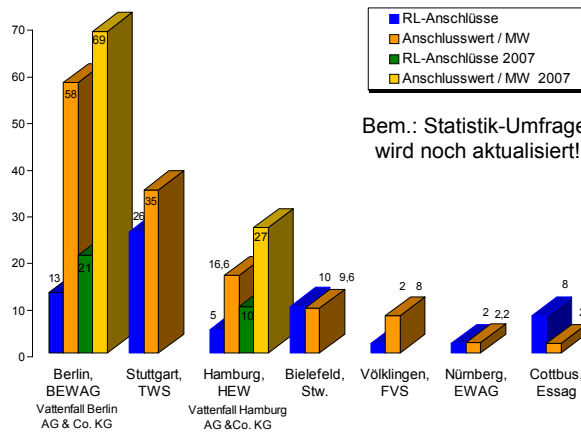


Abb.1: Versorgung aus dem Netzzrücklauf Statistik 1990/91 der AGFW FW 441 [4] und Vattenfall 2007

Bis zum Jahr 2008 konnte die installierte Leistung auf 69 MW, aufgeteilt auf 21

Kundenanlagen, gesteigert werden. Der Leistungszuwachs der seit 1991 angeschlossenen Anlagen ist jedoch höher als die Differenz der Anschlusswerte, da an den Altanlagen unterdessen mehrere Leistungsreduzierungen infolge von Sanierung und Außerbetriebnahmen von Industriehallen erfolgt sind. Nach Recherchen innerhalb des Unternehmens wurde als Motivation für den Anschluss an den Wärmenetzzrücklauf großenteils eine lokal ausgelastete Netzkapazität angeführt. Der Nutzen für die Effizienz von Fernwärmesystemen wurde bis heute nicht ausführlich beschrieben.

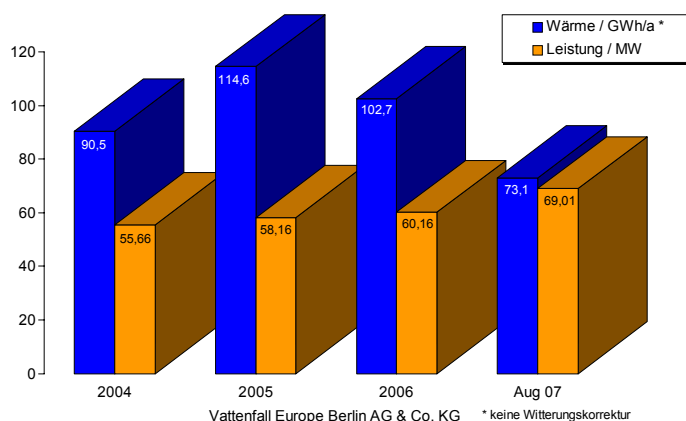
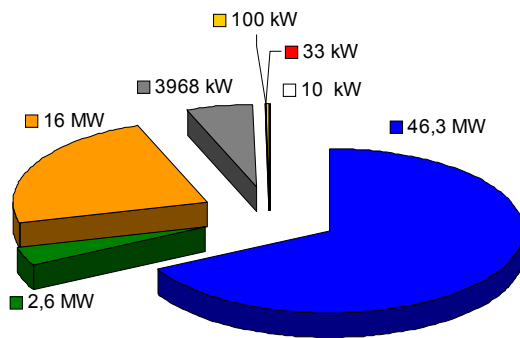


Abb.2: Verkaufte Wärme und installierte Leistung Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG

Die Abbildung 2 zeigt die Wärmeversorgung der Netzzrücklaufanlagen in Berlin für die Jahre 2003 bis Mitte 2007. Im Durchschnitt werden ca. 1800 Betriebsvolllaststunden erreicht. Diese Zahl verdeutlicht, dass die Rücklaufanlagen ganzjährig, gleichbedeutend mit vorlaufversorgten Anlagen betrieben werden.

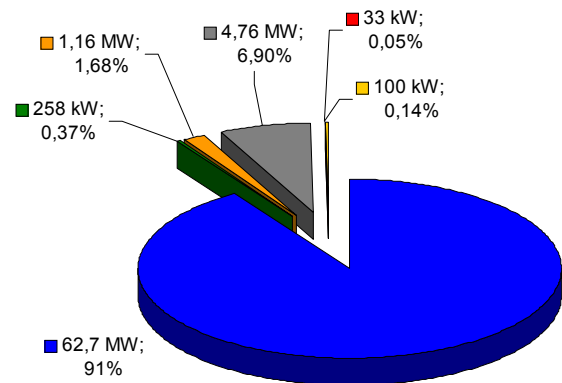
**Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf -
Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung**

Struktur: Anlagen/Verwendungszweck



- 9 Luftheizungen
- 2 Lufthzg./Radiator
- 1 Lufthzg./kombinierte Module
- 6 Fußbodenheizungen
- 1 Radiator
- 1 Sommerheizung
- 1 Freiflächenheizung

Struktur: Kundengruppen



- 10 Industriebetriebe
- 1 Hochschule
- 4 Wohnhäuser (MFH)
- 4 Gewerbl. Nutzung
- 1 S-Bahn Bogen - Geschäfte
- 1 Krankenhaus

Abb. 3: Statistik – Anlagenstruktur Vattenfall Berlin 2008

In Berlin werden Industriebetriebe, Mehrfamilienhäuser, Kaufhäuser, Geschäfte sowie eine Hochschule und ein Krankenhaus aus dem Wärmenetzzrücklauf anteilig versorgt. Die angeschlossenen Arten der Kundenanlagen unterteilen sich in Luftheizungen z.B. für Werkhallen, Fußbodenheizungen, Radiatoren sowie eine Sommerheizung und eine Freiflächenheizung. Einen Überblick über realisierte Varianten von Rücklaufanlagen gibt Abbildung 3.

2.2 Rücklaufanlagen – Schaltungsmöglichkeiten

Für die Rücklaufversorgung wird ein Teilmassenstrom dem Netzzrücklauf entnommen, in der Kundenanlage abgekühlt und anschließend dem Netzzrücklauf zurückgegeben. Das Schaltprinzip wird in Abbildung 4 verdeutlicht. Ein Kombianschluss aus Vorlauf und Rücklauf-Vorlauf kann vorgesehen werden, falls das Temperaturniveau des Rücklaufes zur Wärmebedarfsdeckung nicht ausreicht. In Dreileiternetzen wird zur Beimischung von Vorlaufenergie der Konstantleiter verwendet (Abbildung 5). Für Zweileiternetze ist ein Kombianschluss aus gleitendem Vorlauf und Rücklauf möglich.

Die Abdeckung der maximalen Temperatur in der Hausanlage ist demnach mit einer minimalen Belastung des Vorlaufes möglich (Abbildung 6)

Die Trinkwassererwärmung kann ebenfalls über den Konstantleiter bzw. gleitenden Vorlauf gewährleistet werden.

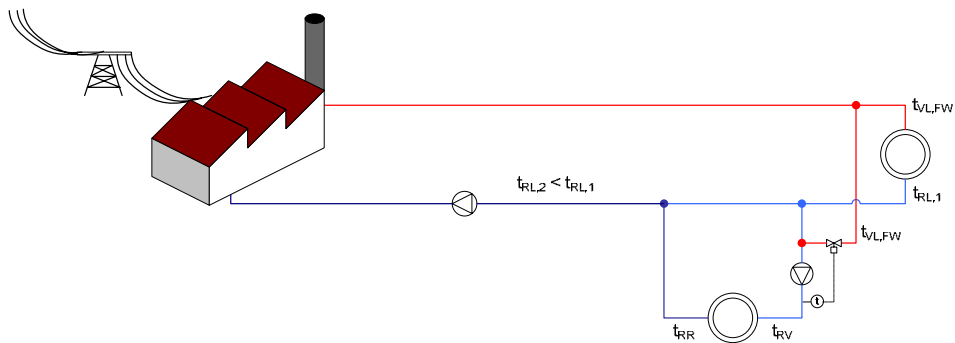


Abb.4: Grundlegendes Schaltprinzip eines Rücklaufanschlusses

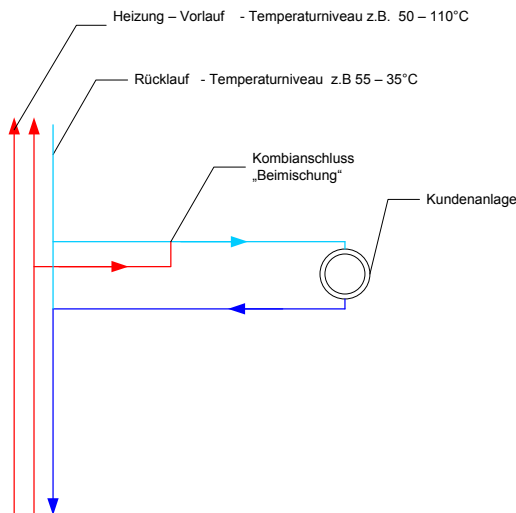


Abb.5: Schaltprinzip in einem Dreileiternetz

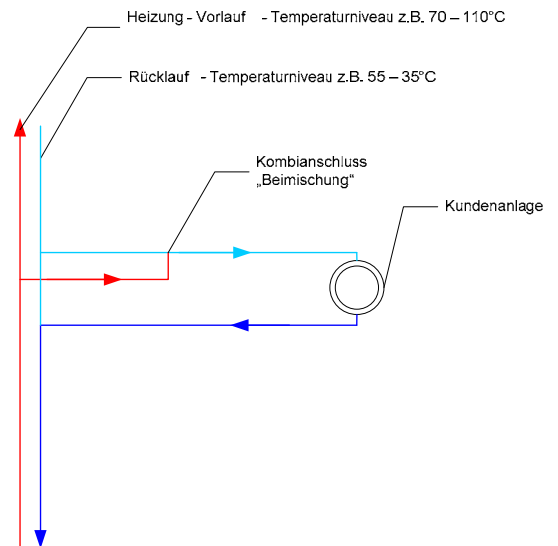


Abb.6: Schaltprinzip in einem Zweileiternetz

2.3 Auslegungskriterien – Varianten

Die Technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG fordern für den Anschluss an einer Rücklaufanlage eine Abstimmung mit dem FVU. Die Auslegung der Wärmeübergabestation wird dann auf die Erfordernisse der Kundenanlage objektkonkret angepasst.

2.3.1 Auskühlung

Grundsätzlich unterscheidet sich die Auslegung der Rücklaufanlage nicht von der Auslegung einer normalen Wärmeversorgung. Die Heizlastberechnung des Gebäudes liefert die bereitzustellende Wärmeleistung. Mit der gewünschten primärseitigen Temperaturdifferenz wird der benötigte Massestrom ermittelt. Für die Auslegung der installierten Anlagen bei Vattenfall Berlin wurden die in Tabelle 1 dargestellten Temperaturpaare recherchiert. Ungefähr 75% der Rücklaufanlagen sind mit einer Auslegungsauskühlung von 15K und die restlichen 25% mit 20K geplant worden.

	Direkt		Indirekt	
	Temperaturen		Primär	Sekundär
Fußbodenheizung	50/35		60/39	55/35
Fußbodenheizung	50/30		50/39	47/34,5
Lüftungsanlagen	50/35		50/39	47/35,5
Sonderanlagen	Anlagenkonkret		Anlagenkonkret	

Tabelle 1 – Auslegungsparameter von Rücklaufanlagen

2.3.2 Netzbedingungen

2.3.2.1 Differenzdruck

Eventuell kann der vorhandene Netzdruck in der Rücklaufleitung nicht ausreichen, um die Druckverluste der Übergabestation zu decken. Aus diesem Grund wird der Einbau einer Pumpe in der Rücklauf-Vorlaufleitung empfohlen. Die Pumpe ist so auszulegen, dass der notwendige Differenzdruck ausreicht, um die Druckverluste der Rücklaufanlage zu decken. Entsprechende Empfehlungen werden in der FW 441 gegeben [4].

2.3.2.2 Fließrichtung

Bei wechselnder Fließrichtung des Rücklaufmassesstromes wird eine Umschaltung in Abhängigkeit der Strömungsrichtung vorgesehen. Dies gewährleistet die sichere Versorgung, z.B. in vermaschten Netzteilen.

2.3.3 Netzurücklaufversorgung mit minimaler Inanspruchnahme der Netzvorlaufes

Den Kombinationsanschluss einer Rücklaufanlage zeigt Abbildung 7. Solange das Temperaturniveau des Rücklaufes zur Deckung des Wärmebedarfes des Kunden ausreicht, wird die Anlage ausschließlich aus dem Rücklauf bedient. Ist dies nicht der Fall, wird über einen motorisch gesteuerten Volumenstromregler eine Beimischung aus dem Netzvorlauf durchgeführt. Bei der in Abbildung 7 gezeigten Rücklaufanlage handelt es sich um eine Fußbodenheizung mit einer zugesicherten Primärvorlauftemperatur von 60°C und einer Sekundärvorlauftemperatur von 55°C. Besteht kundenseitig kein Temperaturbedarf, der über der Netzurücklauftemperatur liegt, ist die Beimischregelung außer Betrieb. Diese Art der Anlage kann als Wärmeversorgung mit minimaler Inanspruchnahme der Netzvorlaufenergie bezeichnet werden.

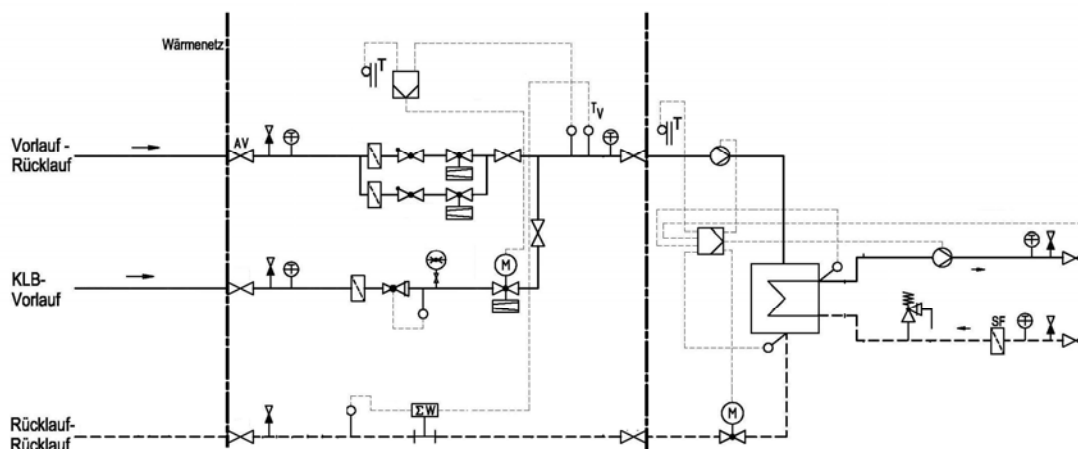


Abb.7: Schaltbild eines Rücklaufanschlusses mit geregelterm Kombinationsanschluss

2.3.4 Netzurücklaufversorgung und Trinkwassererwärmung

Die Rücklaufanlagen in Berlin werden derzeit ausschließlich im Dreileiternetz betrieben. Zur Trinkwassererwärmung wird der Konstantleiter² genutzt. Bei Zweileiternetzen wird die Trinkwassererwärmung aus dem Netzvorlauf gewährleistet. An einer Studie der Nutzung des Rücklaufanschlusses, beispielsweise zur Vorwärmung des Trinkwassers, wird zur Zeit in Kooperation mit der TU Dresden gearbeitet.

² Konstantleiter, auch KLB: Klima – Lüftung – Brauchwasser

2.4 Messergebnisse einer direkten Netzurücklaufversorgung

In der Heizperiode 2007/2008 werden von Vattenfall Berlin die Funktionsweise ausgewählter Objekte gemessen. Ein Messergebnis soll die Betriebsweise einer Rücklaufanlage hier exemplarisch belegen. Es handelt sich um eine direkt versorgte Fußbodenheizung mit einer ermittelten Wärmeleistung von 258 kW. Aus der geplanten Spreizung von 20K (55/35) ergibt sich ein Massestrom von 3,1 kg/s (siehe Abbildung 8).

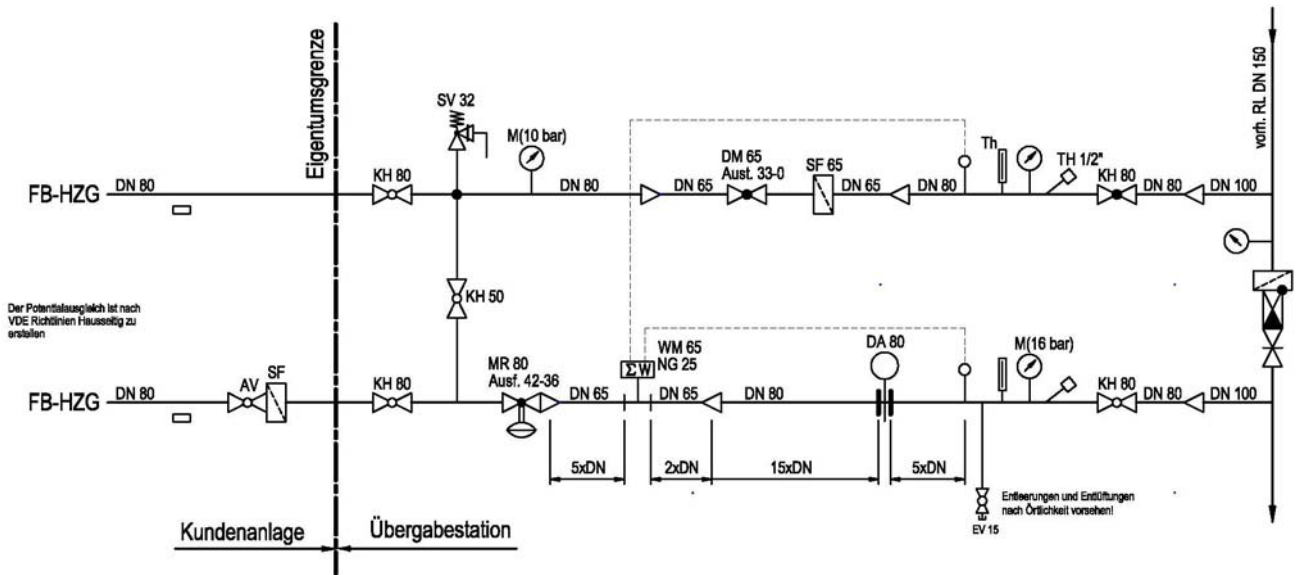
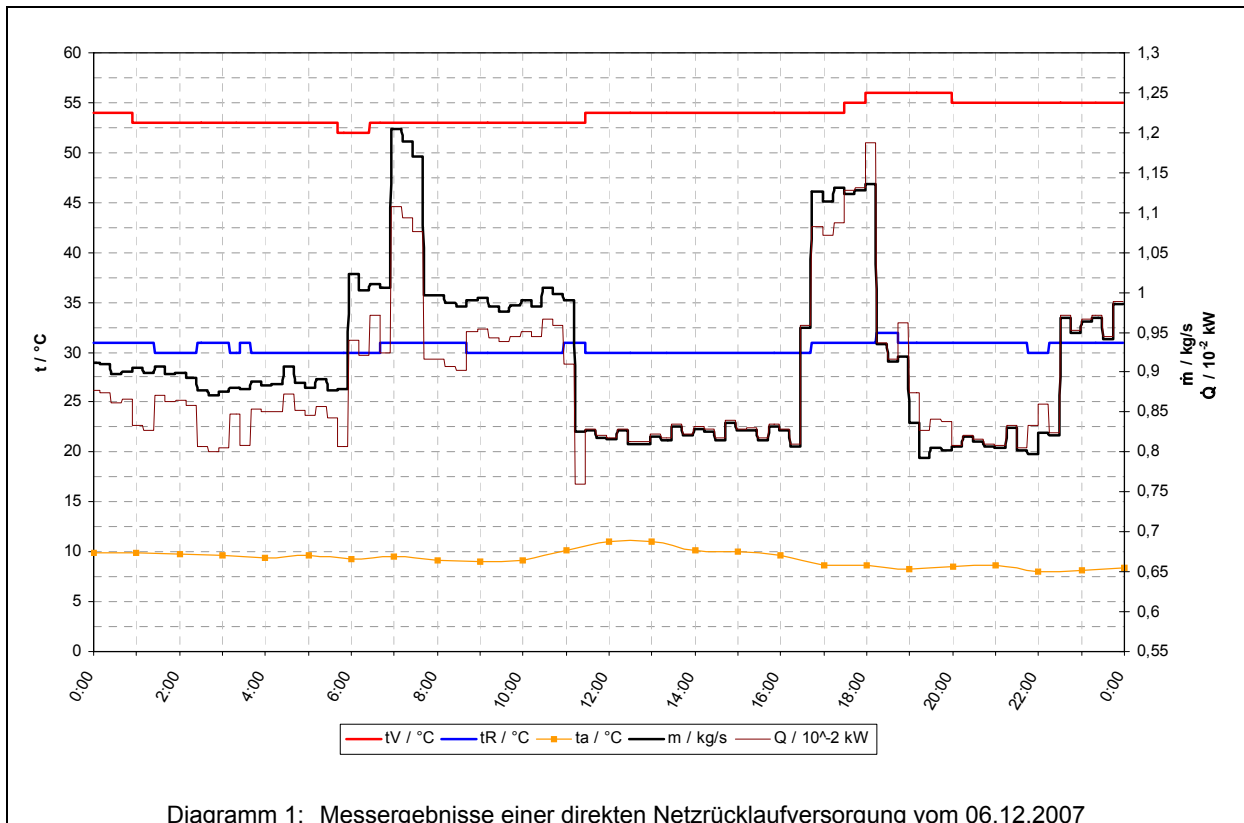


Abb.8: Schaltbild eines direkten Rücklaufanschlusses



In Diagramm 1 ist exemplarisch der Tagesgang für den 06.12.2007 dargestellt. Bei einer mittleren Aussentemperatur von 10°C, einer mittleren Rücklauf-Vorlauftemperatur 53°C wird ein Leistungsbereich zwischen 75 und 100 kW, bei einer Auskühlung um ca. 20K realisiert. Über den Wärmehähler wurden per Datenlogger die Vor- und Rücklauftemperatur, Volumenstrom als Minutenwerte aufgezeichnet. Für die Aussentemperatur wurden die amtlichen Werte vom nahegelegenen Berlin-Dahlem herangezogen. Die angeschlossene Fußbodenheizung reagiert mit Mehrabnahme an Primärmassestrom auf angeforderte Leistungsspitzen. Für die Rücklaufanlage wurden im Zeitraum 06.12.2007 bis 10.01.2008 Messreihen durchgeführt. Entsprechende Diagramme zeigen, in Abhängigkeit der Aussentemperatur, qualitativ denselben Verlauf wie Diagramm 1.

3 Auswirkungen von Wärmesenken im Netzzrücklauf

3.1 Wärmeverluste

Die Wärmeverluste des gesamten Fernwärmesystems setzen sich aus den Verlusten der Vorlauf- und der Rücklaufleitung zusammen.

$$\dot{Q}_{v,ges} = \dot{Q}_{V,VL} + \dot{Q}_{V,RL}$$

Für den Vergleich der Wärmeverluste zwischen einzelnen Zeitperioden eines Fernwärmesystems können der Wärmedurchgangskoeffizient k und die Wärmeübertragungsfläche A als konstant angesehen werden. Die Aufteilung der Wärmeverluste auf Vor- und Rücklauf kann bei identisch verlegten Leitungen anhand der Triebkraft für die Wärmeübertragung vorgenommen werden. Die Triebkraft für den Wärmeverlust ist die Differenz zwischen der Medientemperatur und der Umgebungstemperatur der wärmeübertragenden Flächen. Allein auf Grund der Triebkraft für die Wärmeübertragung können, je nach Temperaturbereich, 35% bis 40% der Wärmeverluste dem Rücklauf zugeordnet werden. Zur Beurteilung der Veränderung der Rücklauf-Wärmeverluste ist es günstig von mittleren Werten für das gesamte Netz auszugehen, d.h. es wird eine mittlere Netzreferenztemperatur eingeführt.

$$\dot{Q}_{V,RL} = k A \Delta t_m \Rightarrow \dot{Q}_{V,RL} \sim \Delta t_m$$

Ausgehend von einer mittleren Netzreferenztemperatur lässt sich der veränderte Wärmeverlust wie folgt berechnen:

$$\dot{Q}(t_{R,m}) = \frac{t_{R,m} - t_{a,m}}{t_{R,REF,m} - t_{a,m}} \dot{Q}(t_{R,REF,m})$$

Die Reduzierung der Wärmeverluste ist Abhängig von der mittleren Aussentemperatur für den Bilanzzeitraum und der Netzzrücklauftemperatur. Exemplarisch wird die mögliche Einsparung in Diagramm 2 aufgezeigt.

**Wärmeversorgung aus dem Netzurücklauf -
Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung**

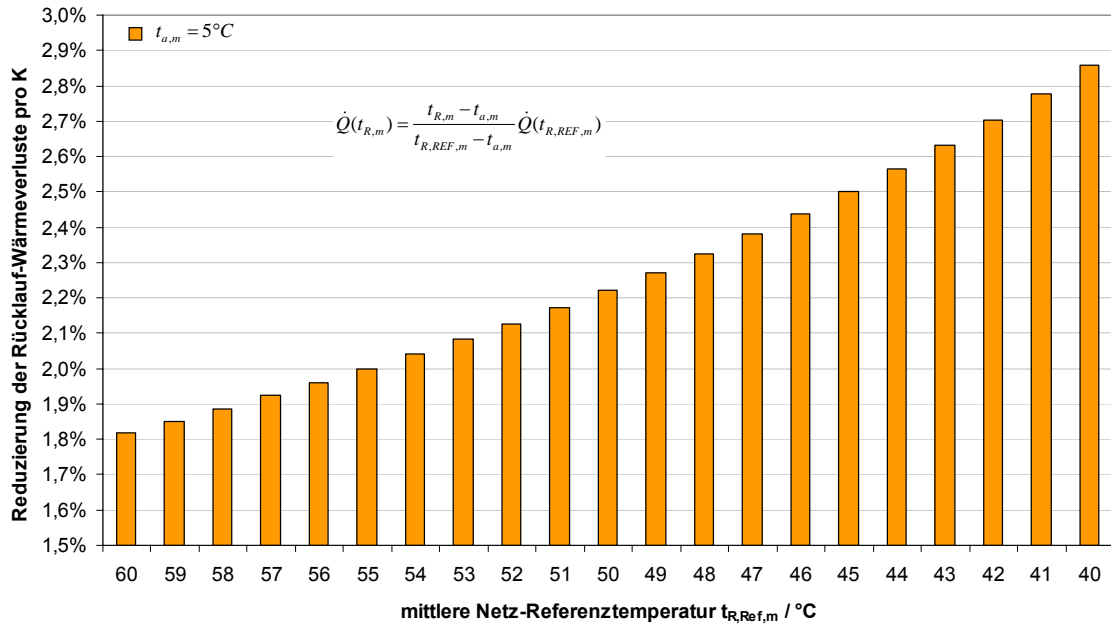


Diagramm 2: Abhängigkeit der Rücklauf-Wärmeverluste von der mittleren Netz-Referenztemperatur, z.B. bei der Absenkung um 1K.

Anwendung von Diagramm 2:

Es wird eine mittlere Netzreferenztemperatur von 55°C festgestellt, die Rücklauftemperatur wird um 5K durch den Anschluss von Kunden an den Wärmenetzrücklauf gesenkt. Aus Diagramm 2 geht eine spezifische Reduzierung der Rücklaufwärmeverluste von 2% hervor. Es ergibt sich eine Wärmeverlustreduzierung für den Rücklauf von 10%, bei einer mittleren Aussentemperatur im Bilanzzeitraum von 5°C.

Folgendes Beispiel soll die Verbesserung der Wärmeverluste verdeutlichen. Durch den Anschluss von 10% der installierten Wärmeleistung an den Rücklauf, bei einer Spreizung der Rücklaufanlage von 15K wird die mittlere Netzurücklauftemperatur von 50°C um 5K abgesenkt. Die Wärmeverluste werden um 2,22% pro K abgesenkt, was einer Minderung von 11,1% entspricht. Ausgehend von einem Anteil des Rücklaufes am gesamten Wärmeverlust von 40%, reduzieren sich die gesamten Wärmeverluste um 4,4% vom Ausgangswert. Eine Darstellung der Zahlenwerte ist in Abbildung 9 aufgeführt und wird durch die Sankey-Diagramme in Abbildung 10 veranschaulicht.

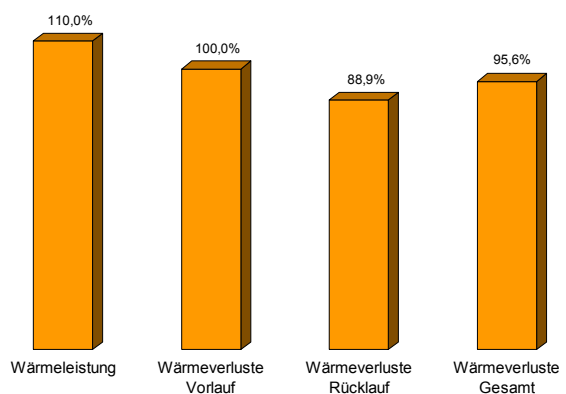


Abb.9: Darstellung der Zahlenwerte

Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf -
Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung

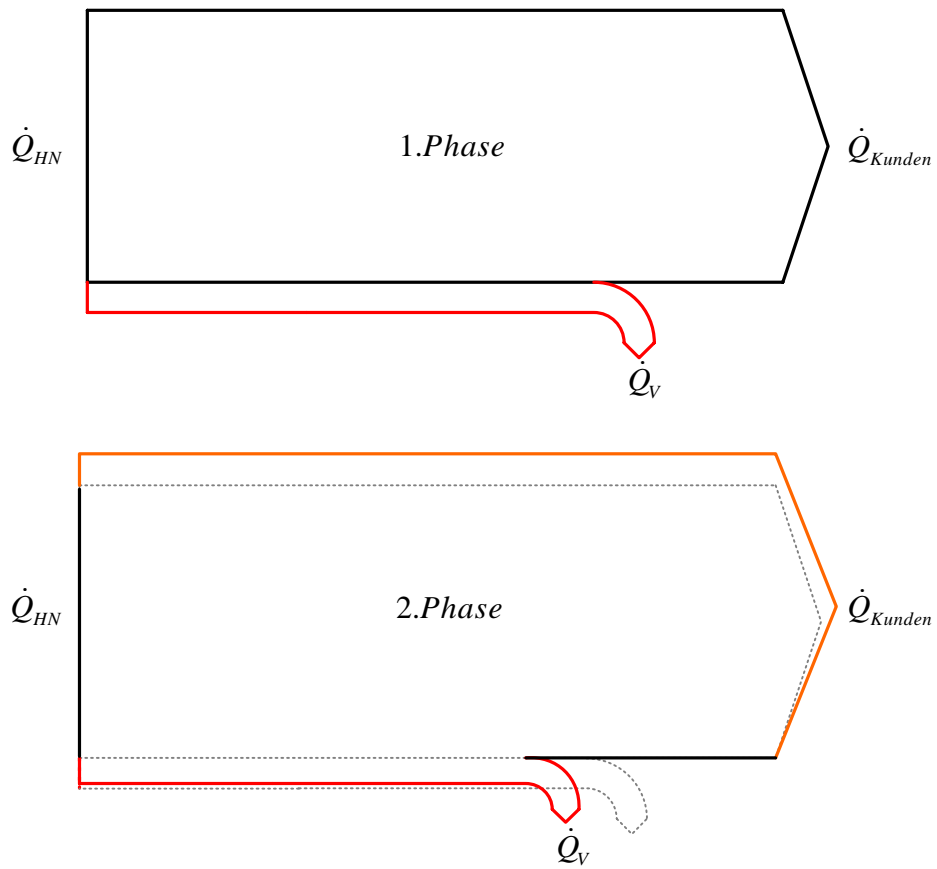


Abb.10: Sankey - Diagramm

3.2 Heizkraftwerke

Die Effekte der Minderung der Rücklauftemperatur bei konstantem Netzmassenstrom und konstanter Vorlauftemperatur haben Einfluss auf den thermodynamischen Kreisprozess von Heizkraftwerken. Die Auswirkungen auf

- Gegendruck- und Entnahme-Gegendruck-Heizkraftwerke und
- Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerke

werden anhand idealer reversibler Kreisprozessrechnungen qualitativ verglichen. Die dargestellten theoretischen Auswirkungen werden im weiteren Verlauf des Projektes mit realen Berechnungen und Messergebnissen verifiziert.

Für die Betrachtung einer veränderlichen Vor- und/oder Rücklauftemperatur sowie eines variablen Massenstroms wird auf den Vortrag von Dittmann/Rhein verwiesen [5].

3.2.1 Gegendruck- und Entnahme-Gegendruck-Heizkraftwerke

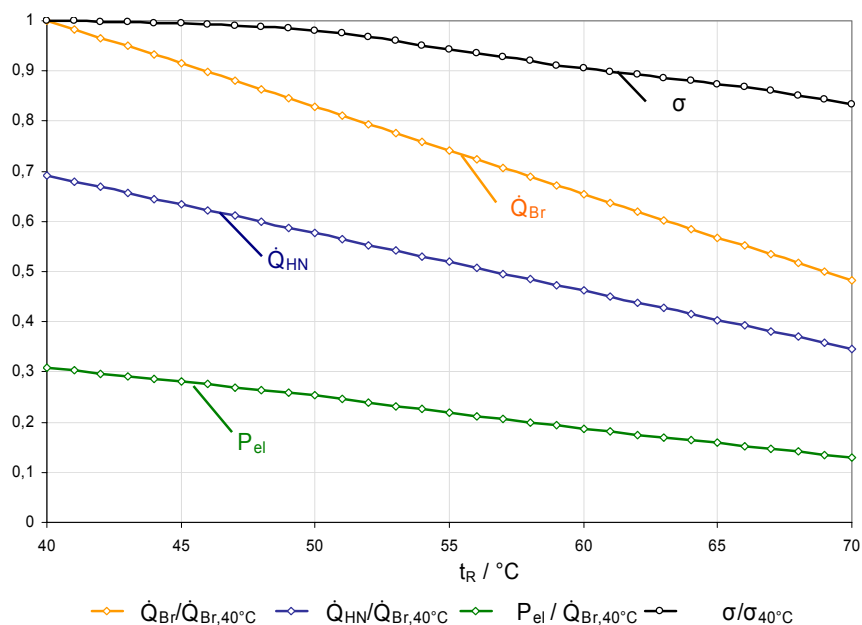


Diagramm 3: Gegendruck- und Entnahme – Gegendruck – HKW
Qualitativer Verlauf der Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur

In Diagramm 3 sind die Zusammenhänge qualitativ bezogen auf die Brennstoffwärmeleistung $\dot{Q}_{Br,40^\circ\text{C}}$ bei einer Rücklauftemperatur von 40°C bis 70°C dargestellt. Bei niedrigen Rücklauftemperaturen, konstantem Massenstrom und konstanter Vorlauftemperatur wird eine höhere Wärmeleistung \dot{Q}_{HN} gekoppelt mit einer größeren elektrischen Leistung P erzielt. Hierfür ist eine größere Brennstoffleistung \dot{Q}_{Br} erforderlich. Die Stromkennzahl σ steigt mit abnehmender Rücklauftemperatur an.

Die Auswirkungen auf thermodynamische Prozessgrößen, wie Gesamtwirkungsgrad und elektrischer Wirkungsgrad, sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Für einen theoretischen Gegendruck-, Entnahme-Gegendruck-Prozess und eine reale Entnahme-Gegendruckanlage wird auf die Arbeit von Rhein [6] sowie den Vortrag von Dittmann/Rhein [5] verwiesen.

3.2.2 Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerke

Bei Entnahme-Kondensationsanlagen wird ein Teil des Dampfmassenstromes nicht zur Bereitstellung von Wärme \dot{Q}_{HN} an das Heiznetz abgegeben werden, sondern über den Kühlturm $\dot{Q}_{Kühlturm}$ abgeführt. Das Maß der Abgabe an das Heiznetz richtet sich nach dem Temperaturniveau des Fernwärmenetzes. Bei einer mehrstufigen Erwärmung des Heiznetzes kann durch eine abgesenkte Netzzrücklauftemperatur mehr Wärme an das Fernwärmesystem ausgekoppelt werden. Die Wärmeabfuhr an die Umgebung wird entsprechend verringert.

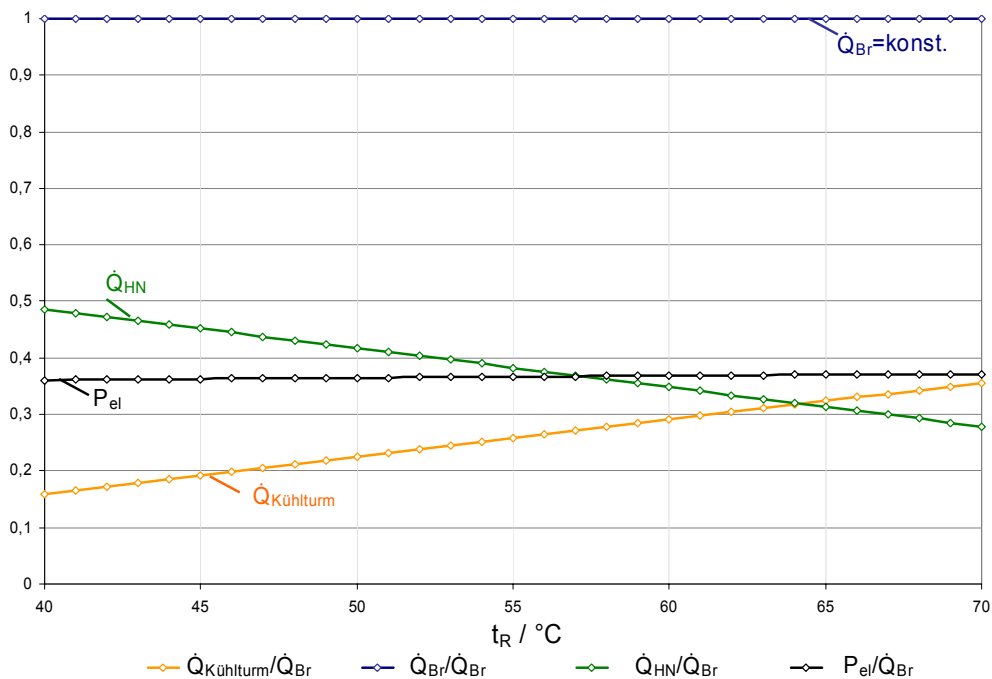


Diagramm 4: Entnahme-Kondensations-HKW – Qualitativer Verlauf der Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur

In Diagramm 4 wird gezeigt, dass für den idealen reversiblen Kreisprozess eine innere Wärmeverschiebung zwischen Wärmeabgabe an die Umgebung $\dot{Q}_{Kühlturm}$ und Wärmeabgabe an das Fernwärmesystem \dot{Q}_{HN} bei konstanter Brennstoffleistung \dot{Q}_{Br} besteht. Eine abgesenkte Rücklauftemperatur – durch Wärmesenken im Netzzrücklauf – steigert den KWK – Stromanteil, die Primärenergieausnutzung und die Heiznetzwärmeleistung. Die Steigerung des KWK - Stromanteiles P_{KWK} an der gesamten Stromerzeugung zeigt Diagramm 5.

**Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf -
Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung**

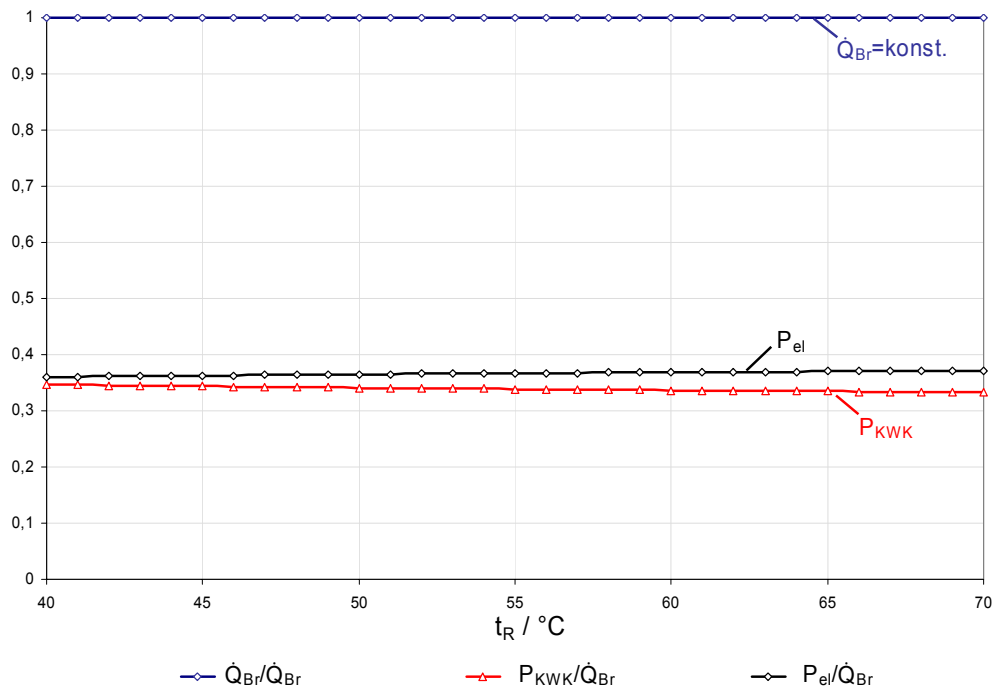


Diagramm 5: Entnahme-Kondensations-HKW – Qualitativer Verlauf der elektrischen Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur

3.3 Auswirkungen auf den Primärenergiefaktor

Mit den Erkenntnissen des theoretischen Zusammenhangs in Abschnitt 3.2 kann eine Aussage zu den Auswirkungen auf den Primärenergiefaktor getätigt werden. In dieser Betrachtung wird davon ausgegangen, dass nur das jeweilige Heizkraftwerk die Wärme für das Heiznetz liefert.

Der Primärenergiefaktor lässt sich wie folgt aufschlüsseln:

$$f_{P,HN} = \frac{Q_{Br} f_{P,Br} - W_{el,KWK,netto} f_{P,el}}{Q_{HN} - Q_V} + \frac{W_{P,FW} f_{P,el}}{Q_{HN} - Q_V}.$$

Der Primärenergiefaktor bewertet die Brennstoffwärme Q_{Br} , die elektrische Nettoarbeit $W_{el,KWK,netto}$, die Pumpenarbeit der Netzpumpen $W_{P,FW}$, die Wärmeabgabe des Heiznetzes Q_{HN} , vermindert um die Wärmeverluste Q_V des Heiznetzes.

Bei einer Verminderung der Rücklauftemperatur durch Rücklaufanlagen sind folgende Bedingungen zu berücksichtigen:

- Die Pumparbeit der Netzumwälzpumpen wird durch die zusätzlichen Wärmesenken im Netzzrücklauf nicht beeinflusst, und ist somit als konstant zu betrachten.
- Die Wärmeverluste werden leicht reduziert.
- Die abgegebene Wärmeleistung steigt.
- Die Brennstoffwärme
 - steigt bei Gegendruck-, Entnahme-Gegendruck-Anlagen,
 - bleibt konstant bei Entnahme-, Kondensationsanlagen.
- Die KWK - Nettostromerzeugung
 - steigt bei Gegendruck-, Entnahme-Gegendruck-Anlagen,
 - steigt bei Entnahme-, Kondensationsanlagen.

Aus diesen Bedingungen lässt sich ableiten, dass sich der Primärenergiefaktor bei Gegendruck und Entnahme-Gegendruck-Anlagen mit sinkender Rücklauftemperatur verringert. In Diagramm 6 wird der Verlauf dargestellt (**grüne Linie**).

$$f_{P,45^{\circ}\text{C}} < f_{P,50^{\circ}\text{C}}$$

Bei Entnahme-Kondensationskraftwerken ist von einer starken Verbesserung auszugehen, da die Brennstoffwärme konstant bleibt. Dargestellt ist dies in Diagramm 5 (schwarze Linie).

$$f_{P,45^{\circ}\text{C}} \ll f_{P,50^{\circ}\text{C}}$$

Für den idealen reversiblen Kreisprozess zeigt Diagramm 6 die Verbesserung des Primärenergiefaktors bezogen auf einen Primärenergiefaktor bei 70°C, sowie die zugehörigen Stromkennzahlen σ .

**Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf -
Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung**

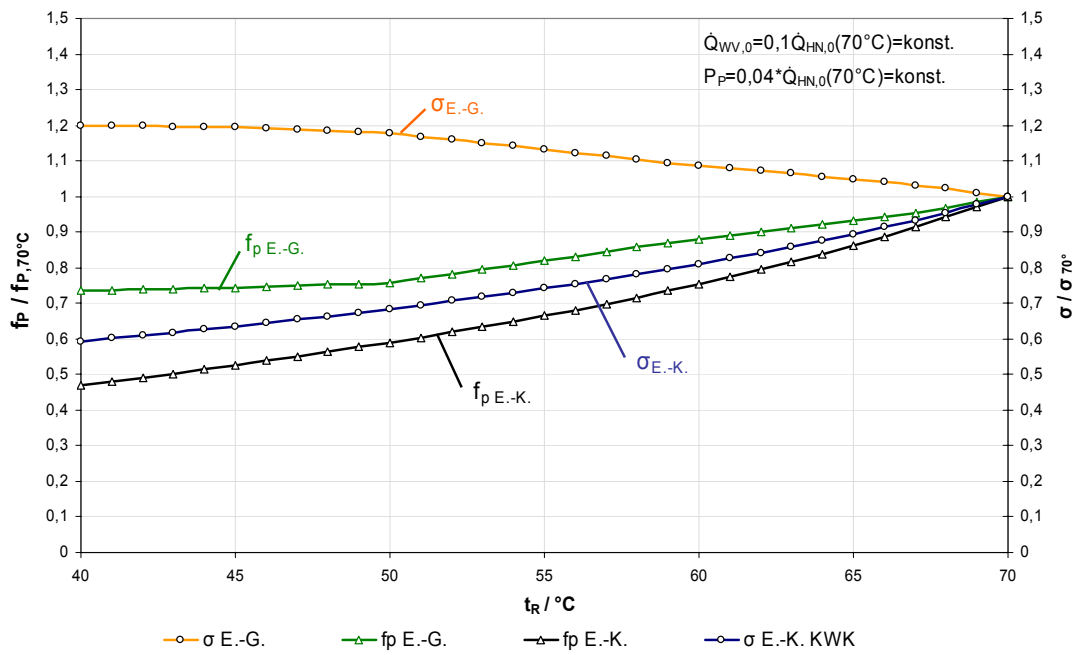


Diagramm 6: Auswirkungen einer reduzierten Rücklaufemperatur bei konstantem Massestrom auf den Primärenergiefaktor

4. Zusammenfassung

Für die Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf lassen sich folgende positive Aspekte nennen:

- Die Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf kann sicher gewährleistet werden.
- Es existieren langjährige positive Betriebserfahrungen mit Rücklaufanlagen.
- Der Stand der Technik bei der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG wird durch Messergebnisse belegt.
- Die Transportkapazität des Netzes wird ohne Mehraufwand der Heiznetzpumpen gesteigert.
- Wärmeverluste werden verringert.
- Der Primärenergiefaktor wird verringert.
- Bei Gegendruck-HKW wird die Produktion von KWK – Strom gesteigert.
- Entnahme-Kondensations-HKW verbessern den Anteil an KWK - Strom bei gleichem Brennstoffaufwand.
- Es besteht ein großes Potenzial zur Reduzierung der CO₂-Emissionen durch:
 - Ablösung von Öl- bzw. Gasheizungen,
 - Reduzierung der Wärmeverluste,
 - Verbesserung des Kraftwerksprozesses.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen:

Die Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf kann die Effizienz von Fernwärmesystemen bedeutend verbessern.

5. Ausblick

Der Stand der Technik von Rücklaufanschlüssen am Beispiel der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG zeigt, dass eine Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf eine Perspektive für die Netzverdichtung darstellt.

Ziel der weiteren Arbeit ist es eine Bewertungsmethodik für Rücklaufanschlüsse zu entwickeln. Diese Methodik soll folgende Aspekte betrachten:

- Sinnvolle Einsatzorte im Fernwärmenetz für Rücklaufanschlüsse.
- Darstellung des konkreten Nutzens für das Fernwärmeversorgungsunternehmen und für den Kunden.
- Ermittlung des maximalen Rücklaufkundenanschlussgrades.
- Ökonomische und ökologische Randbedingungen für Rücklaufanschlüsse.
- CO₂-EinsparPotenzial .
- Preisgestaltung der Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf.
- Übertragbare Bewertungsmethodik für Fernwärmesysteme.

Weiterführende Ergebnisse und Untersuchungsberichte werden im Rahmen des Projektes **MULTILEVEL DISTRICT HEATING** veröffentlicht.

Literaturverzeichnis

[1] Robbi, S. **Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von Wärmepumpen zur Rücklaufauskühlung in Fernwärmenetzen**

1. Giessener Fernwärmekolloquium 2008

[2] Bucar et al. **Dezentrale erneuerbare Energie für bestehende Fernwärmenetze 2006**

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 78/2006

[3] SWM – Fachdiskussion mit Herrn J. Spannig

Solare Nahwärme Ackermannbogen,

Dezentrale TWE/Zweileiterhausnetz – Satellitensystem 2007

[4] FW441 **Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus dem Rücklauf des Netzes** Arbeitsgemeinschaft Fernwärme - AGFW - beim VDEW 10/1998

[5] Dittmann, A.; Rhein, M. **Einfluss von Vor- und Rücklauftemperatur auf die Wirtschaftlichkeit von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung**

1. Giessener Fernwärmekolloquium 2008

[6] Rhein, M. **Einfluss von Vor- und Rücklauftemperatur auf die Wirtschaftlichkeit von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung**

Diplomarbeit TU Dresden, 2008

Versorgung aus dem Netzurücklauf

Stand der Technik und Perspektive für die Netzverdichtung

Gießen, 19. Februar 2008

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wirths, W-ASG/N
Dr.-Ing. Klaus-Peter Fröhlich, W-ASG/N



Versorgung aus dem Netzurücklauf Teilthematik des Projektes MULTILEVEL DISTRICT HEATING



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

**LowEx-Fernwärme
MULTILEVEL DISTRICT HEATING**

Es werden folgende Untersuchungsthemen miteinander „vernetzt“:

- TT I Komplexanalyse Low Temperature & CHP
- TT II Multifunktionale Fernwärmesysteme
- TT III Einfluss sinkender Vorlauftemperaturen auf die Gebäudetechnik
- TT IV Software zur Verbesserung der Einsatzchancen von Fernwärmesystemen



Forschungsvorhaben gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie FKZ: 0327400B

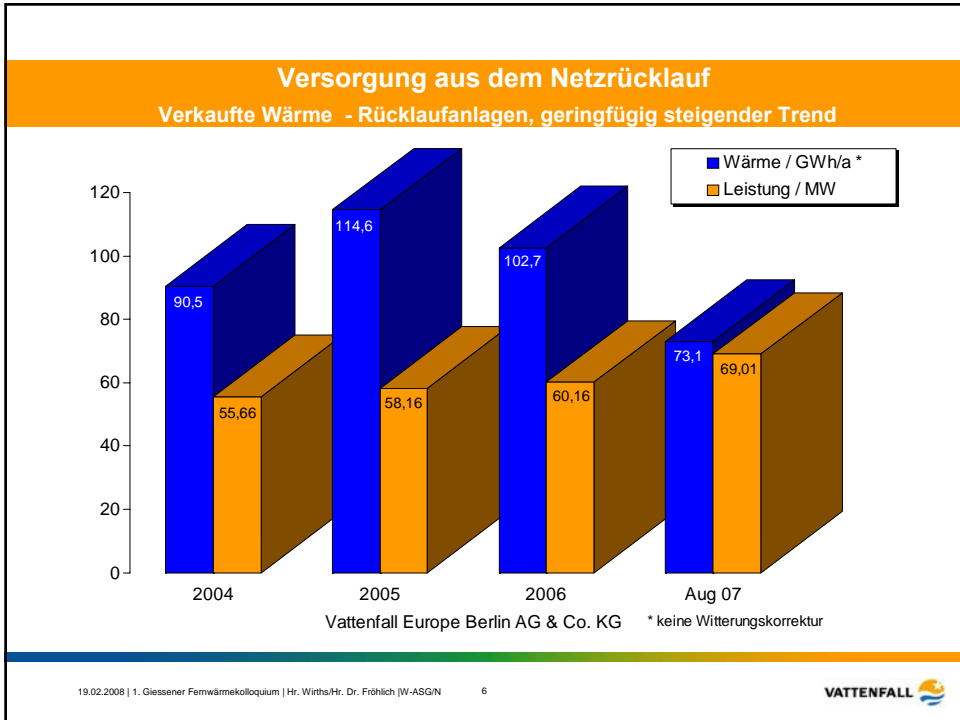
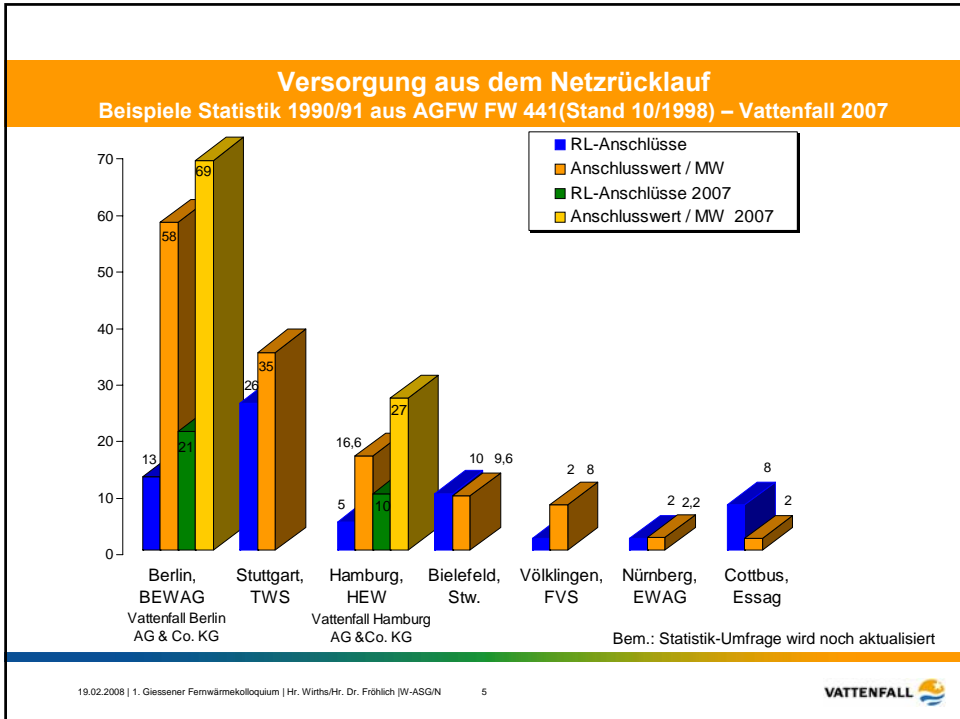


Vortragsinhalt

1. Die Rücklauftemperatur von Fernwärmenetzen und ihre Beeinflussbarkeit
2. Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf
 - Versorgung aus dem Netzzrücklauf – Statistik
 - Rücklaufanschluss – Schaltungsmöglichkeiten
 - Auslegungskriterien – Varianten
 - Messergebnis einer direkten Netzzrücklaufversorgung
3. Auswirkungen von Wärmesenken im Netzzrücklauf
 - Wärmeverluste
 - Heizkraftwerke
 - Primärenergiefaktor
4. Zusammenfassung
5. Ausblick

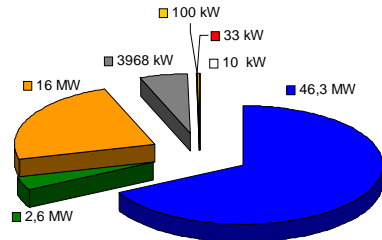
Die Rücklauftemperaturen von Fernwärmenetzen sind indirekt und direkt beeinflussbar !

- A) indirekte Beeinflussbarkeit bei üblichen Vorlauf-Rücklauf-Anschlüssen („ungesicherte“)
1. → Hausanlagen – Radiator-Heizung oder Flächenheizung, z. B. Fußboden
 2. → Hausanlagen – TWE-Prinzip, z. B. Speicher, Durchflussprinzip, Sammelversorgung mit 60 °C-Zirkulation
 3. → TWE-Schaltungen, z. B. mehrstufig, einstufig; 2-Leiter-Hausnetz und wohnungsweise TWE
 4. → Volumenstrom-abhängigen Grundpreis und seinen Anteil am Mischpreis
 5. → „harte“ RL-temperatur-Begrenzer
- B) direkte Beeinflussbarkeit über „abgesenktes Temperaturniveau“ („gesicherte“)
- „a priori“ durch Rücklaufanschlüsse, mit Vorlauf-Rücklauf und Rücklauf-Rücklauf-Kombination und Mindesttemperaturniveau



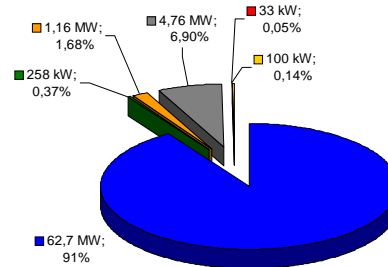
Versorgung aus dem Netzurücklauf Anlagenstruktur Vattenfall Berlin 2008

Struktur: Anlagen/Verwendungszweck



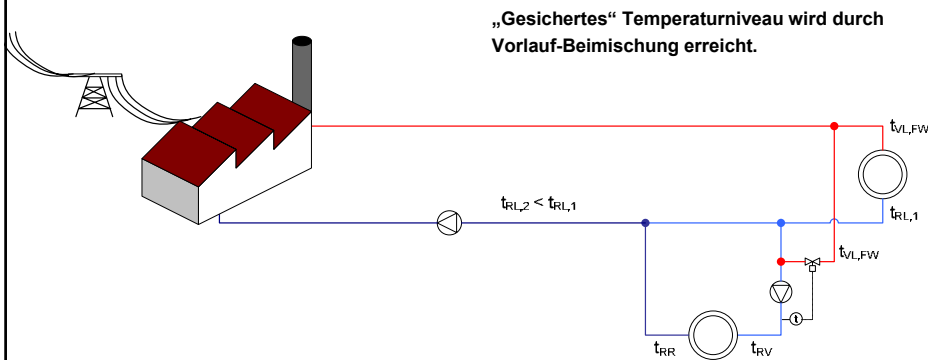
- 9 Luftheizungen
- 2 Lufthzg./Radiator
- 1 Lufthzg/kombinierte Module
- 6 Fußbodenheizungen
- 1 Radiator
- 1 Sommerheizung
- 1 Freiflächenheizung

Struktur: Kundengruppen



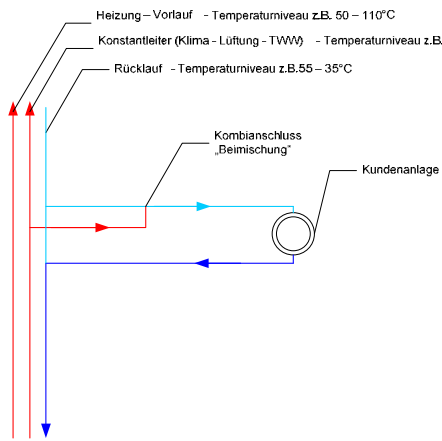
- 10 Industriebetriebe
- 1 Hochschule
- 4 Wohnhäuser (MFH)
- 4 Gewerbl. Nutzung
- 1 S-Bahn Bogen - Geschäfte
- 1 Krankenhaus

Schaltungsprinzip eines Rücklaufanschlusses I

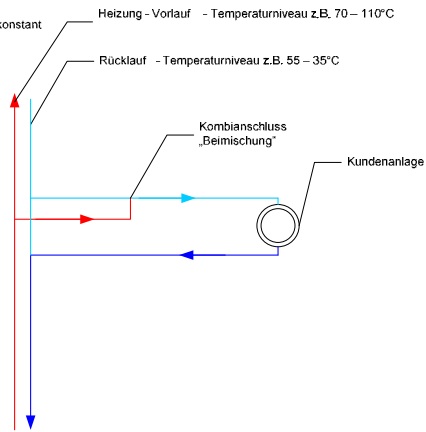


Schaltungsprinzip eines Rücklaufanschlusses II

• 3-Leiter-Netz



• 2-Leiter-Netz



Auslegung der Rücklaufversorgung Beispiel: Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG

- Technische Anschlussbedingungen Fernwärme: -
 - RL-Anschluss kein Standardfall; die Auslegung ist immer objektkonkret abzustimmen!
- Die Auslegung erfolgt speziell auf die Bedingungen des Kunden.
- Auslegung installierter Rücklaufanlagen:
 - Eingestellter Volumenstrom aus Heizlastberechnung und
 - $\Delta t_{\text{Primär}} = 15 \text{ K}$ – ca. $\frac{3}{4}$ aller RL-Anlagen
 - $\Delta t_{\text{Primär}} = 20 \text{ K}$ – ca. $\frac{1}{4}$ aller RL-Anlagen
 - Auslegung der Haussystems (Aktenrecherche)
 - Direkt
 - Lüftungsanlagen: 50/35; 50/33; 50/32
 - Fußbodenheizung: 50/35
 - Indirekt
 - Lüftungsanlagen: 50/39-47/34,5;
 - Fußbodenheizung: 60/39-55/35 ; 50/39-47/34,5

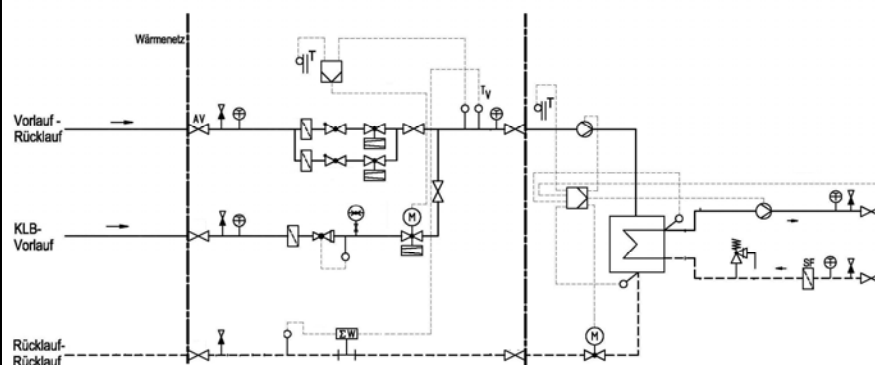
Auslegung der Rücklaufversorgung

Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG

- Zusätzliche Druckverluste der Hausanlage werden von einer Pumpe gedeckt.
- Bei wechselnder Fließrichtung des Netzzücklaufmassesstromes wird eine Umschaltung des Rücklauf-Vorlaufes vorgesehen.
- Versorgung der TWE über die primärseitige Netzzvorlaufleitung.
- Mindest-Vorlauftemperatur kann mittels motorisch gesteuertem Volumenstromregler in der Sicherheitseinspritzung des Netzzvorlaufes geregelt werden.

Auslegung der Rücklaufversorgung

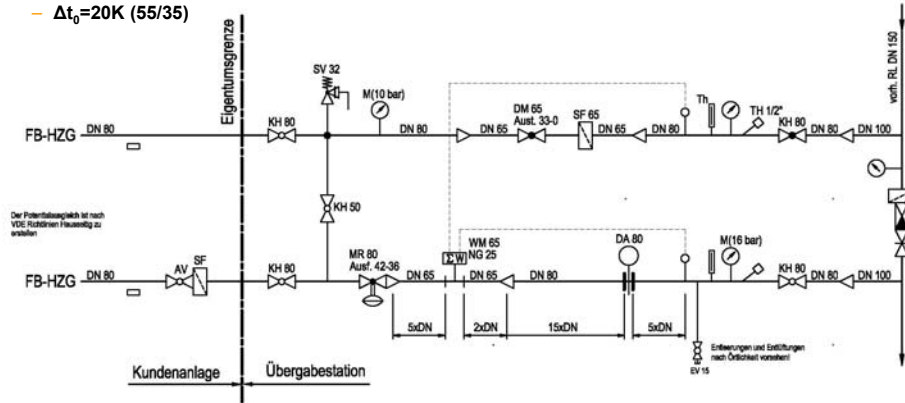
Ausführungsbeispiel für indirekten Anschluss Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG



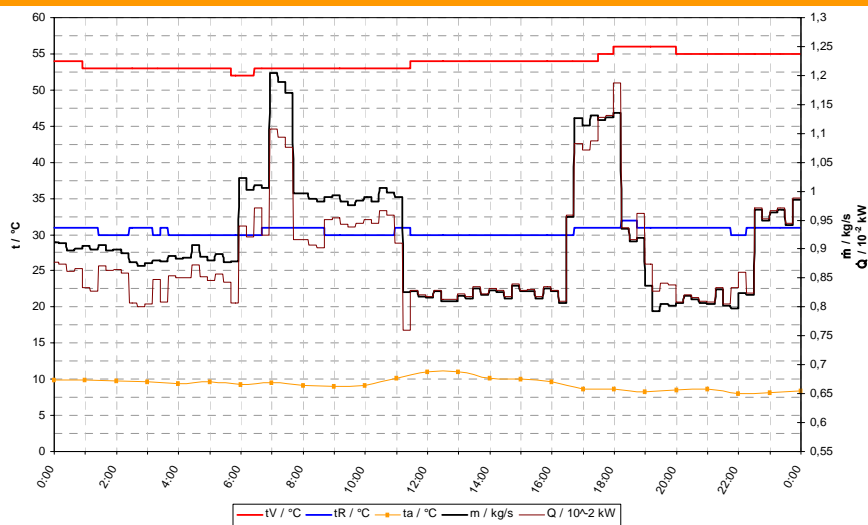
Messergebnisse einer direkten Netzurücklaufversorgung

- Stationsangaben:

- $\dot{Q}_{max} = 258 \text{ kW}$;
- $\dot{V}_{eln} = 11,1 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \dot{m} = 3,1 \text{ kg/s}$;
- $\Delta t_0 = 20 \text{ K (55/35)}$



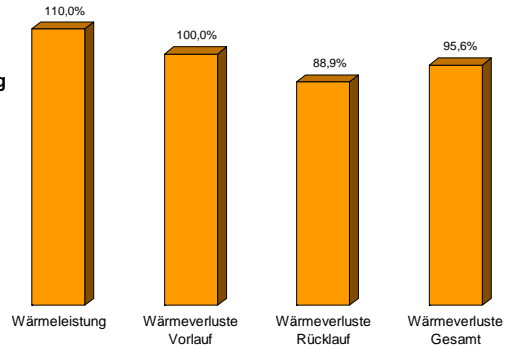
Messergebnis einer direkten Netzurücklaufversorgung



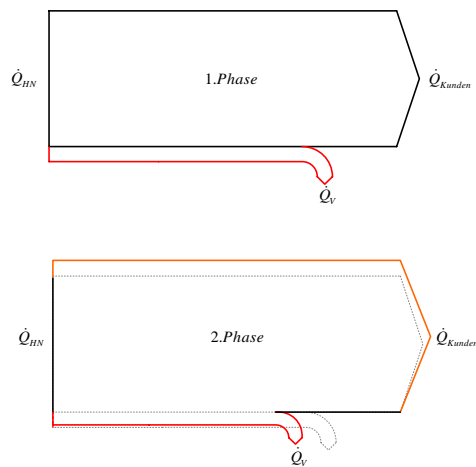
Auswirkungen von Wärmesenken im Netzurücklauf

Beispiel

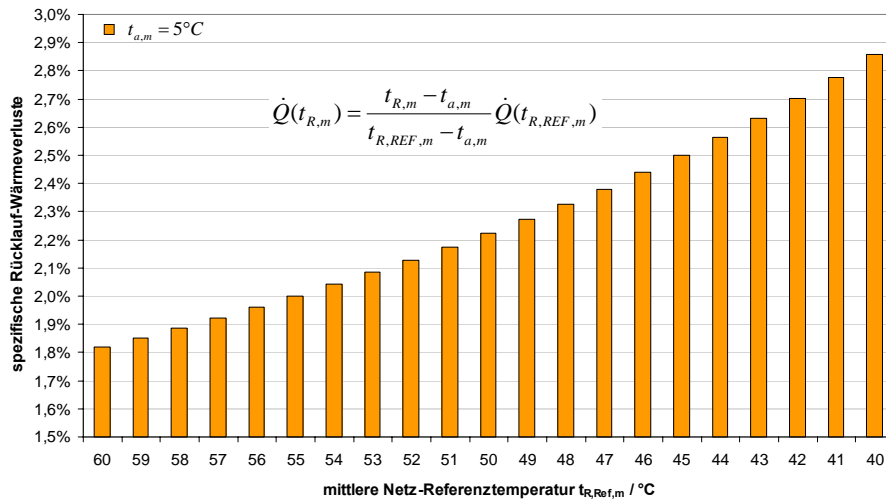
- Netztemperatur $t_{v,m} = 100\text{ °C}$ / $t_{r,m} = 50\text{ °C}$
 - Anschluss 10 % der Anschlussleistung an den Rücklauf
 - $t_{r,m} = 45\text{ °C}$ (nach RL-Anschlüssen)
 - $t_{a,m} = 5\text{ °C}$
 - Von 100 % Wärmeverluste
 - Vorlauf 60 %
 - Rücklauf 40 %



Auswirkungen von Wärmesenken im Netzurücklauf



Absenkung der Wärmeverluste im Netzurücklauf



19.02.2008 | 1. Gläserner Fernwärmekolloquium | Hr. Wirths/Hr. Dr. Fröhlich | W-ASGN

17



Auswirkungen von Wärmesenken im Netzurücklauf

- Spezifische Auswirkung von Wärmesenken im Netzurücklauf anhand eines idealen reversiblen Kreisprozesses sind festzustellen:
 - Heizkraftwerke
 - Gegendruck-, Entnahme-Gegendruck
 - Entnahme-Kondensation
 - Primärenergiefaktor
 - Gegendruck-, Entnahme-Gegendruck
 - Entnahme-Kondensation

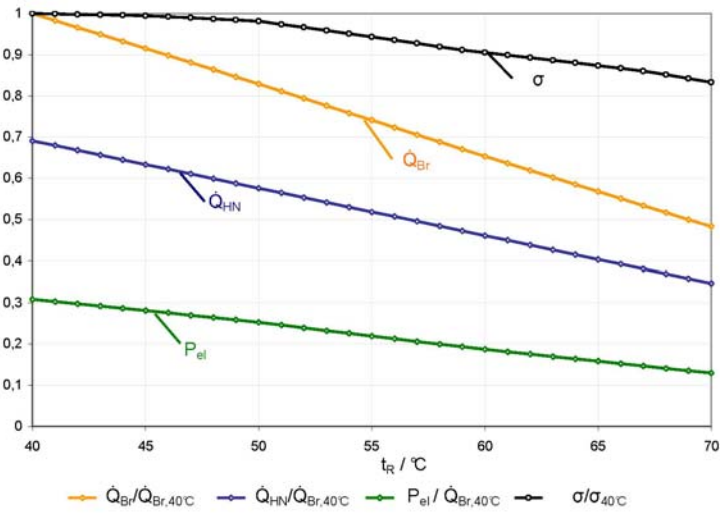
19.02.2008 | 1. Gläserner Fernwärmekolloquium | Hr. Wirths/Hr. Dr. Fröhlich | W-ASGN

18



Gegendruck- und Entnahme – Gegendruck – HKW

Qualitativer Verlauf der Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur



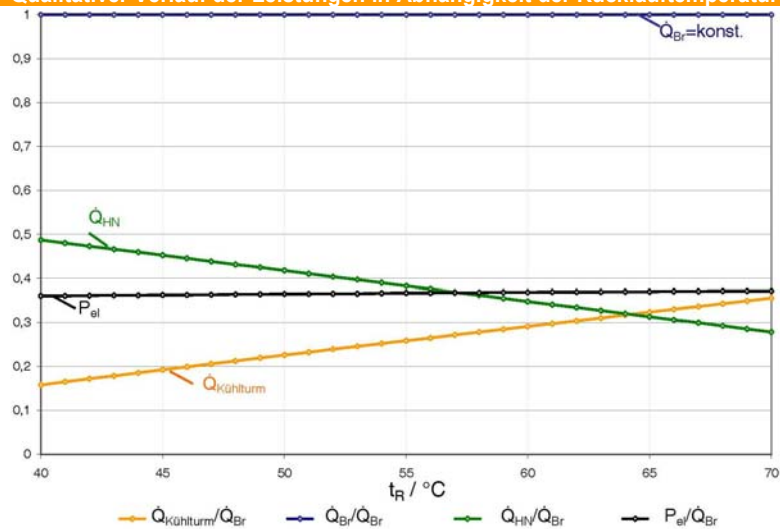
19.02.2008 | 1. Gießener Fernwärmekolloquium | Hr. Wirths/Hr. Dr. Fröhlich | W-ASGN

19



Entnahme - Kondensations – HKW

Qualitativer Verlauf der Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur I



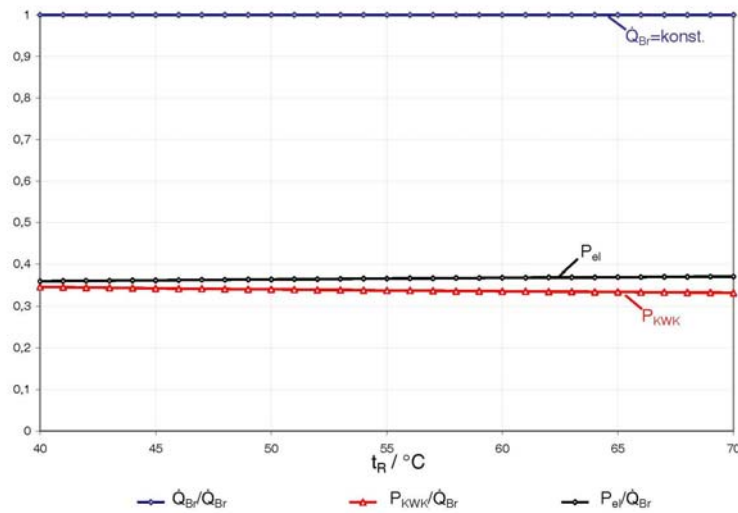
19.02.2008 | 1. Gießener Fernwärmekolloquium | Hr. Wirths/Hr. Dr. Fröhlich | W-ASGN

20



Entnahme - Kondensations – HKW

Qualitativer Verlauf der Leistungen in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur II



Auswirkungen auf den Primärenergiefaktor

- Gegendruckanlage

- $f_{P,50^{\circ}\text{C}} > f_{P,45^{\circ}\text{C}}$

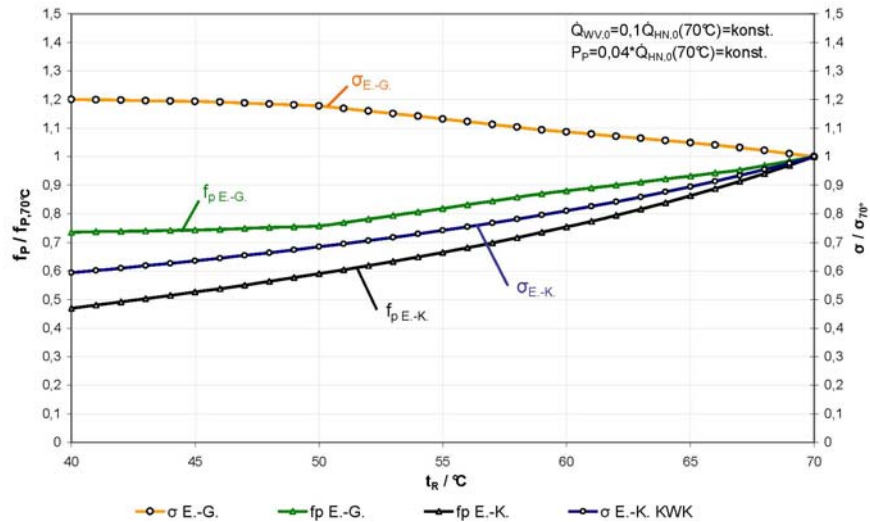
- Entnahme-Gegendruckanlage $f_{P,HN} = \frac{Q_{Br} f_{P,Br} - W_{el,KWK,netto} f_{P,el}}{Q_{HN} - Q_V} + \frac{W_{P,FW} f_{P,el}}{Q_{HN} - Q_V}$

- $f_{P,50^{\circ}\text{C}} > f_{P,45^{\circ}\text{C}}$

- Entnahme-Kondensationsanlage

- $f_{P,50^{\circ}\text{C}} \gg f_{P,45^{\circ}\text{C}}$

Auswirkungen auf den Primärenergiefaktor



Zusammenfassung Bewertung


- **Versorgung aus dem Wärmenetzrücklauf:**
 - Gewährleistet eine (zusätzliche) Versorgung der Kundenanlagen in hydraulisch „schlechten“ Abschnitten
 - Es existieren langjährige positive Betriebserfahrungen
 - gestützt durch Messergebnisse
 - Erhöhte Transportkapazität des Netzes, ohne Mehraufwand der Heiznetzpumpen.
 - Verringerung der Wärmeverluste
 - Verbesserung des Primärenergiefaktors

Zusammenfassung Bewertung

- Gegendruck – HKW
 - Steigerung des KWK – Stromes,
- Entnahme - Kondensations – HKW
 - Steigerung des KWK – Stromes, bei gleichem Brennstoffaufwand
- Potentiale zur Reduzierung der CO₂-Emissionen:
 - Wärmeversorgung - Ablösung von Öl- bzw. Gasheizungen
 - Reduzierung der Wärmeverluste
 - Verbesserung des Kraftwerksprozesses

Die Wärmeversorgung aus dem Netzzrücklauf kann die Effizienz von Fernwärmesystemen bedeutend verbessern.

Ausblick Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG

- Versorgung aus dem Wärmenetzzrücklauf
 - Wann ist eine Rücklaufversorgung sinnvoll?
 - Wo im Netz sind Rücklaufanlagen zweckmäßig?
 - Wieviele Rücklaufanlagen bringen ein wirtschaftliches und technisches Optimum?
 - Wie sollte das FVU Rücklaufanlagen fördern? (Preisgestaltung)
 - Was ist der konkrete Vorteil für das FVU?
-  Das soll eine Bewertungsmethodik künftig aufzeigen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!