

Einfluss der Netzurücklaufemperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen

Wirths, Andreas

Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG
Syringenplatz 29, 10407 Berlin
e-mail: andreas.wirths@vattenfall.de

Abstrakt:

Die Netzurücklaufemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz von Fernwärmesystemen. In dem Beitrag werden mögliche Ursachen für hohe Rücklaufemperaturen angeführt und einzelne Aspekte eingehend analysiert. Desweiteren wird die Versorgung aus dem Wärmenetzurücklauf als Perspektive für die Netzverdichtung vorgestellt, welche zugleich eine positive Beeinflussung der Rücklaufemperatur ermöglicht. Im Bereich der Wärmeverteilung wird der Effekt veränderter Rücklaufemperaturen auf Pumpenleistung und Wärmeverluste unter Einbeziehung verschiedener Netzstrukturen dargestellt. Die Auswirkungen eines veränderten Rücklaufemperaturniveaus auf verschiedene Heizkraftwerksschaltungen werden anhand ausgewählter Simulationsrechnungen dargelegt und mittels des Primärenergiefaktors energetisch bewertet.

Inhalt

1. Einleitung	3
2. Maßnahmen zur Reduzierung des Rücklauftemperaturniveaus	4
2.1 Rücklauftemperaturen konventioneller Hausanschlüsse	5
2.2 Wärmesenken im Netzurücklauf	10
3. Auswirkung einer veränderten Netzurücklauftemperatur auf die Wärmeverteilung	12
3.1 Strahlennetz	14
3.2 Maschennetz	16
4. Auswirkung einer Rücklauftemperaturveränderung auf den Kraftwerksprozess	18
4.1 Entnahme-Gegendruck-Prozess: Variante 1 – Variabler Massestrom	20
4.2 Entnahme-Gegendruck-Prozess: Variante 2 – Konstanter Massestrom	23
4.3 Entnahme-Kondensations-Prozess: Variante 1 – Variabler Massestrom	24
4.4 Entnahme-Kondensations-Prozess: Variante 2 – Konstanter Massestrom	26
4.5 Primärenergetischer Vergleich	27
5. Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	30
6. Anhang	31
7. Schrifttum	32

1. Einleitung

Das Thema „Rücklauf­temperatur“ steht in der Fernwärmeforschung und -anwendung immer wieder im Blickpunkt. So werben zahlreiche Firmen und Autoren für Systeme, die eine niedrige Rücklauf­temperatur garantieren sollen. Entwicklungen im Bereich der Hausanschlussstationen und Trinkwassererwärmungsanlagen versprechen eine bessere Auskühlung des Fernwärmewassers. Vorschläge zur Verminderung der Rücklauf­temperatur werden schon seit den 1980er Jahren veröffentlicht.¹ Das Rücklauf­temperaturniveau der Fernwärmesysteme hat sich indes seitdem nicht entscheidend verändert.

Ziel dieser Veröffentlichung ist, Ursachen hoher Rücklauf­temperaturen aufzuzeigen und ihren Einfluss auf die Effizienz von Fernwärmesystemen darzustellen. Desweiteren wird mit der Wärmeversorgung aus dem Fernwärmerücklauf eine interessante Möglichkeit zur Absenkung des Rücklauf­temperaturniveaus vorgestellt.

Die Forschungsaktivitäten im Bereich der Rücklauf­temperaturen sind Bestandteil des Projektes **LowEx-Fernwärme – MULTILEVEL DISTRICT HEATING (MDH)**.² Im Rahmen dieses Projektes werden vier Teilthemen bearbeitet. Teilthema I umfasst die Auswirkungen von Vor- und Rücklauf­temperaturveränderungen auf die Wärmeerzeugung, während im Teilthema II Fernwärme- und Kältenetze im Vordergrund stehen. „LowEx“-Aspekte der Gebäudetechnik analysiert Teilthema III. Die Verknüpfung der drei Schwerpunkte erfolgt in Teilthema IV; desweiteren wird ein Softwaretool zur optimalen Einsatzplanung erstellt.



Bild 1-1 **LowEx-Fernwärme – MULTILEVEL DISTRICT HEATING**

¹ Eine Zusammenfassung relevanter Techniken und Erkenntnisse aus der einschlägigen Fachliteratur findet sich in /13/.

² Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter der Förderkennziffer 0327400B.

2. Maßnahmen zur Reduzierung des Rücklauftemperaturniveaus

Bei der Darstellung der Auswirkungen einer abgesenkten Rücklauftemperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen ist zunächst zwischen der Auslegung eines Fernwärmesystems (Neubau) und einer Bestandsrechnung zu unterscheiden. Dies gilt ebenfalls für die Art der Temperaturabsenkung. Wärmeverluste, Netzpumpenarbeit und Auswirkungen des Rücklauftemperaturniveaus auf Heizkraftwerke sind entscheidende Einflussfaktoren für die Bewertung der energetischen bzw. monetären Effizienz. Hinsichtlich der Wärmeerzeugung werden die Effekte auf verschiedene Heizkraftwerksarten untersucht. Für Heizwerke und Blockheizkraftwerke sind zurzeit keine Ergebnisse verfügbar. (Übersicht Bild 2-1)

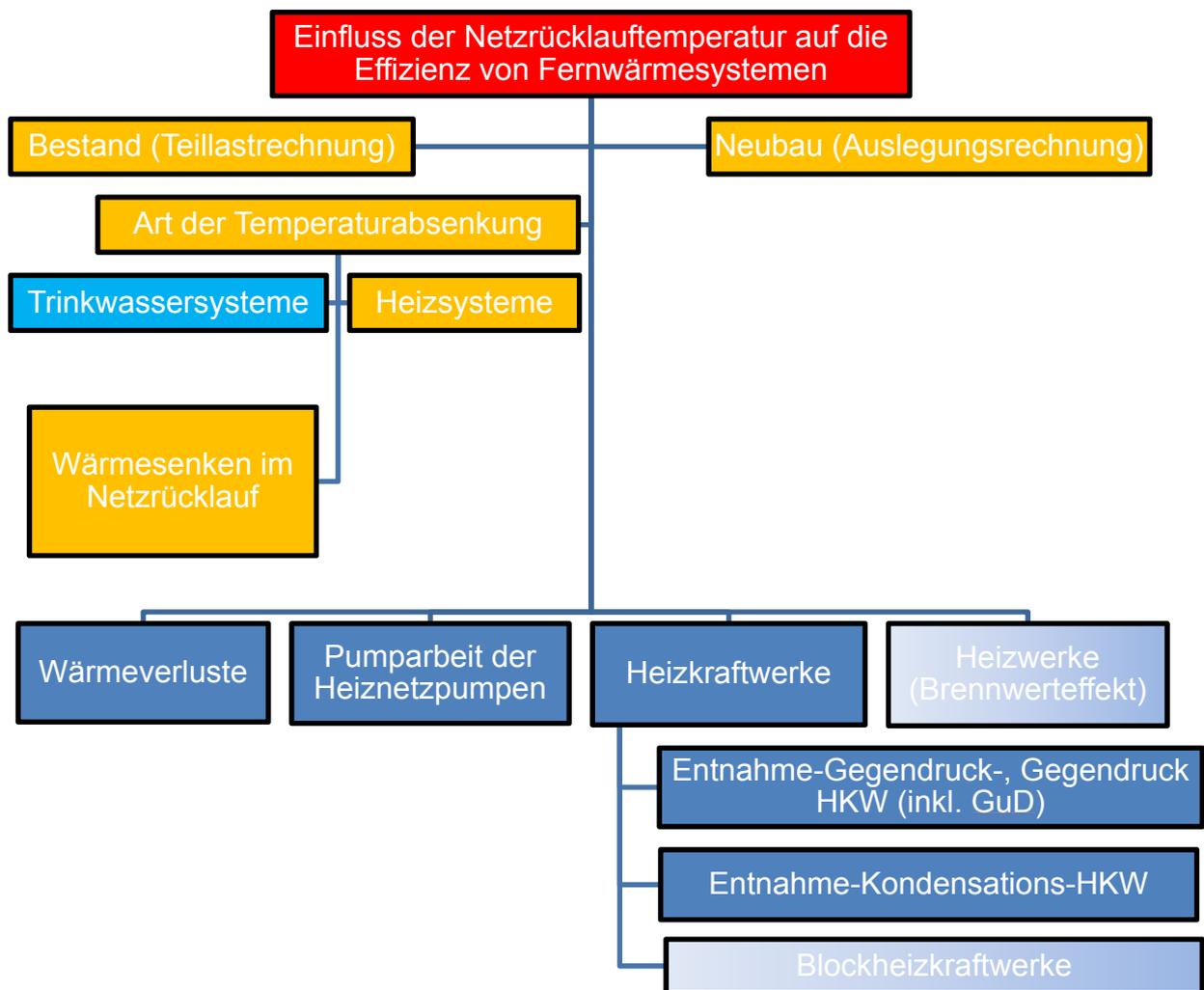


Bild 2-1 Einflussfaktoren auf die Effizienzbewertung einer Rücklauftemperaturveränderung

2.1 Rücklauftemperaturen konventioneller Hausanschlüsse

Begründung und Analyse hoher Rücklauftemperaturen in bestehenden Fernwärmesystemen

Die Rücklauftemperatur in bestehenden Fernwärmesystemen liegt meist deutlich über dem theoretisch möglichen Niveau. Hohe Rücklauftemperaturen können vielfältige Ursachen haben. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über mögliche Gründe für zu hohe Rücklauftemperaturen.

Tabelle 2-1 Mögliche Ursachen für hohe Rücklauftemperaturen

<u>Heizungssystem</u>	<u>Trinkwassererwärmungsanlage</u>
<p>Hausanschlussstation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fehlende Regelgüte der eingebauten Regler (schwingende Regler) oder defekte Regelventile; - Undichte Kurzschlussleitungen zwischen Vor- und Rücklauf, Bypass; - Ventilabschluss: Durchströmen der HAST ohne Anforderung; - Überfahren der primärseitigen Fahrkurve → instabiles Reglerverhalten in der HAST; - Ineffektive bzw. fehlerhaft eingestellte Aussentemperaturabhängige-Regelung (ATR) bzw. der sekundärseitigen Fahrkurve /11/; <p>Hausanlage</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fehlender hydraulischer Abgleich, - Nutzerverhalten - Art der Hausanlage (z.B. Einrohrheizung); - Schnellaufheizung im intermittierenden Betrieb /10/. 	<p>Speichersysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geringe Wärmeübertragungsfläche. - Einfaches Speichersystem /11/ - Wärmeverluste an Speicher- und Anschlussleitungen (Gegenstromzirkulation) → häufiges Speichernachwärmen auf Solltemperatur, obwohl Speicher kaum entladen ist /5/, /12/. - Starke Mischung im Speicher durch Einbindung des Zirkulationsrücklaufes und hohen Zirkulationsvolumenstrom /5/. <p>Durchflussprinzip</p> <ul style="list-style-type: none"> - einstufiges Durchflussprinzip /11/ <p>Zirkulationssysteme /6/</p> <ul style="list-style-type: none"> - Unzureichende Wärmedämmung der Rohrleitungen. - Ungenügender bzw. fehlender thermisch-hydraulischer Abgleich im Zirkulationssystem.

Die Größe des Einflusses der in Tabelle 2-1 aufgeführten Ursachen auf die Rücklaufemperatur kann nur im Einzelnen durch Simulationsrechnung oder in der Praxis z.B. durch Messung beurteilt werden. Einzelne Effekte wie z.B. die Schnellaufheizung³ werden im Projekt MDH durch Simulation⁴ untersucht. Die Berechnungen bieten die Möglichkeit, Störeinflüsse an der HAST oder Fehler an der Hausanlage in Bezug auf die Rücklaufemperatur zu vergleichen. Das Ziel einer solchen Fehleranalyse könnte ein umfassendes „Beratungsblatt für die Optimierung von Fernwärmehausanschlüssen“ (z.B. inkl. Checkliste) sein. Gerade im Hinblick auf die Möglichkeit neuartiger Preissysteme, welche einen von der Auskühlung abhängigen Tarif vorsehen (Knierim /7/ und Meixner /8/), kann eine Anleitung zur Verbesserung von Kundenanlagen nützlich sein.

Eine umfassende Fehleranalyse oder Erstellung einer Checkliste ist nicht Teil des Projektes MDH und kann nur in möglichen weiteren Projekten durchgeführt werden. Exemplarisch werden im Folgenden einzelne Punkte der Tabelle 2-1 diskutiert.

Die Auswirkung des fehlenden hydraulischen Abgleiches auf die Rücklaufemperatur ist nur schwer zu erfassen, da die Netzstruktur des Hausnetzes und die Voreinstellung der Regelventile von Bedeutung sind. Für unterschiedliche Systembetrachtungen wird in einer Studie der TU Dresden angegeben, dass die Rücklaufemperatur während der Heizperiode durchschnittlich bis zu 4 K höher als eine hydraulisch abgeglichene Anlage sein kann /2/.

Das Verhalten der Nutzer ist gleichfalls nicht eindeutig erfassbar. Um einen Eindruck von den Auswirkungen individueller Nutzergewohnheiten auf die Rücklaufemperatur zu gewinnen, führt das Institut für Thermodynamik und TGA der TU Dresden eine Jahresgebäudesimulationen (Heizperiode) auf Basis von Testreferenzjahren mit vorgegebenem Nutzerverhalten durch. Die Resultate werden mit der Simulation bei Norminnentemperaturen verglichen.

Berechnet wird der Einfluss des Nutzerverhaltens auf ein Wohngebäude mit zwölf Wohneinheiten, mit Gebäudedämmstandards nach WSV0 77 bzw. EnEV 2007. Die Heizkörper sind mit Thermostatregelventilen ausgestattet; der Heizbetrieb läuft intermittierend. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Vorgaben sowie eine konkrete Auswertung der Simulationsergebnisse werden im Endbericht des Projektes MDH erfolgen.

Das Nutzerverhalten wird mit Störfunktionen beschrieben. Im ersten Fall – Störfunktion a – wird das Schlafzimmer nicht und das Kinderzimmer nur in den Zeiten 7 bis 9 Uhr und 15 bis 20 Uhr beheizt. Störfunktion b beschreibt ein grenzwertiges Nutzerverhalten. Das Schlafzimmer wird nicht, das Kinderzimmer von 6 bis 9 Uhr sowie 15 bis 20 Uhr und das Bad (20°C) und die Küche von 6 bis 9 Uhr und 19 bis 22 Uhr beheizt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Behaglichkeitskriterien durch Störfunktion b nicht mehr durchgängig gegeben sind. Das Ziel ist eine tendenzielle Darstellung der Rücklaufemperatur.

Die Ergebnisse für einen Gebäudedämmstandard nach WSV0 77 zeigt Bild 2-2. Im Vergleich zur Simulation mit Vorgabe der Norminnentemperaturen sind deutlich höhere Rücklaufemperaturen erkennbar. Besonders in den Monaten mit niedriger

³ Der Begriff Schnellaufheizung bezeichnet die Heizphase im Anschluss an die Nachtabenkung.

⁴ Die Gebäudesimulation wird vom Institut für Thermodynamik und TGA der TU Dresden im Rahmen des Projektes MDH durchgeführt /Knorr, Meizenbach/.

Aussentemperatur werden im Mittel um 4,5 K höhere Rücklauftemperaturen bei Nutzerverhalten (a) und bis zu 7,6 K bei Nutzerverhalten (b) berechnet.

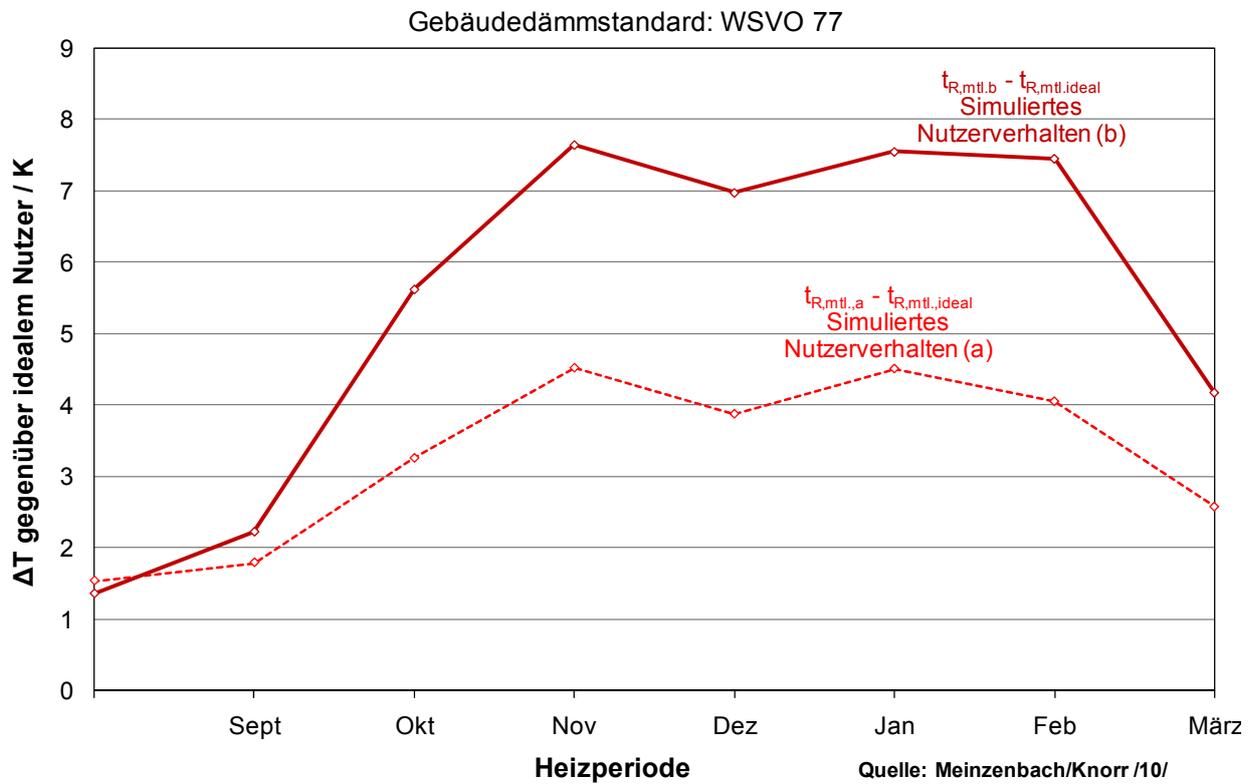


Bild 2-2 WSVO 77: Gebäuderücklauftemperaturen bei unterschiedlichem Nutzerverhalten /10/

Bei der Gebäudesimulation für den Standard EnEV 2007 sind die Rücklauftemperaturerhöhen etwas geringer. In den Monaten mit niedrigen Aussentemperaturen liegen diese wie bei der WSVO 77 deutlich über der Berechnung mit Norminnentemperatur. Es werden Abweichung bis zu 2,3 K (a) und 5,8 K (b) berechnet.

Die Abbildungen (Bild 2-2 und Bild 2-3) verdeutlichen die Schwankungsbreite durch unterschiedliches Nutzerverhalten.

Für eine detaillierte Beschreibung aller in Tabelle 2-1 dargestellten möglichen Ursachen hoher Rücklauftemperaturen wird auf weitere Ergebnisse des Projektes MDH verwiesen.

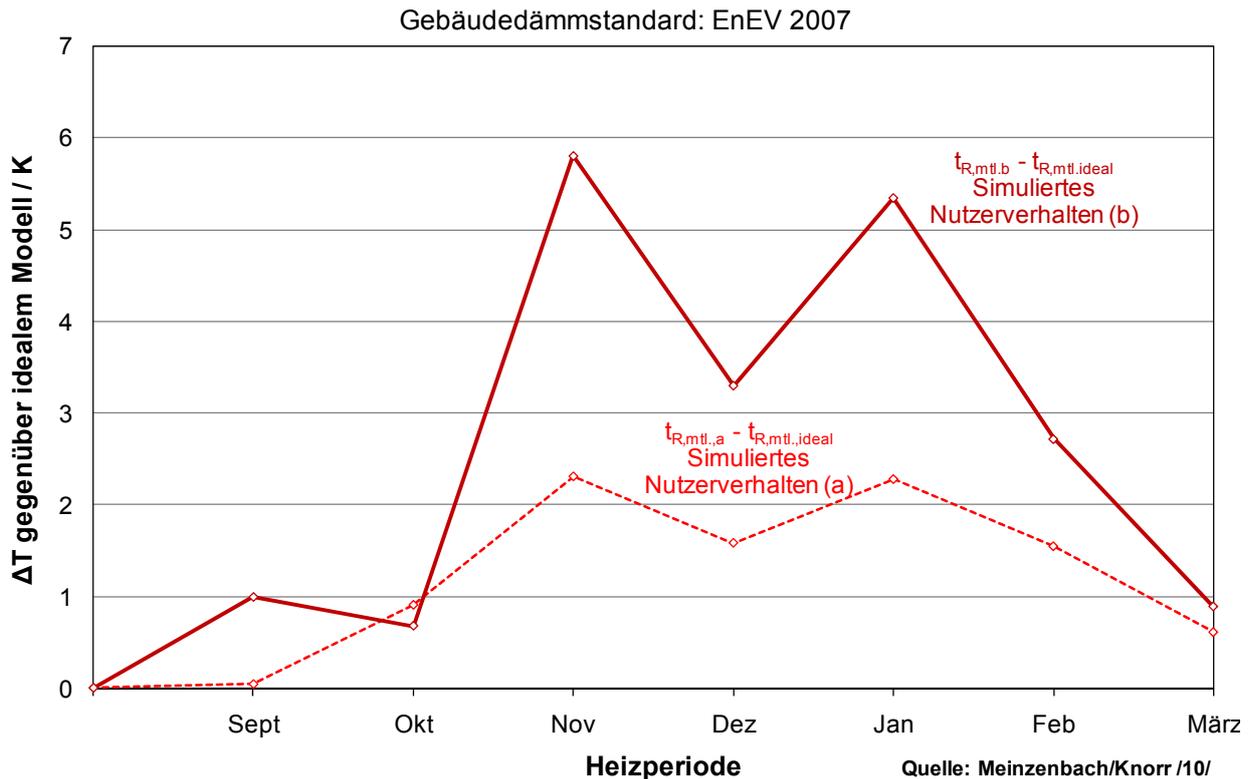


Bild 2-3 EnEV 2007: Gebäuderücklauftemperaturen bei unterschiedlichem Nutzerverhalten /10/

Identifikation und Beurteilung von Kundenanlagen mit erhöhter Rücklauftemperatur

Eine Identifikation von Kundenanlagen mit erhöhter Rücklauftemperatur ist schwierig, weil meist durch das FVU nur die Temperatur an der Kraftwerksgrenze, eventuell noch zusätzlich an ausgewählten Punkten im Netz, gemessen und aufgezeichnet wird. Eine grundsätzliche Möglichkeit zur Feststellung „schlechter“ Anlagen kann die Bildung der mittleren jährlichen Temperaturspreizung sein, vorausgesetzt der Wärmezähler verfügt über die Möglichkeit, neben der Wärme auch die Menge („Volumen“) auszugeben. Nach folgender Gleichung ergibt sich die mittlere jährliche Auskühlung:

$$\Delta T_a = \frac{Q_a}{V_a \rho c_p} \quad \text{Gleichung 2-1}$$

Da es praktisch unmöglich ist, in überschaubarer Zeit alle Kundenanlagen zu kontrollieren, wird eine Reihenfolge erstellt. Vorrang sollte die Prüfung von Anlagen mit großen Masseströmen bzw. räumlicher Nähe zum Heizkraftwerk haben, da diese das größte Einsparpotential aufweisen (Vgl. Abschnitt 3). Eine mögliche Vorgehensweise verdeutlicht Bild 2-4.



Bild 2-4 Bearbeitungspyramide: Feststellung von Kundenanlagen mit dem größten Potential

Auf den Einsatz „harter“ Rücklauftemperaturbegrenzer wird vielfach verzichtet, um Auseinandersetzungen mit dem Kunden vorzubeugen. Ein intelligenter Rücklauftemperaturbegrenzer, der beispielsweise den Primärmassestrom in Abhängigkeit einer festgelegten Grädigkeit der Rückläufe regelt, könnte Abhilfe schaffen.

2.2 Wärmesenken im Netzurücklauf

Eine Möglichkeit der Rücklauf Temperaturabsenkung bieten Wärmesenken im Netzurücklauf - etwa Wärmepumpen und Rücklaufanlagen. Mit diesem Verfahren ist eine direkte Wirkung und damit eine gesicherte Absenkung der Rücklaufenthalpie erreichbar. Für die Wärmeversorgung dieser Anschlussart wird ein Teilmassstrom des Rücklaufes von der Anlage abgekühlt und in den Netzurücklauf zurückgeleitet. Die Mischtemperatur an der Wiedereinführung liegt unterhalb der Netztemperatur vor der Wärmesenke. Bezüglich der Grundlagen, Schaltungsvarianten, theoretischen Betrachtungen und Effizienzkriterien von Wärmepumpenanwendungen zur Rücklaufauskühlung wird auf den Vortrag *Wärmesenken im Netzurücklauf – Wärmepumpe und Rücklaufanschluss* /9/ verwiesen.

Die Versorgung von Kundenanlagen aus dem Netzurücklauf erfolgt in Berlin schon seit Anfang der 1980er Jahre /1/ - zunächst zur Wärmeversorgung von Industrieanlagen und später zum Anschluss von Mehrfamilienhäusern, Kaufhäusern, Krankenhäusern und Hochschulen. Bei den Kundenanlagen handelt es sich um Luftheizungen z.B. für Werkhallen, Fußbodenheizungen, Radiatoren sowie eine Sommerheizung und eine Freiflächenheizung. Die insgesamt 21 Rücklaufanschlüsse weisen eine Gesamtleistung von 69 MW auf. Die Technischen Anschlussbedingungen der Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG fordern für den Anschluss an einer Rücklaufanlage eine individuelle Abstimmung mit dem FVU /TAB/. Die Auslegung der Wärmeübergabestation wird den Erfordernissen der Kundenanlage objektkonkret angepasst. Grundsätzlich unterscheidet sich die Auslegung der Rücklaufanlage nicht von der Dimensionierung einer konventionellen Wärmeversorgung.

Tabelle 2-2 Auslegungsparameter von Rücklaufanlagen

	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	

In der Regel ist der vorhandene Netzdruck in der Rücklaufleitung zu gering, um die Druckverluste der Übergabestation zu decken. Aus diesem Grund wird der Einbau einer Pumpe in der Rücklauf-Vorlaufleitung empfohlen /FW 441/. Bei wechselnder Fließrichtung des Rücklaufmassstromes wird eine Umschaltung in Abhängigkeit der Strömungsrichtung vorgesehen. Dies gewährleistet auch in vermaschten Netzteilen eine sichere Versorgung.

Den Kombinationsanschluss einer Rücklaufanlage zeigt Bild 2-5. 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 veranlasst. Besteht kundenseitig kein Temperaturbedarf, der über der Netzurücklauftemperatur liegt, ist die Beimischregelung außer Betrieb. Diese Art des Anschlusses ermöglicht eine Wärmeversorgung unter minimaler Inanspruchnahme der Netzvorlaufes.

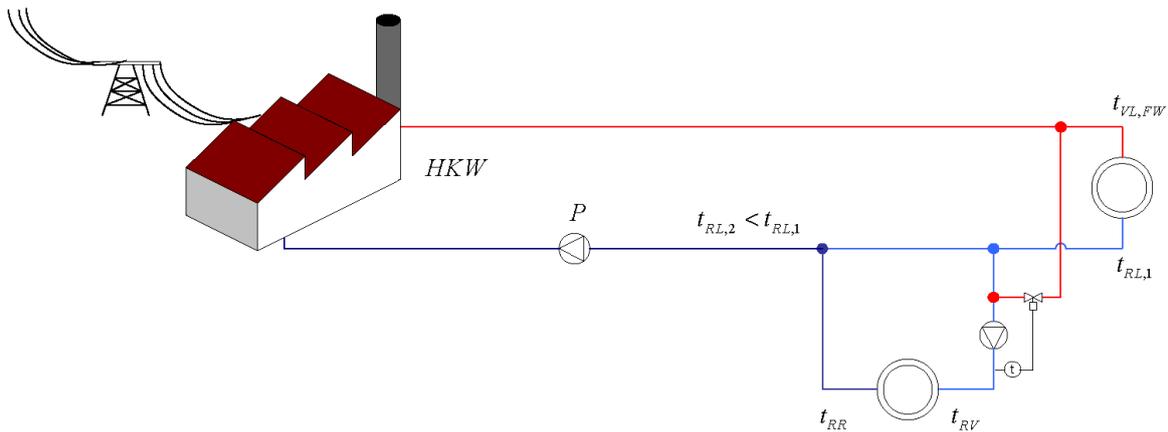


Bild 2-5 Grundlegendes Schaltprinzip eines Rücklaufanschlusses

Die Rücklaufanlagen in Berlin werden derzeit ausschließlich im Dreileiternetz betrieben. Zur Trinkwassererwärmung wird der Konstantleiter⁵ genutzt. Bei Zweileiternetzen wird die Trinkwassererwärmung aus dem Netzvorlauf gewährleistet /FW 441/. An einer Studie zur Nutzung des Rücklaufanschlusses, beispielsweise zur Vorwärmung des Trinkwassers, wird zurzeit in Kooperation mit der TU Dresden gearbeitet. Desweiteren existiert die Möglichkeit der Trinkwasserbereitung unter Wärmepumpeneinsatz /9/.

Die Versorgung aus dem Wärmenetzrücklauf wird durch Vattenfall gegenwärtig eingehend untersucht. Hierzu werden unterschiedliche Schaltungsvarianten messtechnisch geprüft, der Nutzen für das Fernwärmesystem analysiert und eine Bewertungsmethodik entwickelt. Weiterführende Ergebnisse und Untersuchungsberichte werden nach Abschluss der Untersuchungen veröffentlicht.

⁵ Konstantleiter, auch KLB: Klima – Lüftung – Brauchwasser

3. Auswirkung einer veränderten Netzurücklauftemperatur auf die Wärmeverteilung

Ein wesentlicher Einflussfaktor der Effizienz von Fernwärmenetzen ist die Wärmeverteilung. Die Leistung der Netzumwälzpumpen und die Wärmeverluste des Netzes werden hauptsächlich vom Massestrom \dot{m} sowie dem Temperaturniveau in Vor- und Rücklauf t_V/t_R bestimmt.

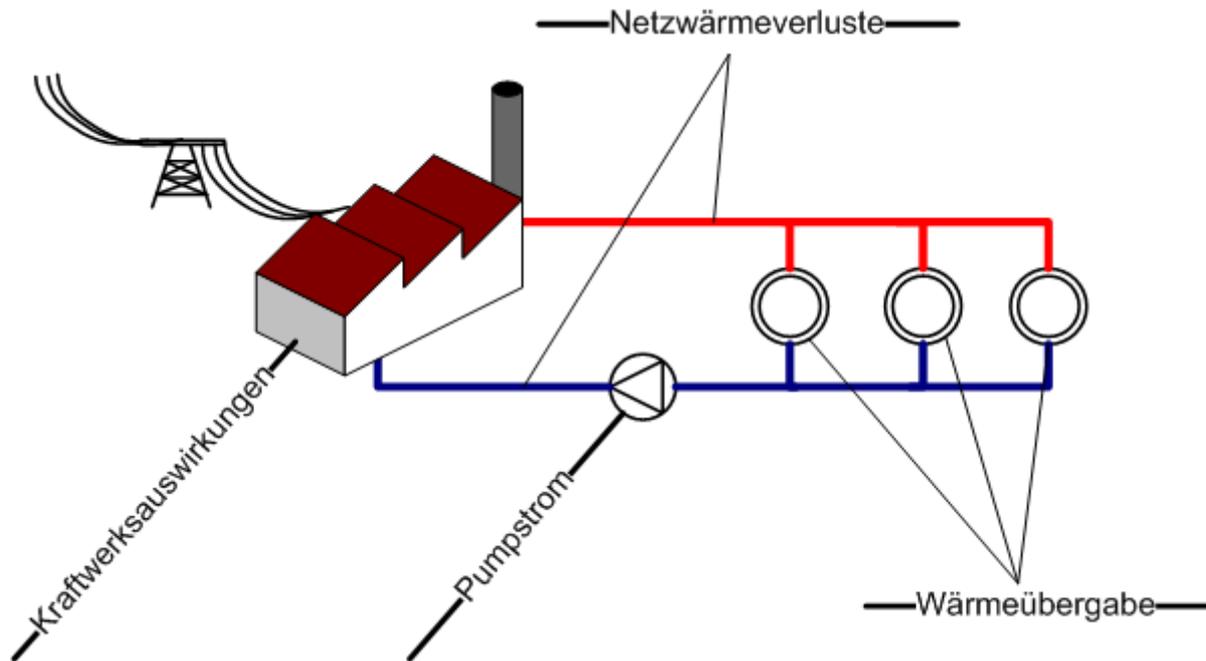


Bild 3-1 Zu untersuchende Größen bei der Rücklauftemperaturabsenkung

Durch eine bessere Auskühlung des Fernwärmewassers in der Kundenanlage reduziert sich der umzuwälzende Massestrom. Die Leistung der Netzpumpen P_{HN} verringert sich in dritter Potenz zum Massestrom. Zur allgemeinen Darstellung der aufzuwendenden Pumpenleistung werden die Netzwidestände mit dem Widerstandswert R zusammengefasst ZSCHERNIG /14/.

$$P_{HN} = \frac{\dot{V}\Delta p}{\eta} = \frac{\dot{m}^3 R}{\rho\eta}, \quad R = \frac{8\lambda L(1+\alpha)}{\rho\pi^2 D_i^5} \quad \text{Gleichung 3-1}$$

Je größer der Widerstandswert des Netzes, desto größer die aufzuwendende Pumpenleistung und damit das Einsparpotential bei abgesenkten Rücklauftemperaturen. In Bild 2-3 wird die Abhängigkeit der Pumpenleistung von der Rücklauftemperatur bei verschiedenen Netzwidestandswerten aufgezeigt.

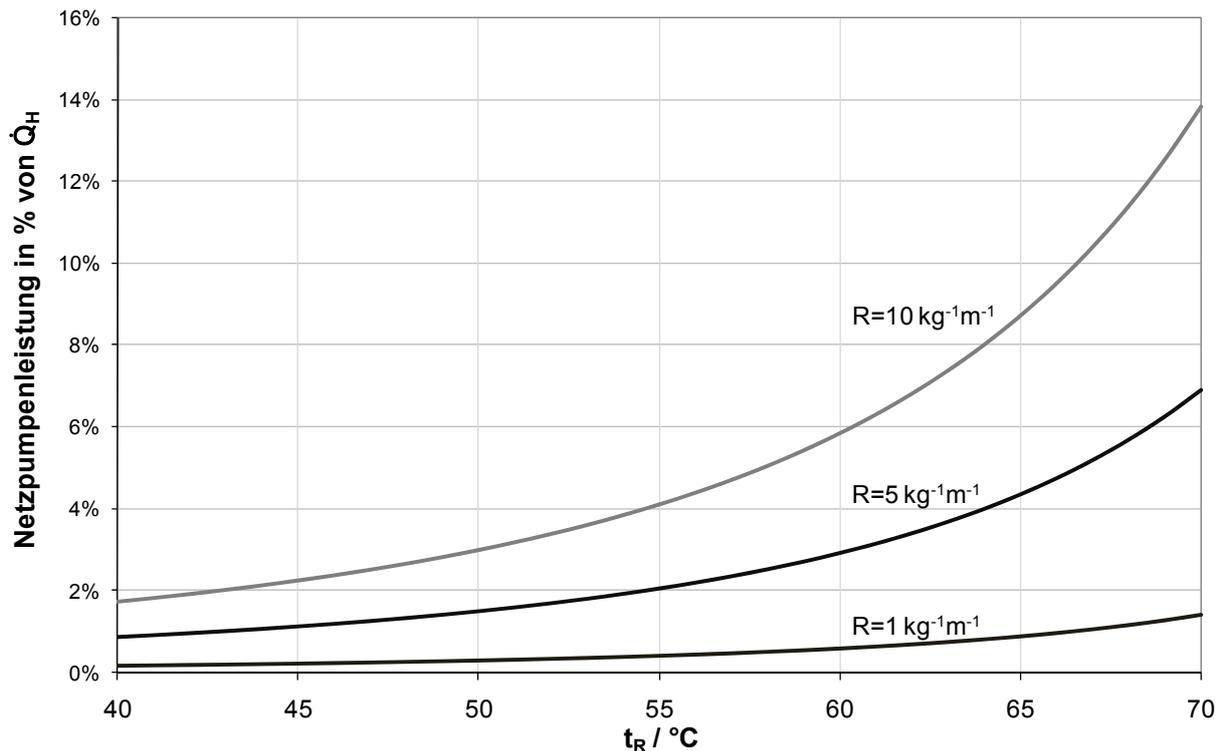


Bild 3-2 Leistung der Netzpumpen in Abhängigkeit der Rücklauf­temperatur ($t_V = \text{const.}$, $\dot{Q} = \text{const.}$)

Der Wärmeverlust des Fernwärmenetzes wird durch eine Rücklauf­temperaturabsenkung ebenfalls verringert. Eine allgemeine Darstellung des Einsparpotentials ist bei den Wärmeverlusten nicht möglich, da die Größe des Wärmeverlustes nicht nur von Massestrom und Temperaturniveau in der Leitung, sondern auch von Stärke und Zustand der Wärmedämmung, Verlegungsart (Erdrreich, oberirdische Verlegung) und Umgebungstemperatur abhängig ist.

Eine präzisere Beurteilung des Einflusses der Netzzücklauf­temperatur auf die Wärmeverteilung erfordert es, die Struktur des Netzes und die Lage der Kundenanlagen, die das Fernwärmewasser besser auskühlen, mit zu berücksichtigen.

Den Einfluss der Lage im Netz verdeutlichen die Untersuchungen von /3/. Für ein Strahlen- und ein Maschennetz werden die Auswirkungen einer verbesserten Auskühlung auf die Leistung der Umwälzpumpen und die Wärmeverluste dargestellt. Um den Unterschied der Einsparungen zu verdeutlichen, wird im Fall a.) der dem HKW am nächsten gelegene Kunde, im Fall b.) der entfernteste Kunde und im Fall d.) ein Kunde in der Netzmitte untersucht. Für das Maschennetz werden zwei gleich weit entfernte Kunden – Fall a.) und c.) – mit unterschiedlich dimensionierten Rohrdurchmessern einer Teilstrecke analysiert (Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1 Einfluss des Ortes der Rücklauf Temperaturabsenkung auf die Wärmeverteilung

Fall	Strahlennetz	Maschennetz
a.)	Nächstgelegene Kundenanlage zum HKW	Nächstgelegene Kundenanlage zum HKW
b.)	Entfernteste Kundenanlage zum HKW	Entfernteste Kundenanlage zum HKW
c.)	-	Nächstgelegene Kundenanlage zum HKW – unterscheidet sich in Dimensionierung von Fall a.)
d.)	Kundenanlage in Netzmitte	Kundenanlage in Netzmitte

Alle Kundenanlagen weisen in dem Berechnungsbeispiel eine identische Wärmeleistung auf. Die Vorlauf Temperatur am Heizkraftwerk beträgt 100°C und verringert sich bis zur Kundenanlage um die Wärmeverluste der Vorlaufleitung. In den einzelnen Fällen wird eine Auskühlung der Kundenanlagen pro Rechenschritt um 1 Kelvin – ausgehend von einer Auslegungstemperaturdifferenz von 50 K bis herauf zu 70 K angenommen. Der Wärmebedarf des Kunden bleibt konstant. Die Auswertungen (Bild 3-3 bis Bild 3-6) beziehen sich auf die Rücklauf Temperatur am HKW. Eine Zusammenfassung der Berechnungsgrundlagen und eine ausführliche Aufarbeitung der Ergebnisse finden sich in /3/.

3.1 Strahlennetz

In dem Strahlennetz wirkt sich eine Rücklauf Temperaturabsenkung der kraftwerksnahen Kundenanlage deutlich geringer auf die Leistung der Netzpumpen (Bild 3-3) und die Wärmeverluste (Bild 3-4) aus, als eine entsprechende verbesserte Auskühlung der entferntesten Anlage. Durch Mischung der Rückläufe aller angeschlossenen Anlagen reduziert sich die Rücklauf Temperatur am HKW um ca. 3 K.

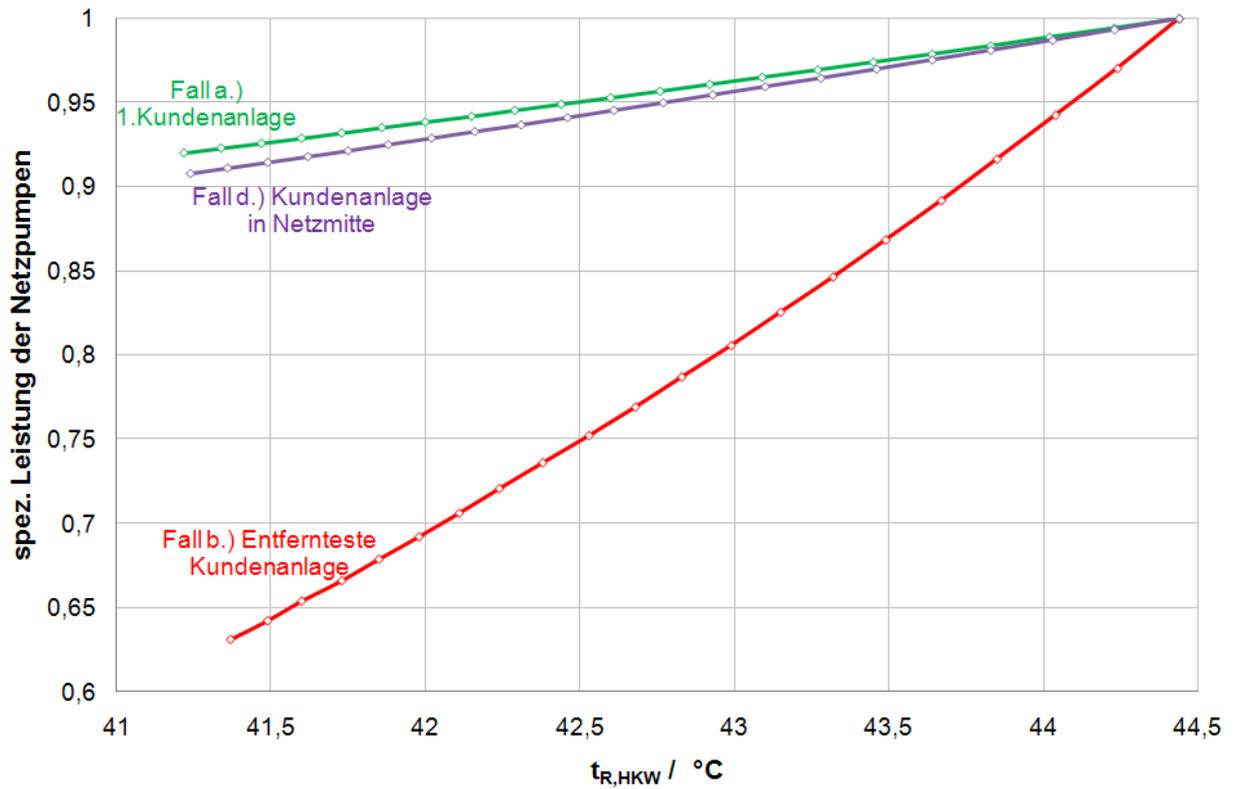


Bild 3-3 Strahlennetz - Veränderung der Pumpenleistung – Quelle: /3/

Die Pumpenleistungen in Fall a.) und b.) sind nahezu linear abhängig von der Entfernung zum HKW, bei der entferntesten Anlage ist eine Abhängigkeit in dritter Potenz zum Massestrom erkennbar.

Die Gesamtwärmeverluste sind ebenfalls abhängig von der Lage des Kunden im Netz. Die Auswirkungen stellt Bild 3-4 dar.

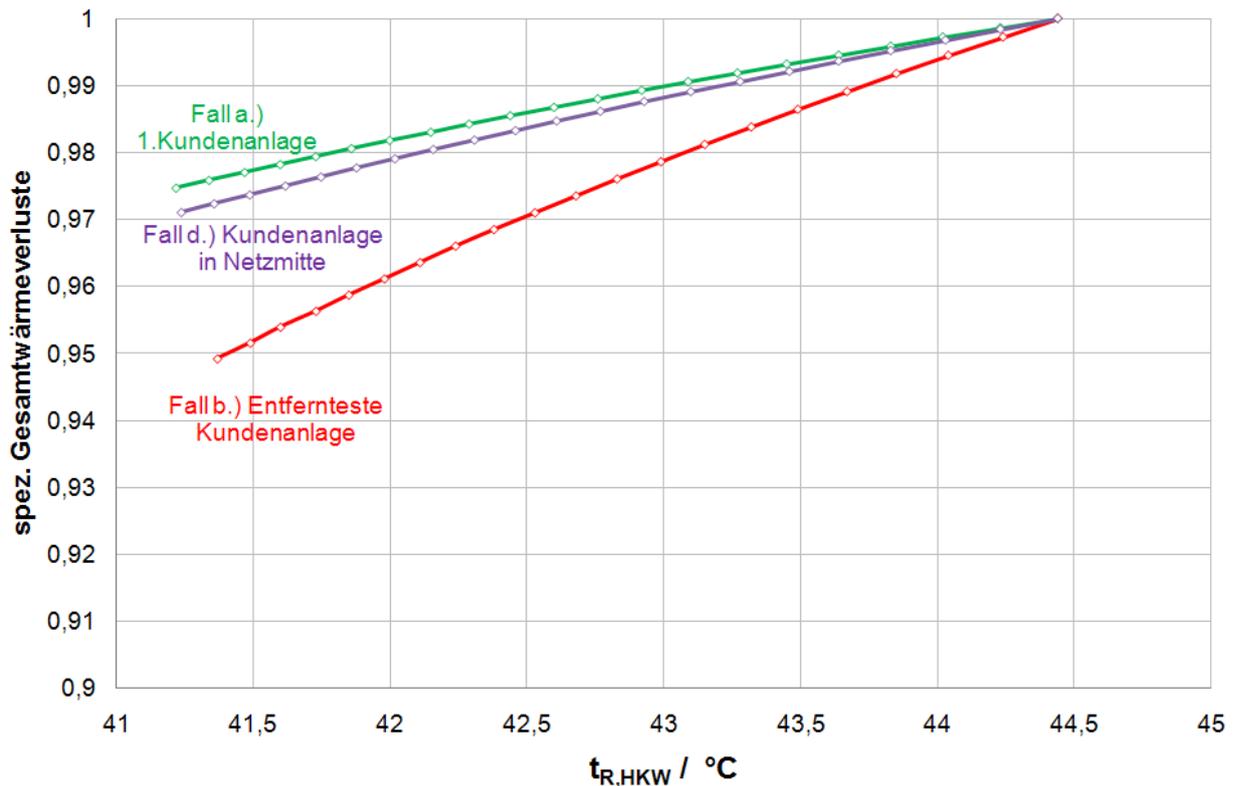


Bild 3-4 Strahlennetz - Veränderung der Gesamtwärmeverluste – Quelle: /3/

3.2 Maschennetz

In dem Maschennetz werden zwei Kundenanlagen in gleicher Distanz zum HKW, jedoch mit veränderter hydraulischer Dimensionierung einer Teilstrecke betrachtet. Aufgrund eines geringeren Durchmessers in Fall b.) ist die Verringerung der Wärmeverluste und der Pumpleistung größer als bei Fall a.). Die entfernteste Anlage weist die größten Einsparpotentiale auf. Interessant ist, dass sich durch die Verringerung des Massenstromes der Kundenanlage in einer Teilstrecke eine Änderung der Versorgungsrichtung der Masche ergibt (Fall b.). Dies führt zu Knickpunkten in der Kurve für die Netzpumpen (Bild 3-5). Die Kundenanlage wird durch zwei Teilstrecken versorgt. Am ersten Knickpunkt verändert sich das Verhältnis der Masseströme in den Teilstrecken. Bei Umkehr der Strömungsrichtung ist ein Minimum der Wärmeverluste zu erkennen. Die Ursache hierfür ist, dass über eine Teilstrecke keine Versorgung stattfindet. Bei sehr kleinen Masseströmen strebt die Temperatur des Fernwärmewassers der Umgebungstemperatur entgegen $\lim_{\dot{m} \rightarrow 0} T_{aus}(\dot{m}) = T_U$. Die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz und der Wärmeverlust dieses Teilabschnittes weisen geringe Werte auf.

Fazit Wärmeverteilung

Die Darstellungen zeigen, dass die Auswirkungen einer Rücklauf Temperaturabsenkung von der örtlichen Lage der betrachteten Anlage im Fernwärmenetz abhängen. Der Einfluss der Netzstruktur wird im weiteren Bearbeitungszeitraum des Projektes MDH vertieft.

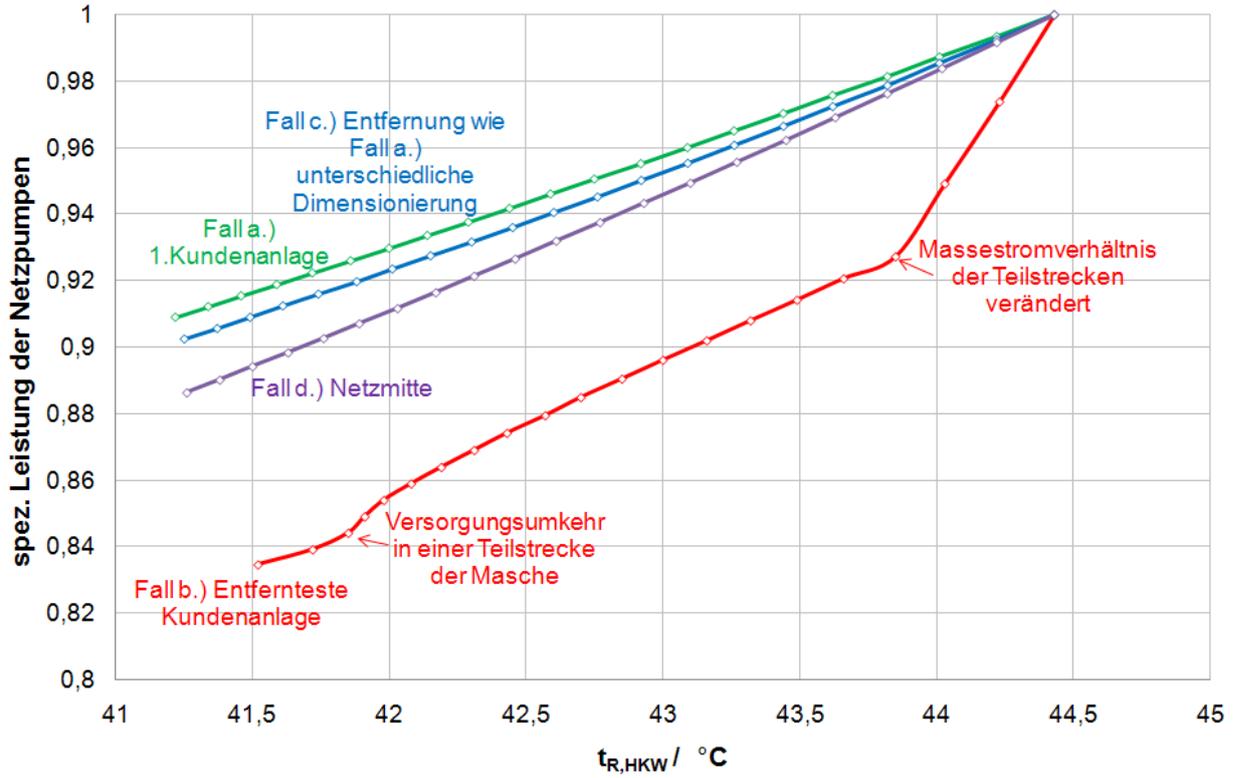


Bild 3-5 Maschennetz - Veränderung der Pumpenleistung – Quelle: /3/

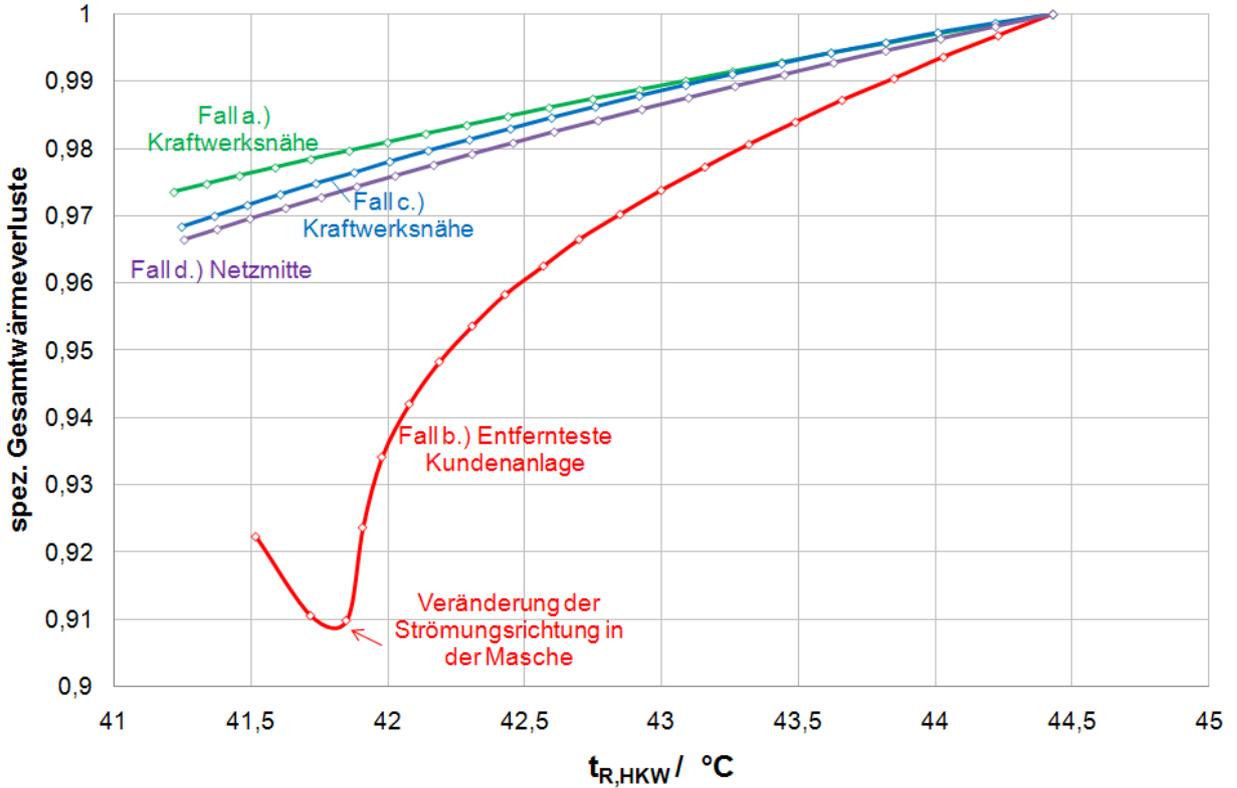


Bild 3-6 Maschennetz - Veränderung der Gesamtwärmeverluste – Quelle: /3/

4. Auswirkung einer Rücklaufemperaturveränderung auf den Kraftwerksprozess

Der Effekt einer veränderten Fernwärmerücklaufemperatur auf den Heizkraftwerksprozess ist von vielen Randbedingungen abhängig und kann nicht pauschal beschrieben werden. Um grundsätzliche Tendenzen aufzuzeigen, werden im Folgenden Ergebnisse für unterschiedliche Heizkraftwerksschaltungen vorgestellt. Die Abbildung und Simulation des Kraftwerksprozesses erfolgt mit dem Kreislaufprozess-Berechnungsprogramm EBSILON[®]*Professional*.

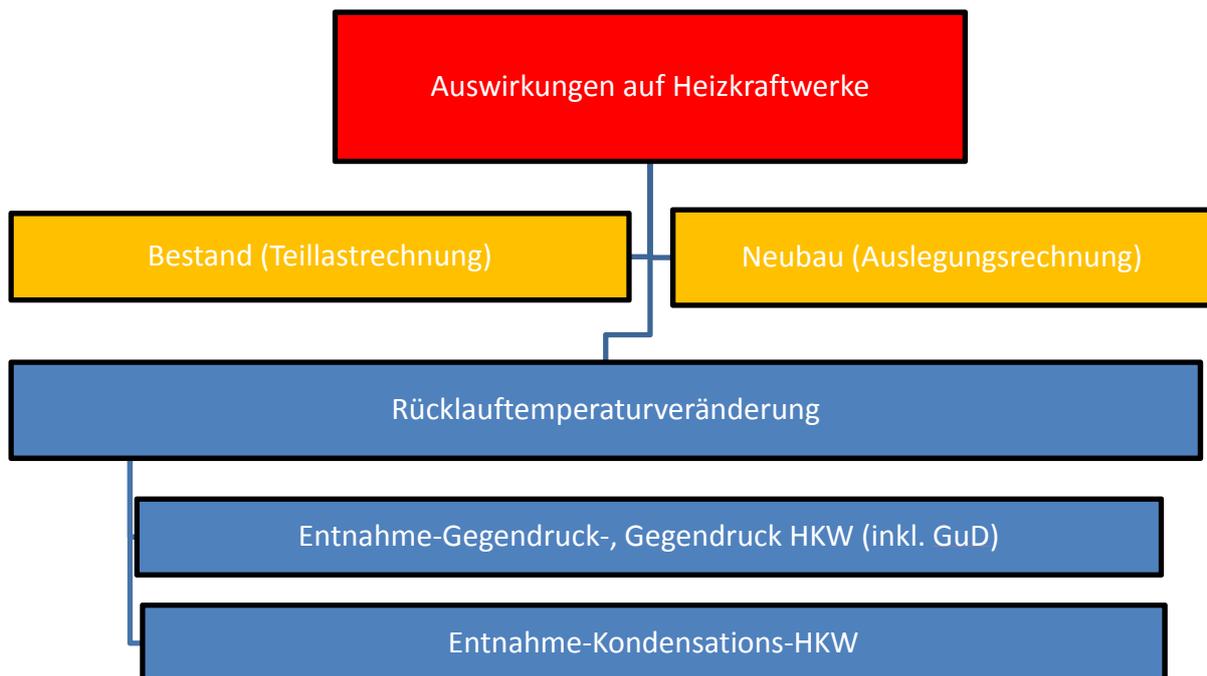


Bild 4-1 Auswirkungen auf den Kraftwerksprozess

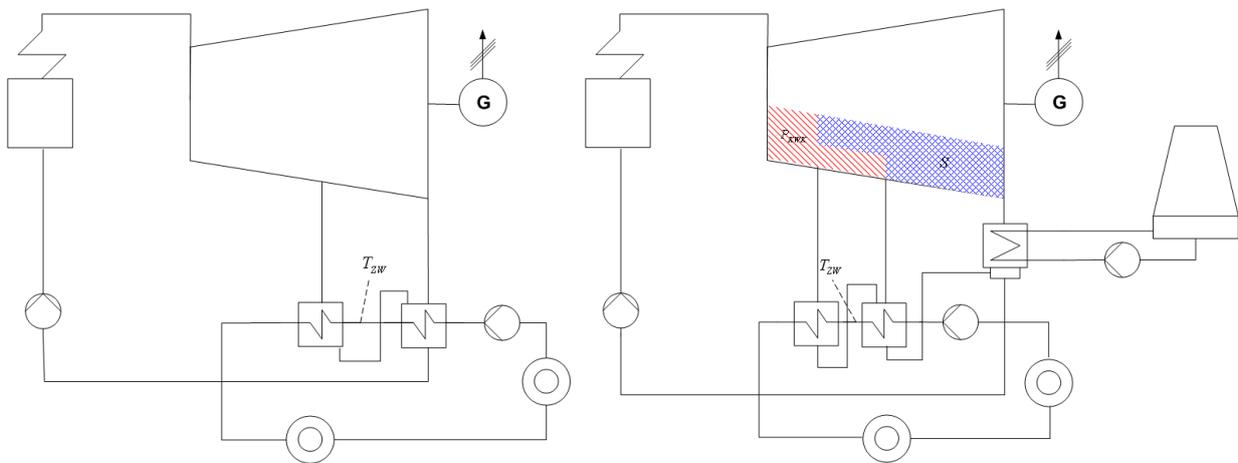
Die Untersuchungen erfolgen wie in Bild 2-1 und Bild 4-1 dargestellt. Zunächst ist zwischen einer Auslegungs- und Bestandsrechnung zu unterscheiden. Bei der Planung eines Fernwärmesystems wird das HKW für jede Parametervariation neu ausgelegt. Um ein bestehendes HKW zu analysieren, wird, ausgehend vom Auslegungsfall, eine Teillastrechnung durchgeführt. Zur Simulation der Teillastzustände⁶ werden die in EBSILON[®]*Professional* hinterlegten Bauteilfunktionen (Kennlinien) verwendet.

⁶ Mit Teillastsimulation werden in EBSILON[®]*Professional* ebenfalls Simulationen bezeichnet, bei denen eine größere Last bzw. größerer Durchsatz, als im Auslegungszustand (Vollast) zugrunde gelegt wurde, berechnet wird. Im Folgenden wird dies mit dem Begriff „Überlast“ bezeichnet.

Die Parameter der Referenz-Heizkraftwerke sind so gewählt, dass die Vergleichbarkeit gewährleistet werden kann; für den Auslegungsfall des gewählten Beispiels stellt das HKW jeweils eine thermische Leistung von 150 MW⁷ bereit. Es werden zwei Varianten der Rücklauf Temperaturabsenkung untersucht:

- Variante 1: Veränderung des Rücklauf Temperaturniveaus durch eine kleinere bzw. größere Auskühlung der Kundenanlagen - $\dot{m} = \text{var.}$ $\dot{Q} = \text{const.}$
- Variante 2: Veränderung des Rücklauf Temperaturniveaus durch Wärmesenken im Netzurücklauf $\dot{m} = \text{const.}$ $\dot{Q} = \text{var.}$

Die Vorlauf Temperatur bleibt bei den Berechnungen unverändert bei 100°C. Der Untersuchungsbereich der Rücklauf Temperatur liegt zwischen 40 und 70°C; die Schrittweite beträgt 1 Kelvin. Die Wärmeauskopplung ist zweistufig ausgeführt. In der Auslegungsrechnung ist die Wahl der Zwischentemperatur der Heizkondensatoren zu berücksichtigen (T_{ZW} in Bild 4-2). Mit der Mitteltemperatur – als Zwischentemperatur – zwischen Vor- und Rücklauf wird eine näherungsweise optimale exergetische Aufteilung der Heizkondensatoren erreicht, welche im Auslegungsfall verwendet wird. Der Einfluss der Zwischentemperatur auf die Ergebnisse wird in der Ergebnisdarstellung exemplarisch erklärt.



Entnahme-Gegendruck-HKW

Entnahme-Kondensations-HKW

Bild 4-2 Vereinfachte Schaltbilder der untersuchten Heizkraftwerke

Die Auswertungen beziehen sich auf leistungsbezogene Größen und Kenngrößen. Als Grundlage für die Bestimmung der Kenngrößen dient die Richtlinie FW 308. Zur Berechnung des Kraftwerkseigenbedarfes wird bei der Auswertung nur die Pumpenergie für die Kraftwerkspumpen berücksichtigt.⁸ Ein vereinfachtes Schaltbild

⁷ Untersuchungen von 50 und 100 MW Heizleistung wurden ebenfalls durchgeführt. Die Ergebnisse sind qualitativ übertragbar – einen Vergleich stellt Bild 6-1 und Bild 6-2 dar.

⁸ Die Leistungsaufnahme der Netzumwälzpumpen ist nicht dem Kraftwerkseigenbedarf im Sinne der FW 308 zuzuordnen.

der Heizkraftwerke zeigt Bild 4-2. Zur Darstellung der Kühlturmeinsparungen bei Entnahme-Kondensation-Heizkraftwerken wird als Einsparpotential die an den Kühlturm abzuführende Wärmeleistung betrachtet. Weitergehende Untersuchungen bedürfen einer genauen Angabe der Kühlturmart und Konfiguration. Im weiteren Verlauf der Forschung werden verschiedene Kühlturmkonfigurationen theoretisch und praktisch untersucht.

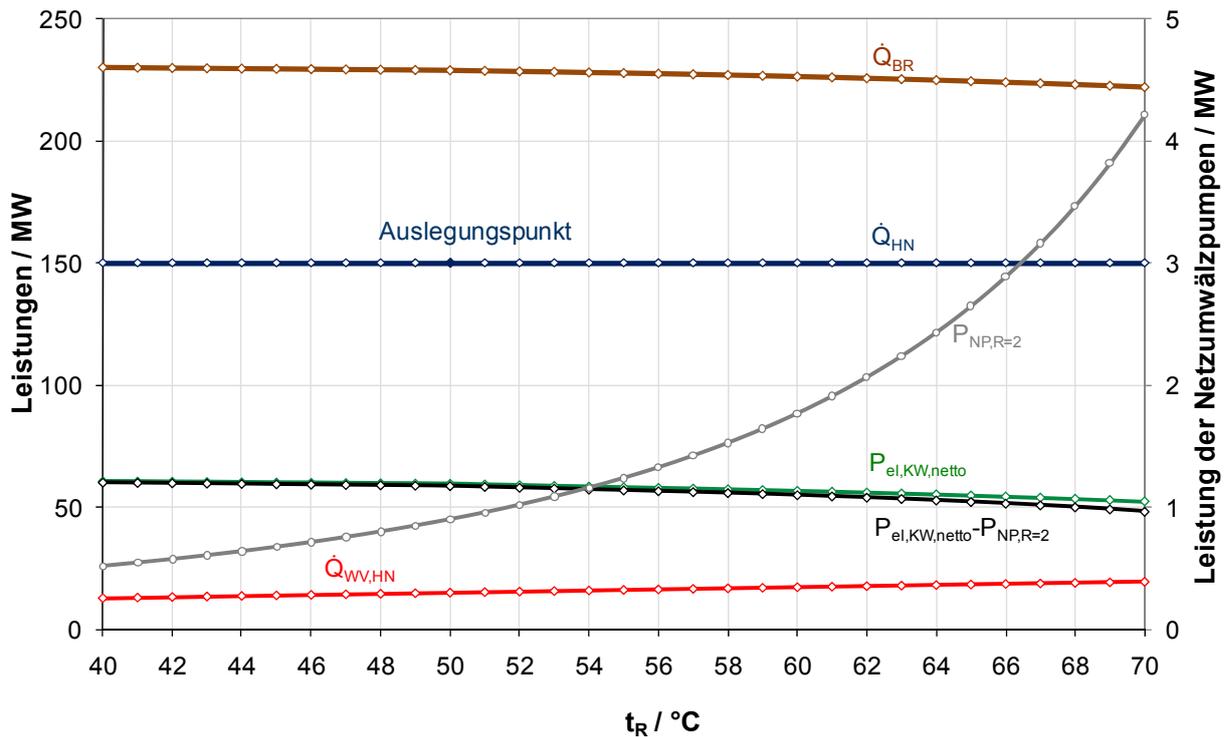
Das Einsparpotential der Netzpumpen wird anhand Gleichung 3-1 ermittelt. Der Widerstandwert des Netzes ist in allen Auswertungen mit $R = 2 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-1}$ festgesetzt und nur vom Massestrom abhängig. Um den Einfluss des Rücklauf temperaturniveaus auf die Wärmeverluste tendenziell zu beschreiben wird eine Näherungsfunktion nach [3] herangezogen. Genauere Beschreibungen setzen eine präzise Kenntnis der konkreten Netzstruktur sowie der Lage der besser auskühlenden Kundenanlagen im Netz voraus (siehe Abschnitt Wärmeverteilung).

Die Auswertung der Ergebnisse wird im nachstehenden Abschnitt an Teillastrechnungen für eine Auslegungsrücklauf temperatur von 50°C vorgestellt. Der qualitative Verlauf der Auslegungsrechnung weicht nur unwesentlich von den dargestellten Teillastfällen ab. Der Unterschied in den Ergebnissen wird anhand der quantitativen Ergebnisse für die elektrische Nettogleistung des HKW dargestellt.

Diskutiert werden die Veränderungen der Brennstoffleistung \dot{Q}_{BR} , Heiznetzleistung \dot{Q}_{HN} , elektrischen Nettogleistung des Heizkraftwerkes $P_{el,KW,netto}$, Leistung der Netzpumpen $P_{NP,R=2}$ sowie der Wärmeverluste $\dot{Q}_{WV,HN}$. Beim Entnahme-Kondensations-HKW kommen die elektrische Leistung in Kraft-Wärme-Kopplung $P_{el,KWK}$ und die Kühlturmleistung $\dot{Q}_{Kühlturm}$ hinzu.

4.1 Entnahme-Gegendruck-Prozess: Variante 1 – Variabler Massestrom

Bei einer verbesserten Auskühlung der Kundenanlagen bleibt die Wärmeleistung konstant, die Rücklauf temperatur sinkt und damit der umzuwälzende Massestrom. Die erreichbaren Einsparungen an Pumpenergie steigen mit dem Widerstandwert des Netzes. Innerhalb des Kraftwerksprozesses kann mit sinkender Rücklauf temperatur eine etwas höhere elektrische Leistung erzielt werden; die zuzuführende Wärmeleistung \dot{Q}_{zu} steigt in gleichem Maße an. Eine Rücklauf temperatur, die die Auslegungstemperatur (50°C) übersteigt, führt zu einer verminderten Nettostromauskopplung $P_{el,KW,netto}$; zum einen aufgrund der sinkenden Dampfmenge des Gegendruckteils und zum anderen durch Mehraufwand der Netzumwälzpumpen P_{NP} . Die Veränderung der Prozessgrößen veranschaulicht Bild 4-3.

Bild 4-3 Variante 1 – $\dot{m}=\text{var.}$ – Entnahme-Gegendruck-HKW – (Teillastrechnung)

In der Teillastrechnung ist die Aufwärmspanne des Entnahme-Heizkondensators nahezu konstant. Die wesentliche Veränderung der Parameter findet über den Gegendruck-Heizkondensator statt, dessen Aufwärmspanne sich bei kleineren Rücklauftemperaturen vergrößert und bei hohen Rücklauftemperaturen verkleinert, bis bei sehr hohen Rücklauftemperaturen über den Gegendruck-Heizkondensator nur noch eine sehr geringe Wärmeleistung übertragen werden kann. Die Veränderung der Wärmeauskopplung führt zu einer Variation der Dampfmenge, welche die Gegendruckturbine durchströmt. Die Gütegrade der Turbine verringern sich im Teillastfall, was zu einem Anstieg der Verluste führt. Gleiches gilt für die Wirkungsgrade des Generators und der Pumpen, wobei der Einfluss auf den gesamten Prozess nicht sehr stark ist. Die Gütegrade der Entnahme-Stufe verändern sich nur geringfügig. Durch die sinkende Rücklauftemperatur kann der Dampf im Heizkondensator besser ausgekühlt werden; die Enthalpie des Kondensats sinkt mit abnehmenden und steigt mit höheren Rücklauftemperaturen. Der Frischdampfmassestrom steigt linear mit sinkender Rücklauftemperatur bzw. fällt mit steigender Rücklauftemperatur. Die Veränderung der Brennstoffleistung ist als Summe aller Einflussfaktoren anzusehen.

Eine Auslegungsrechnung mit optimierter Zwischentemperatur führt qualitativ zu gleichen Veränderungen der untersuchten Größen. Ein wesentlicher Unterschied ist, dass sich Turbinengütegrade und Wirkungsgrade der Maschinen nicht ändern.

Die Abweichungen der „Teillastrechnung“, „Auslegungsrechnung“ sowie „Auslegungsrechnung mit nahezu optimaler exergetischer Zwischentemperatur“ verdeutlicht die Darstellung in Bild 4-4

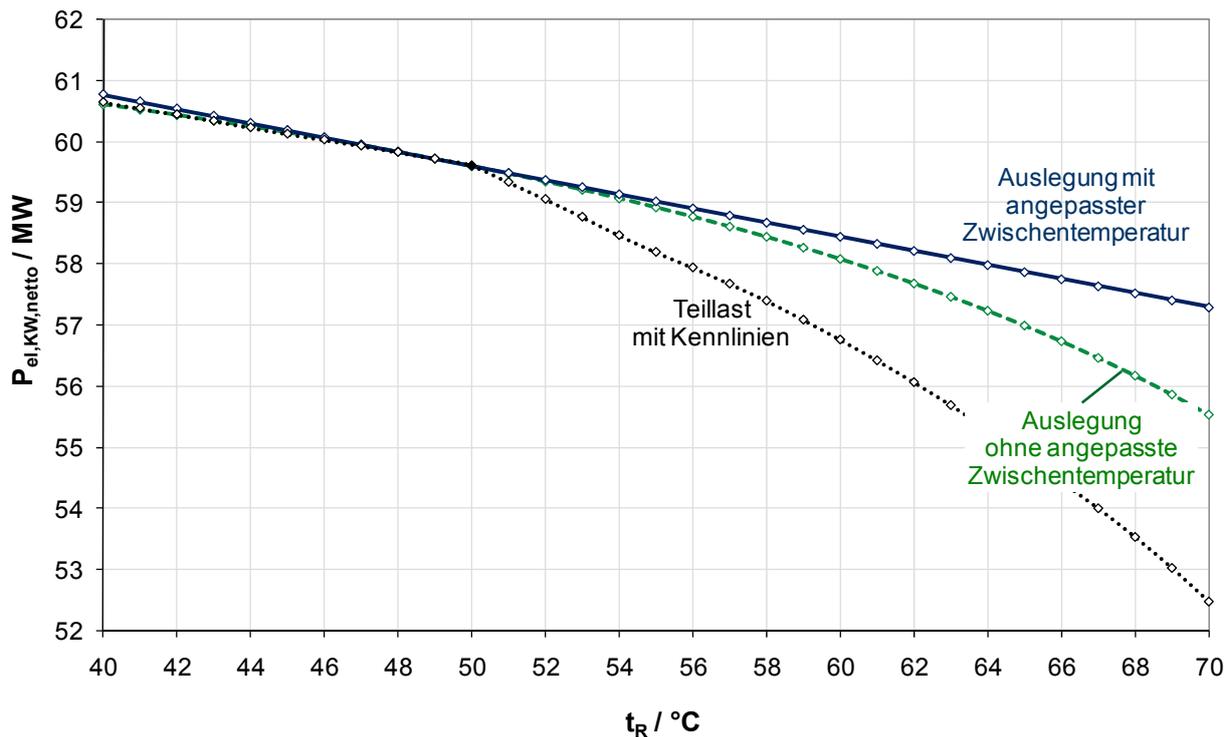


Bild 4-4 Vergleich der Berechnungsgrundlagen – $P_{el,KW,netto}(t_R)$ – Entnahme-Gegendruck-HKW

Das Diagramm (Bild 4-4) zeigt, dass die Steigerung der elektrischen Leistung im Auslegungsfall linear verläuft; bei den Randbedingungen des untersuchten HKWs um ca. 115kW pro Kelvin Temperaturabsenkung. Im Auslegungsfall ohne Anpassung der Zwischentemperatur kann eine Zunahme nur im Bereich von 40 bis 50°C angegeben werden: ca. 85 kW/K im Bereich von 45 bis 40°C und ca. 110 kW/K im Bereich von 50 bis 45°C. Der Anstieg ist nichtlinear. Für den Teillastfall ergeben sich ähnliche Werte in diesem Bereich. Ungünstig sind Rücklauftemperaturen oberhalb der Auslegungstemperatur (50°C) für den Teillastfall. Durch die hohe Rücklauftemperatur wird insgesamt weniger Dampf benötigt, der Rückgang ist hauptsächlich im Gegendruckteil zu beobachten. Die elektrische Leistung nimmt durch die geringere Dampfmenge, die schlechteren Wirkungsgrade der Maschinen und die Veränderung des Turbinengütegrades ab.

4.2 Entnahme-Gegendruck-Prozess: Variante 2 – Konstanter Massestrom

Eine Rücklaufauskühlung bei konstantem Massestrom führt zu einer höheren Dampfauskopplung. Hierdurch steigen die Stromproduktion $P_{el,KW,netto}$ und die zuzuführende Wärmeleistung \dot{Q}_{zu} mit an. Die Leistung der Umwälzpumpen P_{NP} bleibt nahezu konstant.

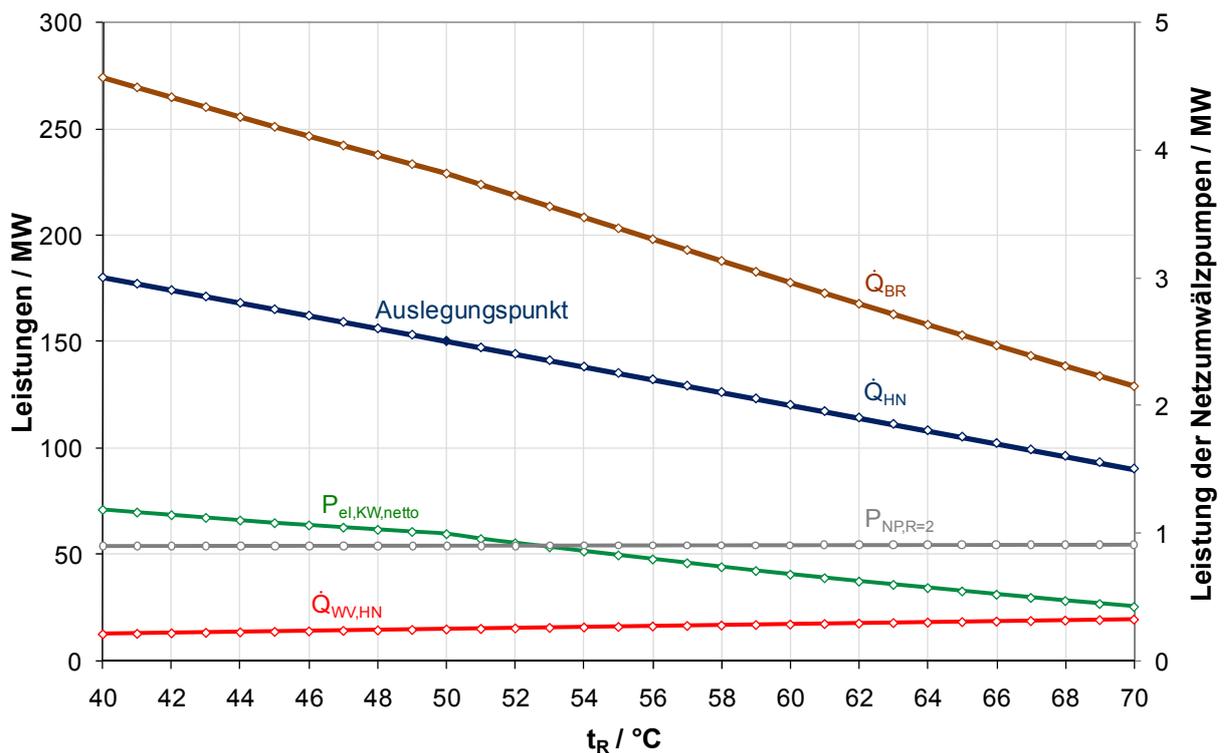


Bild 4-5 Variante 2 – $\dot{m}=\text{const.}$ – Entnahme-Gegendruck-HKW (Teillastrechnung)

Die größere Wärmeleistung führt zu einem größeren Frischdampfmassestrom. Durch den größeren Dampfdurchsatz verringern sich die Turbinengütegrade in Teillast ($t_R > 50^\circ\text{C}$) und Überlast ($t_R < 50^\circ\text{C}$). Das Kondensat kühlt entsprechend der Variante 1 stärker aus (Enthalpie sinkt). In der Teillastrechnung kann im Bereich $t_R=50\dots40^\circ\text{C}$ eine um ca. 1000...1250 kW/K höhere Nettoleistung abgegeben werden. Für den Bereich $t_R=50\dots70^\circ\text{C}$ verringert sich die Leistung um ca. 2000...1400 kW/K Temperaturerhöhung. Eine höhere Rücklauftemperatur bei konstantem Fernwärmemassestrom, z.B. durch Einbindung von Solarenergie im Fernwärmerücklauf, führt zu einem Rückgang der KWK-Stromproduktion. Auf Unterschiede zwischen Auslegungsrechnung und Teillastrechnung soll hier nicht eingegangen werden.

4.3 Entnahme-Kondensations-Prozess: Variante 1 – Variabler Massestrom

Eine verbesserte Auskühlung der Kundenanlagen bei $\dot{Q}_{HN} = const.$ ergibt bei einem Entnahme-Kondensationsprozess nur eine geringere Steigerung der elektrischen Leistung $P_{el,brutto}$ und des KWK-Anteils $P_{el,KWK}$. Die Veränderungen der Kreisprozessgrößen zeigt Bild 4-6. Einspareffekte sind demnach überwiegend durch die Netzpumpen P_{NP} und die Reduzierung der Wärmeverluste zu erreichen. Auswertungen von Messdaten eines Entnahme-Kondensations-HKW bestätigen den Zusammenhang zwischen Generatorleistung und Rücklauftemperatur [4/].

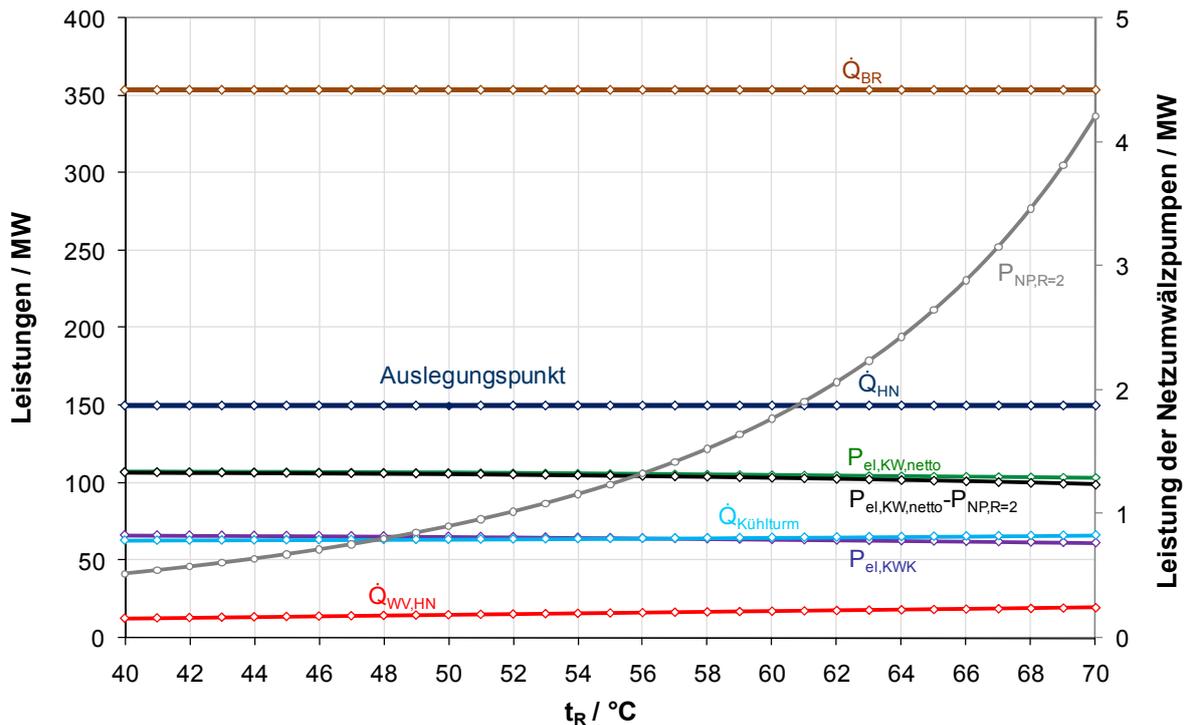


Bild 4-6 Variante 1 – $\dot{m} = \text{var.}$ – Entnahme-Kondensations-HKW (Teillastrechnung)

Bei der Betriebsweise von Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerken entsteht durch den Kondensationsteil (Niederdruckteil) ein weiterer Freiheitsgrad. Der nicht zur Wärmeauskopplung benötigte Dampfmassestrom wird über den Niederdruckteil geführt und weiter entspannt. Die bei der Kondensation dieses Dampfes anfallende Wärmeleistung wird über den Kühlturm abgeführt. Der Frischdampfmassestrom ist konstant. Durch eine Rücklauftemperaturabsenkung bei festgehaltener Vorlauftemperatur und variablem Massestrom verändern sich die Dampfdurchsätze durch alle Turbinenstufen in Abhängigkeit von der Berechnungsvorgabe (Volllast, Teillast). Im Teillastfall verringert sich bei niedrigeren Rücklauftemperaturen die Dampfauskopplung der höheren Entnahmestufe, während die Dampfauskopplung auf der niedrigeren Entnahmestufe steigt. Durch den variierten Dampfdurchsatz verändern sich die Druckniveaus gemäß dem Dampfkegelgesetz von STODOLA. Die Kondensatenthalpien der Heizkondensatoren sinken geringfügig.

Durch eine größere Dampfauskopplung auf den Speisewasserbehälter bleibt jedoch die Speisewasserenthalpie konstant, dies führt zu einer gleichbleibenden Brennstoffleistung. Das weitere Einsparpotential durch eine geringere Wärmeabfuhr an die Umgebung ist noch detailliert zu untersuchen.

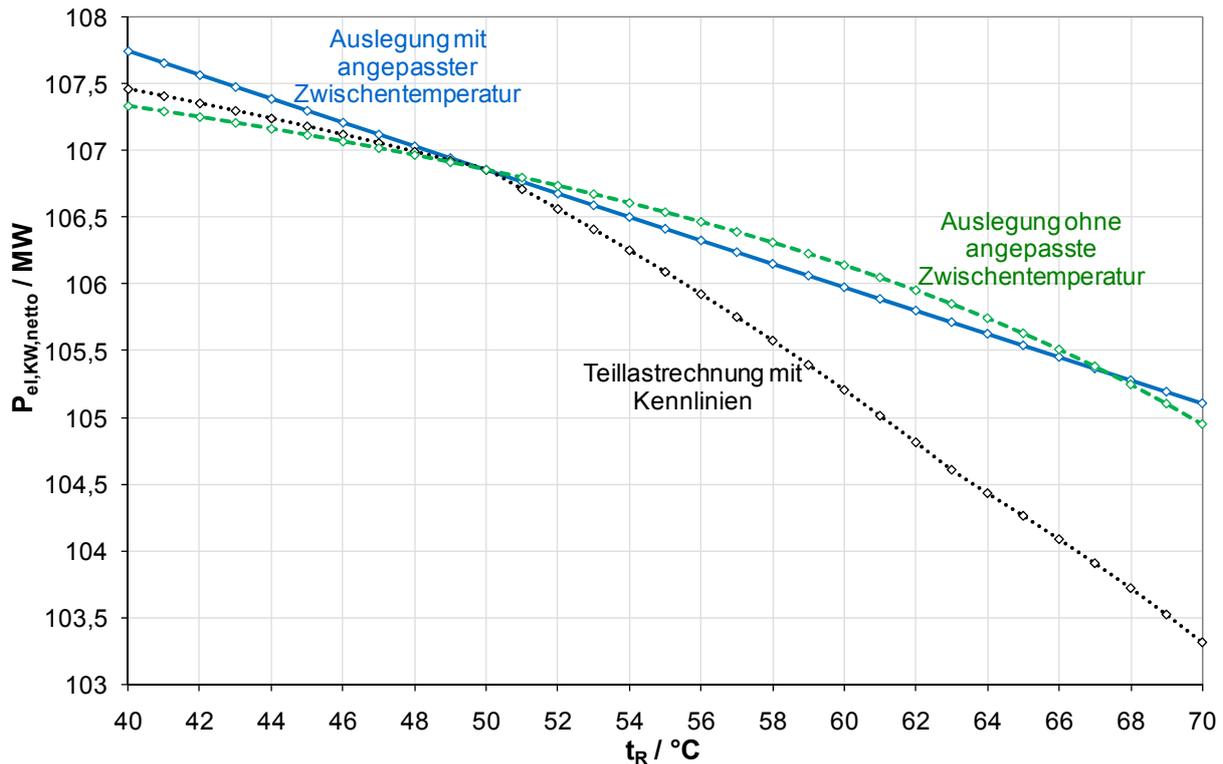


Bild 4-7 Vergleich der Berechnungsgrundlagen – $P_{el,KW,netto}(t_R)$ Entnahme-Kondensations-HKW

Ein Vergleich zwischen den Berechnungsarten „Auslegung“ und „Teillast“ zeigt Bild 4-7. Die Auslegungsrechnung mit angepasster Zwischentemperatur zeigt einen linearen Anstieg der elektrischen Leistung in Abhängigkeit von der Rücklauf­temperatur. Im Gegensatz zur Entnahme-Gegendruck-Anlage ist bei der Auslegung ohne Zwischentemperaturanpassung teilweise eine größere elektrische Leistung als bei nahezu optimaler exergetischer Aufteilung der Heizkondensatoren zu erkennen. Dies ist durch Veränderung der Eintrittsparameter für den Niederdruckteil zu erklären, denn durch die Festlegung der Zwischentemperatur liegt auch der Eintrittsdruck in den Niederdruckteil fest. Ohne eine Festlegung werden der Eintrittsdruck und die sich daraus ergebende Enthalpie nach dem Dampfkegelgesetz von STODOLA berechnet. In der Teillastberechnung verändern sich die Güte- und Wirkungsgrade nach vorgegebener Kennlinie; die elektrische Leistung im Teillastfall weicht stark von der Auslegungsrechnung ab (Bild 4-7).

Für den Teillastfall erhöht eine Absenkung der Rücklauf­temperatur von 50 auf 40°C die elektrische Leistung um knapp 600 kW, eine Erhöhung von 50 auf 60°C verringert die elektrische Leistung um ca. 1650 kW. Eine höhere Rücklauf­temperatur als die Auslegungstemperatur des HKWs führt zu einer erheblichen Minderung der elektrischen Leistung. Zuzüglich wird bei hohen Rücklauf­temperaturen eine beträchtlich größere Leistung für die Netzumwälzpumpen benötigt. Die qualitative Veränderung des KWK-Anteils bei Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerken, ermittelt nach der Berechnungsrichtlinie FW 308, entspricht nahezu der Veränderung der elektrischen Leistung.

4.4 Entnahme-Kondensations-Prozess: Variante 2 – Konstanter Massestrom

Im Gegensatz zur Variante 1 sind bei der Variante 2 wesentlich größere Veränderungen der Heiznetzleistung \dot{Q}_{HN} , Kühlturmleistung $\dot{Q}_{Kühlturm}$ und des KWK-Anteiles $P_{el,KWK}$ erkennbar (Bild 4-8). Durch die weitere Absenkung der Rücklauftemperatur bei konstantem Massestrom steigt die ans Fernwärmenetz abzugebende Leistung an. Die Leistung der Netzpumpen bleibt nahezu konstant, wie bereits beim Entnahme-Gegendruck-HKW (Bild 4-5) dargestellt.

Durch die sinkende Rücklauftemperatur wird eine interne Wärmeverschiebung vom Kühlturm $\dot{Q}_{Kühlturm}$ auf das Heiznetz erreicht. Begründet durch die Mehrabgabe von Dampf an das Heiznetz steigt der KWK-Strom-Anteil $P_{el,KWK}$ an, die gesamte elektrische Leistung des HKWs $P_{el,netto}$ bleibt jedoch annähernd konstant. Dies erklärt sich durch die geringere Beaufschlagung des Kondensationsteils der Turbine und die veränderten Druckniveaus der Entnahmen. Da die Brennstoffleistung konstant bleibt, liegt der Vorteil bei der steigenden Wärmeleistung und dem Anstieg des KWK-Anteils.

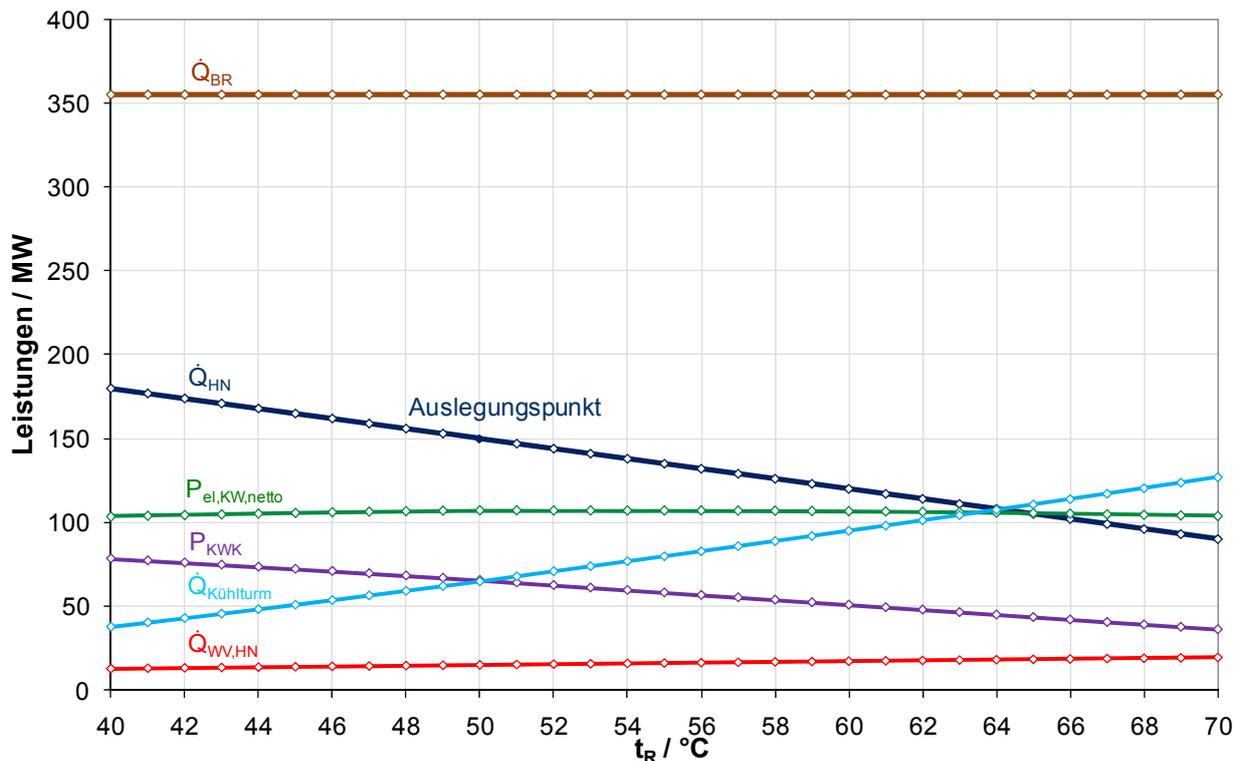


Bild 4-8 Variante 1 – $\dot{m}=\text{const.}$ – Entnahme-Kondensations-HKW (Teillastrechnung)

In Bild 4-8 ist ein leichter Rückgang der elektrischen Nettoleistung bei Rücklauftemperaturen unterhalb des Auslegungspunktes zu erkennen. Deutlicher zeigt den Zusammenhang Bild 4-9. Die elektrische Nettoleistung wird durch die geringere Beaufschlagung der Kondensationsturbine verringert. Nicht betrachtet wird eine Einsparung des elektrischen Hilfsenergiebedarfs des Kühlturms.

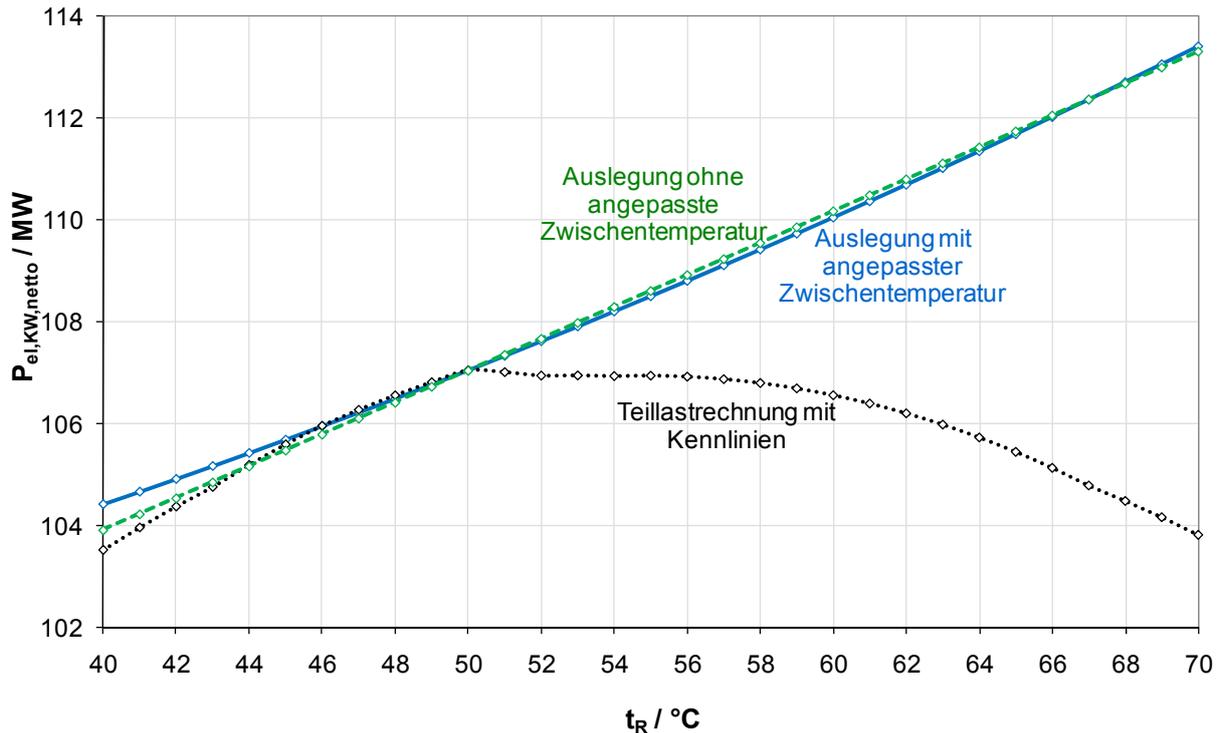


Bild 4-9 Vergleich der Berechnungsgrundlagen – $P_{el,KW,netto}(t_R)$ Entnahme-Kondensations-HKW

Eine massestromkonstante Rücklauf­temperaturabsenkung führt demnach zu der gegenläufigen Tendenz einer leicht verminderten Stromproduktion bei steigendem KWK-Anteil.

4.5 Primärenergetischer Vergleich

Zur Darstellung der primärenergetischen Einsparung abgesenkter Rücklauf­temperaturen ist der Primärenergiefaktor nach /DIN 4701-10/ hilfreich.⁹ In Bild 4-10 und Bild 4-11 werden die Veränderungen des Primärenergiefaktors in Abhängigkeit der Rücklauf­temperatur dargestellt. Generell kann angeführt werden, dass jede Rücklauf­temperaturabsenkung eine Verbesserung des Primärenergiefaktors bewirkt. Die Ursache für die primärenergetische Verbesserung kann indes nicht abgelesen werden. Eine die Auslegungsrücklauf­temperatur (50°C) überschreitende Rücklauf­temperatur ist in jedem untersuchten Fall als ungünstig zu bewerten. Gründe sind die verminderte Stromproduktion im HKW und die erhöhte Leistung der Netzpumpen. Durch die „Stromgutschrift“ im Berechnungsverfahren des Primärenergiefaktors wird ebenfalls der Einfluss der Netzumwälzpumpen auf die Effizienz von Fernwärmesystemen deutlich. Eine leicht gesteigerte Stromproduktion und eine abnehmende Pumpenergie bei variablem Massestrom führen zu einer Verbesserung des Primärenergiefaktors.

⁹ Die Veränderung des Wärmeverlustes wurde bei der Berechnung tendenziell nach /3/ vorgegeben und ist damit quantitativ in allen Varianten identisch.

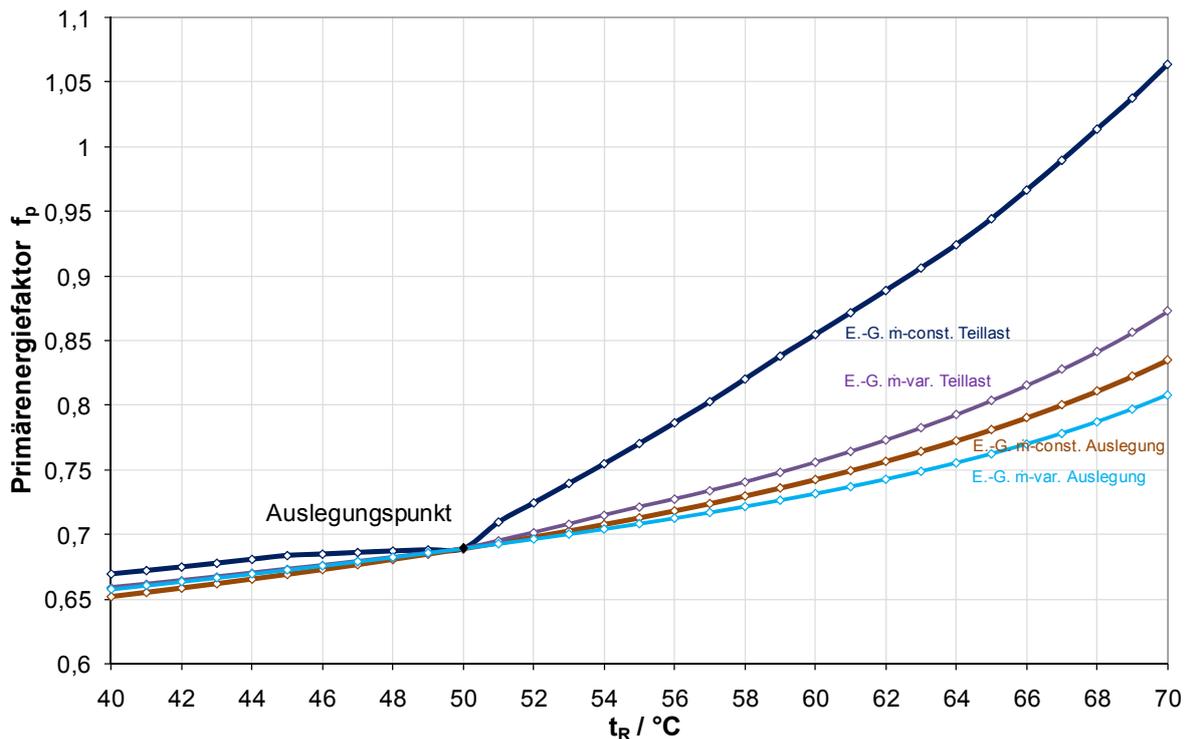


Bild 4-10 Veränderung des Primärenergiefaktors eines Entnahme-Gegendruck-Heizkraftwerkes in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur – Teillastrechnung

In Bild 4-10 sind die Veränderungen des Primärenergiefaktors bei den Varianten für Entnahme-Gegendruck-Heizkraftwerke aufgetragen. Zu erkennen ist eine stärkere Verschlechterung in den Teillastfällen für variablen und konstanten Massestrom. Bei den jeweiligen Auslegungsrechnungen werden die geringsten Primärenergiefaktoren erreicht. Ausgehend von einem geringeren Auslegungspunkt, z.B. 40°C, ist jedoch im Teillastfall bei einer höheren Rücklauftemperatur von einer Verschlechterung des Primärenergiefaktors auszugehen; entsprechend der Darstellung in Bild 4-10 ab 50°C. An dieser Stelle soll deshalb keine Auslegungsempfehlung gegeben werden.

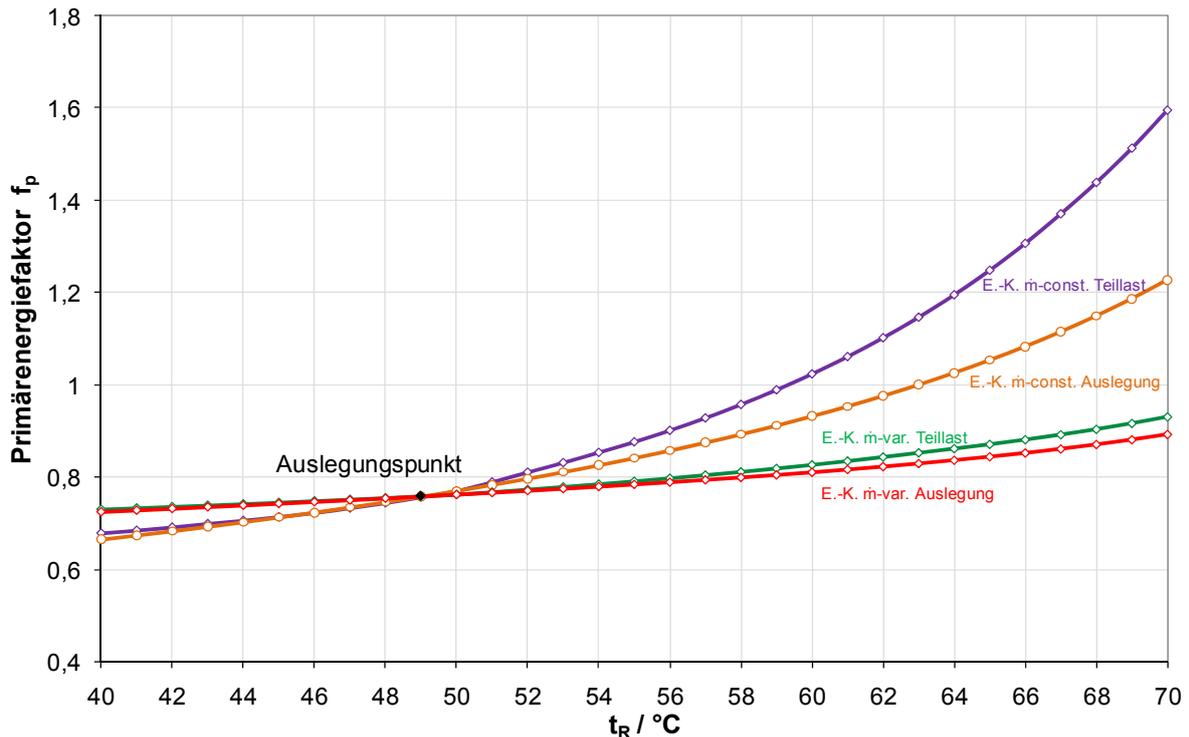


Bild 4-11 Veränderung des Primärenergiefaktors eines Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerkes in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur – Teillastrechnung

Bei Entnahme-Kondensations-Heizkraftwerken ist die massestromkonstante Rücklauftemperaturabsenkung besonders effektiv, da bei konstanter Brennstoffleistung eine Wärmeverschiebung vom Kühlturm auf das Heiznetz bei nahezu konstanter Leistung der Netzpumpen erreicht wird (Bild 4-11). Bei bestimmten Fahrweisen und Anlagenkonfigurationen (z.B. durch ungleichmäßige Aufteilung der Wärmeauskopplung) kann die Stromproduktion jedoch stärker abnehmen. Dies bewirkt eine geringere primärenergetische Einsparung.

5. Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Die hier dargestellten theoretischen Berechnungen zeigen energetische Tendenzen einer Netzurücklauf Temperaturabsenkung auf. Reale Kraftwerks- und Netzkonfigurationen eines Fernwärmeversorgungsunternehmens müssen objektkonkret analysiert werden. Technische Grenzen wie die Schluckfähigkeit der Turbinen oder die Auslegung der Heizkraftwerke (Speisewasservorwärmung, Aufteilung der Heiznetzaufwärmstufen, Veränderung der Turbinengütegrade) sind in die jeweiligen Betrachtungen einzubeziehen. Ebenso spielen die Druckverluste des Dampferzeugers und der Heizkondensatoren eine Rolle. Die gezeigten Ergebnisse repräsentieren eine Leistungsbilanz. Um die wirtschaftlichen Gesichtspunkte zu untersuchen, müssen anlagenkonkrete Lastgänge untersucht und die Struktur des Fernwärmenetzes einbezogen werden. Insbesondere für die Analyse des Einsparpotentials an Netzpumpenarbeit ist eine Zeitraumbetrachtung sinnvoll.

Eine pauschale wirtschaftliche Bewertung der Varianten soll an dieser Stelle nicht erfolgen, da Randbedingungen wie z.B. die Preisgestaltung der Fernwärmeversorgungsunternehmen nicht allgemein erfasst werden können.

In diesem Beitrag wurden Analysemöglichkeiten dargelegt sowie Ansätze aufgezeigt, die weiter untersucht werden sollten. Gerade im Hinblick auf neue Tarifsysteme, die eine Abhängigkeit der Preisbildung von der Auskühlung des Fernwärmewassers vorsehen, sollten weitere Untersuchungen angestellt und dem Kunden Hilfestellungen gegeben werden.

Die Versorgung aus dem Wärmenetzrücklauf ist eine interessante Möglichkeit, die Rücklauf Temperatur weiter abzusenken. Rücklaufanschlüsse werden von Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG eingehend untersucht; der Stand der Technik und langjährige Betriebserfahrungen zeigen, dass eine Netzurücklaufversorgung sicher gewährleistet werden kann. Ziel der weiteren Arbeit ist es, eine Bewertungsmethodik für Rücklauf Temperaturabsenkungen 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.
- Ökonomische und ökologische Randbedingungen.
- CO₂-Einsparpotenzial.
- Preisgestaltung.
- Übertragbarkeit auf andere Fernwärmesysteme.

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

6. Anhang

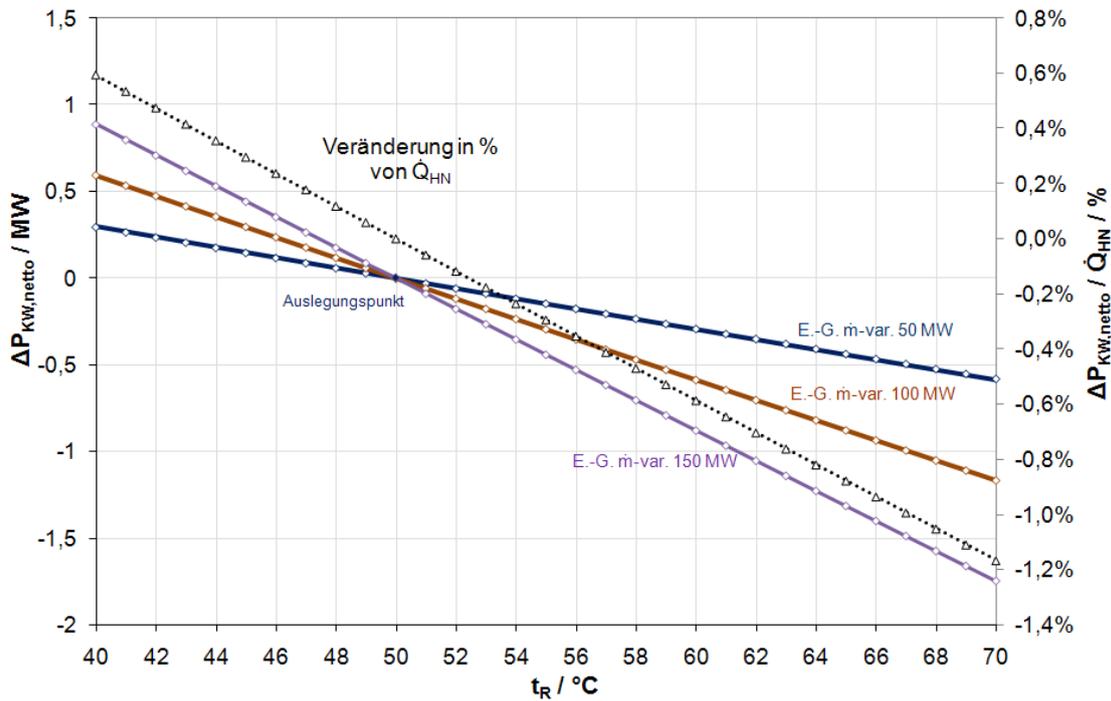


Bild 6-1 Entnahme-Kondensations-HKW: Veränderung der elektrischen Leistung bei unterschiedlichen Heizleistungen unter der Voraussetzung einer Auslegungsrechnung bei $\sigma=const.$ und \dot{m} -var.

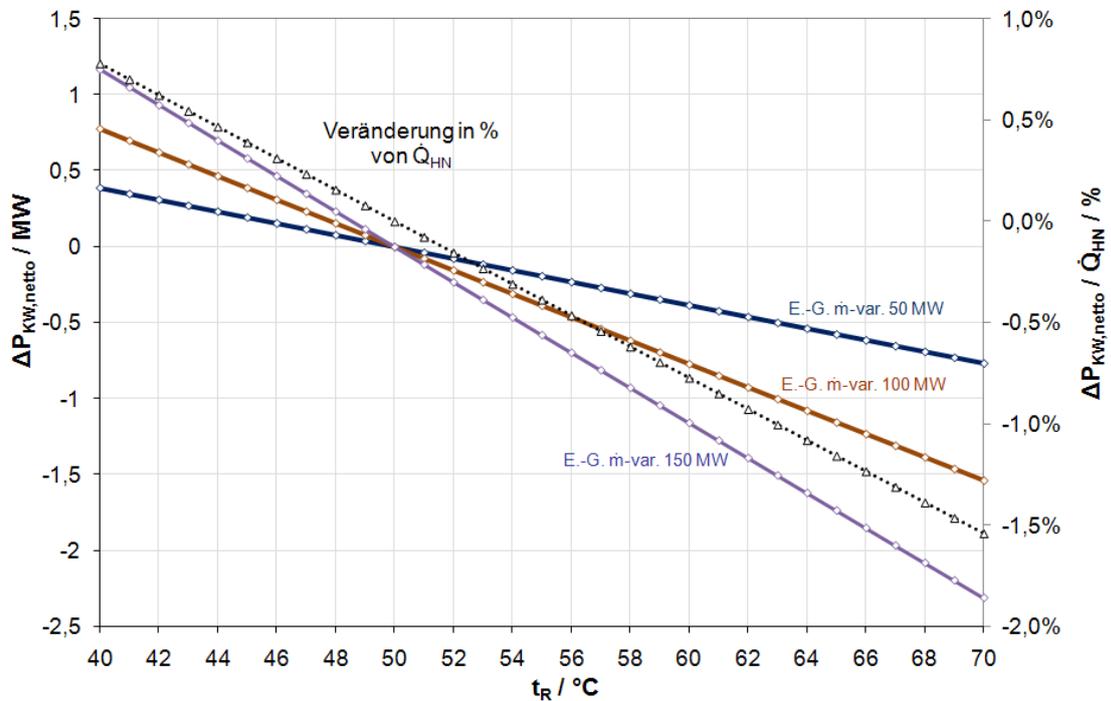


Bild 6-2 Entnahme-Gegendruck-HKW: Veränderung der elektrischen Leistung bei unterschiedlichen Heizleistungen unter der Voraussetzung einer Auslegungsrechnung bei $\sigma=const.$ und \dot{m} -var.

7. Schrifttum

Literatur

/1/	Bublitz, D.: Ausbau der Fernwärmeversorgung in Berlin, Elektrizitätswirtschaft Jg.86 (1987) Heft 12 S.487-492
/2/	Guzek, G.: Einfluss des hydraulischen Abgleich auf die Rücklaufemperatur, TU Dresden – Interne Zuarbeit - Institut für Thermodynamik und TGA , August 2008
/3/	Haas, D., Wirths, A.: Einfluss der Netzstruktur auf die Wärmeverteilung bei Änderung des Rücklaufemperaturniveaus - Interner Projektbericht TU Dresden Institut für Energietechnik, August 2008
/4 /	Habermehl, R.: Auswirkungen erhöhter Fernwärmerücklaufemperatur auf die Stromproduktion und das Fernwärmenetz, Diplomarbeit FH Gießen-Friedberg 12/2007
/5 /	Huhn, R.: Beitrag zur thermodynamischen Analyse und Bewertung von Wasserwärmespeichern in Energieumwandlungsketten. Dissertationsschrift, TU Dresden, TUDpress, ISBN-13 978-3-940046-32-1, Dresden 2007.
/6/	Huhn, R.: Senkung der Zirkulationsverluste in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen. AiF-Projekt Nr. 14244 BR, Abschlussbericht. TU Dresden, Dezember 2007.
/7/	Knierim, R.: Rücklaufemperatur: Ungehobener Schatz für Versorger und Kunden, <i>Euroheat & Power</i> , 3/2007, 56-65
/8/	Meixner, D.: Neue Abrechnungs-Zählwerke für Wärmemengenzähler, <i>Euroheat & Power</i> , 3/ 2007, 66-73
/9/	Robbi, S.: Wärmesenken im Netzurücklauf – Wärmepumpe und Rücklaufanschluss, 13. Dresdner Fernwärme-Kolloquium 2008
/10/	Knorr, M., Meinzenbach, A.: Zuarbeit im Rahmen des Projektes Multilevel District Heating – TU Dresden, Institut für Thermodynamik und TGA, August 2008
/11/	Sachtleben, R.: Messergebnisse Hausstationen - Vattenfall Europe Berlin AG & Co.KG
/12/	Vogelsanger, P., Geisshüsler, S., Lauber, A., Daguene, X., Marty, H.: Wärmeverluste durch Gegenstromzirkulation (rohrinterne Zirkulation) in an Speichern angeschlossenen Rohrleitungen. PowerPoint-Präsentation, Institut für Solartechnik SPF, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Juni 2008
/13/	Wagner, A.: Fernwärmehausanlagen-Technologie: Fortschritte in der Rücklaufauskühlung. Eine Literaturzusammenfassung, Projektarbeit Nr. 2124 an der TU Dresden 2008
/14/	Zschernig, J.: Wärmeversorgung - Studienbrief 2 TU Dresden, 2002

Technische Regeln

DIN 4701-10/A1	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, 2006
FW 308	FW 308 Zertifizierung von KWK-Anlagen – Ermittlung des KWK-Stromes, Arbeitsgemeinschaft Fernwärme - AGFW - beim VDEW 11/2002
FW 441	FW 441 Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus dem Rücklauf des Netzes, Arbeitsgemeinschaft Fernwärme - AGFW - beim VDEW 10/1998
TAB	Technische Anschlussbedingungen (TAB) für den Anschluss an die Wärmenetze Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG, Ausgabe 09/03