

heat_portfolio

Projekt heat_portfolio (FFG-Nr. 848849)

Deliverable D6.1 & D6.2

- Katalog zur Implementierung der Nutzerseitigen Maßnahmen
- Szenarien unterschiedlicher Durchdringung der Maßnahmen als Basis für die Simulationen in AP7

Roman Geyer

INHALT

1	Einleitung	4
2	Maßnahmen zur Reduktion/ Verschiebung von Spitzenlasten	5
2.1	Nutzung sekundärseitiger Warmwasserspeicher	5
2.2	Lastverschiebung (Nutzung thermischer Speicherfähigkeit)	6
2.3	Nutzung des Netzes als Speicher.....	8
2.4	Einsatz von Speichern.....	11
2.5	Hydraulische Optimierung	12
2.6	Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion / Verschiebung von Spitzenlasten	14
3	Maßnahmen zur Reduktion von Rücklauf- und Vorlauftemperaturen.....	15
3.1	Einleitung	15
3.2	Reduktion des Wärmebedarfs durch Sanierung	16
3.3	Heizkörpertausch	17
3.4	Kaskadische Verschaltung innerhalb eines Heizungssystems.....	18
3.5	Synergien zwischen unterschiedlichen Gebäudetypen (kaskadische Verschaltung) 18	
3.6	Sekundärseitige Maßnahmen.....	20
3.6.1	Hausanschlussstation	22
3.6.2	Hausanlage.....	24
3.6.3	Trinkwassererwärmungsanlage.....	26
3.7	Hydraulischer Abgleich.....	29
3.8	Handlungsempfehlung bei der Fehlerdetektion	37
4	Literaturverzeichnis	42
5	Anhang: Bewertungskatalog.....	46

DOKUMENTHISTORIE

Autor	Roman Geyer
Bearbeitungsdatum	17.06.2018
Inhalt/Zweck	Deliverable D6.1 & D6.2
Änderungen	

SYNOPSIS

Der vorliegende Bericht beinhaltet

- Maßnahmen zur Reduktion/ Verschiebung von Spitzenlasten mit Schwerpunkt auf Gebäudeebene und stellt das Deliverable D6.1 des Projektes heat_portfolio (FFG-Nr. 848849) dar. Die Daten und Informationen wurden mittels statistischer Auswertungen, Literaturrecherchen, Expert/inneninterviews und Datenaufbereitung aus Vorprojekten ermittelt. Basierend auf den gesammelten Daten wurde ein Bewertungsansatz von Maßnahmen zur Reduktion/ Verschiebung von Spitzenlasten erstellt.
- Maßnahmen zur Reduktion von Rücklauf und Vorlauftemperaturen mit Schwerpunkt auf Gebäudeebene und stellt das Deliverable D6.2 des Projektes heat_portfolio (FFG-Nr. 848849) dar. Die Daten und Informationen wurden mittels statistischer Auswertungen, Literaturrecherchen, Expert/inneninterviews und Datenaufbereitung aus Vorprojekten ermittelt. Basierend auf den gesammelten Daten wurde ein Bewertungskatalog sekundärseitiger Fehlerquellen, Ursachen, Maßnahmen, etc. zum Thema Rücklauftemperaturen in Wärmenetzen erstellt.

1 Einleitung

Die Effizienz von Wärmenetzen wird durch Erzeugung, Verteilung und Abnehmeranlagen bestimmt. Sie stehen dabei unmittelbar in Wechselwirkung. Das bedeutet, Änderungen bei Kundenanlagen haben Auswirkungen auf Netz und Erzeugung und umgekehrt.

Grundforderungen für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen sind unter anderem niedrige Systemtemperaturen (Vor- und Rücklauf), möglichst geringe Wärmeverluste und technisch richtige Rohrnetzdimensionierungen. Die Möglichkeiten zur Reduzierung der Vorlauftemperaturen sind in der Praxis oftmals, aufgrund von Kundenspezifika und langfristigen Wärmelieferverträgen, beschränkt und in der Regel mit hohen Investitionskosten verbunden. Die Absenkung der Rücklauftemperatur wird als leichter umsetzbar bewertet und bringt positive Effekte mit sich. Während die Vorlauftemperatur und/oder der Massenstrom geregelt werden, resultiert die Rücklauftemperatur als Funktion des gesamten Wärmesystems, da die Abnehmeranlagen die Auskühlung des Primärmassestromes bestimmen.

Ein Überblick über das ökologische und wirtschaftliche Zusammenspiel von reduzierten Rücklauftemperaturen, anhand von Erzeugung, Netz und Abnehmern, kann wie folgt dargestellt werden [1]:

- Erzeugung
 - Höhere Brennstoffausnutzung (\cong höherer Wirkungsgrad)
 - Höhere Stromausbeute bei KWK-Betrieb
 - Bessere Wirtschaftlichkeit
 - Reduktion von Emissionen (CO₂, ...)
 - Bessere Integration von alternativen Energieerzeugern (WP, Abwärme, ...)
- Netz
 - Höhere Übertragungskapazitäten
 - Senkung des Massestromes und somit der Pumpstromkosten
 - Kleinere Rohrdimensionen bei Neubauten
 - Reduktion der Wärmeverluste
- Abnehmer
 - Ökologischer und wirtschaftlicher Betrieb
 - Optimale Auslegung und Bau der Anlagen
 - Wirtschaftliche Trinkwassererwärmung (hygienisch einwandfrei und mit geringen Rücklauftemperaturen)
 - Möglichkeit von dezentralen Einspeisern (Stichwort Prosumer)

Der Integration von dezentralen Wärmequellen stehen zwei wesentliche Herausforderungen gegenüber: Hohe Spitzenlasten und hohe Systemtemperaturen. Diese beiden Herausforderungen werden in diesem Kapitel näher erläutert und adressiert. Von entsprechenden Lösungen werden Effizienzsteigerungen sowie positive monetäre Effekte erwartet bzw. vorausgesetzt.

2 Maßnahmen zur Reduktion/ Verschiebung von Spitzenlasten

Hohe Spitzenlasten stellen allgemeine Probleme im Betrieb von Wärmenetzen dar, welche zumeist durch fossil betriebene Spitzenlastkessel gedeckt werden. Die Integration von dezentralen Wärmequellen soll durch Anpassen von verbraucherinduzierten Spitzenlasten an die jeweilige Verfügbarkeit erleichtert werden. Eine Möglichkeit stellt intelligentes Lastmanagement dar. Mit diesem Ansatz wird versucht, Spitzenlasten zeitlich zu verschieben bzw. zu reduzieren, um eine Glättung des Lastprofils zu erlangen. Verbraucherseitige Maßnahmen wie Demand Side Management (DSM) umfassen Regelalgorithmen für die Lastverschiebung und gezielte Lastabgabe bzw. Laststaffelung für einen gewissen Zeitraum. So können z.B. bei einzelnen Abnehmern oder Abnehmergruppen Lasten weggeschaltet bzw. reduziert werden (Lastabwurfmanagement). Die Nutzung von verbraucherseitigen Maßnahmen erfordert entsprechend ausgelegte Infrastruktur. Maßnahmen können die Nutzung von Speichern, wie z.B. Beladung von Kundenwarmwasserspeichern, als auch Raumtemperaturabsenkungen sein. Anzumerken ist, dass sich die gesamte Wärmelast durch Lastmanagement aber nicht verringert. Vielmehr besteht der Vorteil in der zeitlichen Entkopplung, wodurch einzelnen Spitzen gedämpft werden sollen. Die folgenden präsentierten Maßnahmen beruhen auf Untersuchungen des Projektes „SmartHeatNet“ [2] und weiteren Quellen.

2.1 Nutzung sekundärseitiger Warmwasserspeicher

Typischerweise werden Wärmenetze tageszeitlich durch zwei Spitzen, morgens und abends, geprägt, welche hauptsächlich durch erhöhten Warmwasserverbrauch (Duschen, Waschen) resultieren. Die Morgenspitze fällt in der Regel höher als die Abendspitze aus (siehe Abbildung 1). Bei Nachtabsenkungsbetrieb wirkt sich die benötigte Aufheizleistung zusätzlich negativ auf die Morgenspitze aus. Kundenseitig vorhandene Warmwasserspeicher könnten genutzt werden um die Spitzen zu reduzieren, indem die Regelung darauf achtet, dass die Speicher vor dem Bedarfsfall vollständig geladen sind. Voraussetzung für eine solche Maßnahme ist der Zugriff der zentralen Fernwartungs- und Regelungssystems auf jede einzelne Kundenanlage. In [2] wird erwähnt, dass viele Warmwasserspeicher zu klein dimensioniert sind, wodurch eine mehrmalige Ladung am Tag notwendig ist. Gezieltes entkoppeln der Heiz- und Warmwasserbetriebszeiten, durch aktives Lademanagement des Warmwasserspeichers, weist daher nur beschränktes Potenzial auf. Zusätzlich müssen Vorrangschaltungen des Warmwasserspeichers beachtet werden. Dabei muss verhindert werden, dass bei Spitzenzeiten gleichzeitig der Warmwasserspeicher geladen wird und die Station mit der vollen Leistung in Betrieb ist. Eine allgemeine Potenzialbewertung dieser Maßnahme ist kaum möglich, da dies individuell von der Netzcharakteristik und von den nutzbaren Kundenanlagen (Anzahl, Größe, ...) sowie der Regelungs- und Leittechnik abhängt.

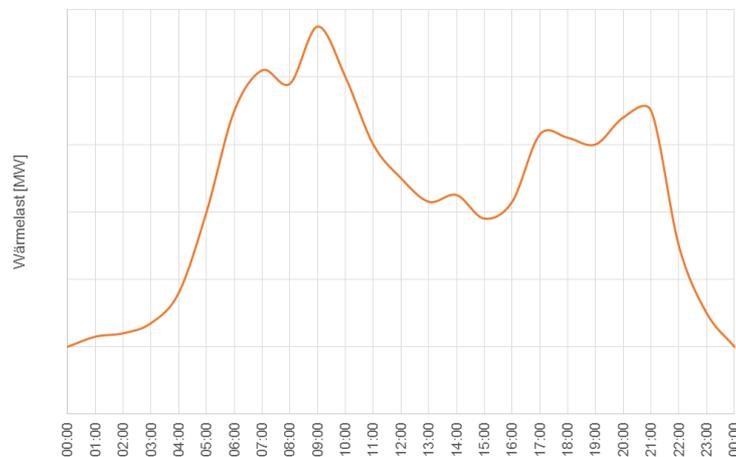


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung einer Wärmelast im Tagesverlauf mit Morgen- und Abendspitze

2.2 Lastverschiebung (Nutzung thermischer Speicherfähigkeit)

Herkömmliche Regelungskonzepte von Gebäude-Heizsystemen basieren auf der Definition von Raumtemperatursollwerten T_{soll} , meistens unter Berücksichtigung einer Nachtabsenkung. Die Nachtabsenkung stellt eine effiziente Maßnahme dar, um den Energiebedarf in Gebäuden zu reduzieren. In der Literatur werden Energieeinsparungen von bis zu 30 % berichtet. In Tabelle 1 sind Untersuchungsergebnisse zum Thema Wirksamkeit der Nachtabsenkung zusammengetragen [2].

Tabelle 1: Übersichtstabelle Literaturstudie zur Energieeinsparung durch Nachtabsenkung [2]

Art der Untersuchung	Maximal erreichte Energieeinsparungen	Sollwert Nachtabsenkung [°C]	Literaturquelle
Experiment	13 %	16 °C	[3]
Analytische Untersuchung	-	-	[4]
Experiment	16 %	18 °C	[5]
Simulationsergebnisse	20 %	18 °C	[6]
Simulationsergebnisse	20 %	16 °C	[7]
Simulationsergebnisse	27 %	-	[8]
Experiment	19 %	18 °C	[9]

In [2] wurden Effekte von Lastverschiebungen anhand von Simulationsrechnungen durchgeführt. In Abbildung 2 sind beispielhaft Soll- und Ist-Temperaturen für einen Nachtabsenkungsbetrieb dargestellt. In der Grafik ist zugleich auch die Herausforderung des Aufheizzeitpunktes t_x zu erkennen. Sollten alle Wärmeabnehmer denselben Aufheizzeitpunkt vorweisen (z.B. 06:00), so würde der kollektive Sprung zu einer stark ausgeprägten Spitze führen. Um eine gleichzeitige Wärmeanforderung einer Vielzahl an Kundenanlagen zu vermeiden, ist es

wichtig deren Charakteristika (individuelle Aufheizzeiten) zu kennen sowie Eingreifmöglichkeiten zu haben. Ein zentralisiertes Demand Side Management hat gegenüber einem individuellen DSM somit klaren Vorteil, um ein „Aufschwingen“ zu vermeiden.

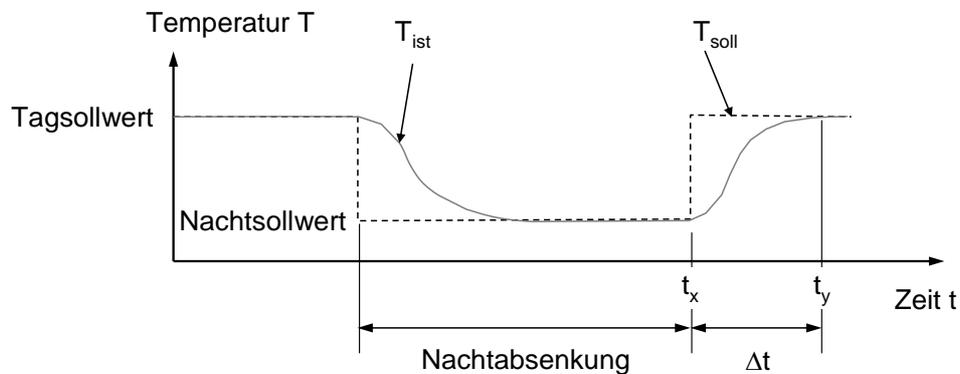


Abbildung 2: Abnehmerseitige Regelung der Solltemperaturen über einen Tag; Beispielhafte Darstellung des Verlaufes der Ist-Temperatur sowie der Aufheizzeit Δt [2]

Ein zentrales Element zur effektiven Anwendung von Lastverschiebungsstrategien ist das Wissen um die Aufheizzeit Δt . Die Aufheizzeit Δt entspricht der Zeitspanne die benötigt wird, um die Raumtemperatur, nach der Nachtabsenkung, auf das gewünschte Temperaturniveau aufzuheizen. Je nach Gebäudetyp und in Abhängigkeit der thermischen Speicherfähigkeit sowie der Eigenschaften (Trägheit) der jeweiligen Heizsysteme (Fußbodenheizung, Bauteilaktivierung, Luftheizung mittels Fancoils, Heizkörper, etc.) variiert diese. Die Optimierungsaufgabe lautet daher, die Aufheizzeitpunkte t_x (unter Berücksichtigung von Δt und t_y) der Kundenanlagen möglichst zeitlich versetzt zu wählen, um eine Reduktion der Spitzenlasten zu erreichen. Die Simulationsrechnungen in [2] ergaben mithilfe eines Optimierungsalgorithmus Spitzenlastreduktionen bis zu 30 %. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wirksamkeit der Lastverschiebung abhängig von der Gebäudestruktur ist. So ist die Lastverschiebung besonders wirksam, wenn sich im Wärmenetz viele Gebäude mit geringen Aufheizzeiten befinden. Hohes Lastverschiebungspotenzial ist gegeben bei:

- Gebäuden mit niedrigen thermischen Massen (Holzhaus statt Ziegelmassivhaus)
- dynamischen Heizsystemen (Luftherhitzer statt träger Betonkernaktivierung)
- Überdimensionierte Anschlussleistungen (Übergabestation, sanierte Häuser mit nicht angepasstem Heizsystem, falsche Heizlastberechnung).

Im Umkehrschluss können sie aber bei nicht sachgemäßer Anwendung hohe Lastspitzen verursachen. Zum Beispiel erfordern Luftherhitzer eine höhere Leistung als Betonkernaktivierungen, da sie in kurzer Zeit eine hohe Wärmeleistung bereitstellen um möglichst schnell die Raumtemperatur zu erhöhen.

Das Lastverschiebungspotenzial wird für Gebäude mit hohen thermischen Standards (Passivhausbauweise) als gering angesehen. Ebenso muss die Sinnhaftigkeit von Nachtabsenkungen bei diesen Gebäudetypen hinterfragt werden, da es sein kann, dass Nachtabsenkung zu höheren Energieverbräuchen führt gegenüber durchgängigem Heizbetrieb.

Ideenansatz der Überwärmung

Gegenüber der Nachtabsenkung könnte auch ein gegensätzlicher Ansatz verfolgt werden: Temperaturerhöhung. Um Leistungsspitzen zu reduzieren könnten Gebäude zeitlich versetzt erwärmt bzw. überwärmt werden sodass in Spitzenlastzeiten der Warmwasserbereitung keine Raumheizung erfolgt. Dabei könnten auch einzelne Räume, wie z.B. das Badezimmer auf über 24 °C, erwärmt werden. Die jeweiligen Behaglichkeitskriterien sind dabei zu berücksichtigen. Notwendig dazu wäre eine zentrale ganzheitliche Optimierungsstrategie, welche durch Modellprädiktiver Regelung unterstützt wird und Fernzugriff auf einzelne Kundenanlagen zulässt.

Eine abnehmerseitige Optimierung könnte eine intelligente Verschaltung von Warmwasseraufbereitung und Raumheizung sein. So könnte bei Aufbereitung von Warmwasser die Raumheizung passiv statt aktiv erfolgen. Damit ist gemeint, dass dezidiert nur Leistung für die Warmwasseraufbereitung bereitgestellt wird. Die Raumheizung könnte über den Rücklauf der Warmwasseraufbereitung erfolgen. Wenn nicht ohnehin eine Vorrangstellung für die Warmwasseraufbereitung existiert, könnte dadurch die benötigte Wärmeleistung reduziert werden. Zumindest besteht Potenzial die Rücklauftemperatur zu senken, da bei Speichersystemen, vor allem gegen Ende des Ladezyklus, die Rücklauftemperatur ansteigt. Die erhöhte Rücklauftemperatur könnte für Heizungszwecke bzw. zur Überwärmung von Räumen verwendet werden, sodass zumindest eine niedrigere Systemrücklauftemperatur resultiert. Bei dem Prinzip der „Überwärmung“ gilt dasselbe Potenzialprinzip wie für die Nachtabsenkung. Je nach Gebäudetyp resultiert unterschiedliches Potenzial. Für Niedrigstenergiegebäude wird das Potenzial geringer eingeschätzt als bei thermisch schlechteren Gebäuden. Die hier angeführten Maßnahme „Überwärmung“ hat lediglich Ideencharakter und wurde weder überprüft (Berechnungen, Simulationen) noch wurden Resultate dazu recherchiert. Weitere Aussagen zum Reduktionspotenzial der Spitzenlasten können daher an dieser Stelle nicht getätigt werden.

2.3 Nutzung des Netzes als Speicher

Der Wasserinhalt eines Wärmenetzes kann zu einem gewissen Grad selber als Speicher genutzt werden. Die Effekte eines solchen Einsatzes wurden in [2] untersucht. Durch die Erhöhung der Vorlauftemperatur vor dem Eintreten der Spitzenlast wird das Netz aufgeladen. Durch Absenken der Vorlauftemperatur vor bzw. während der Spitze kann die Leistung am Erzeuger reduziert werden. Ein wesentlicher Vorteil dieser Strategie ist, dass die notwendigen Investitionskosten für den erhöhten Regelungsaufwand im Vergleich zu anderen Speichersystemen gering sind. Nachteilig ist der höhere Wärmeverlust aufgrund des höheren Temperaturniveaus in den Leitungen des Netzes. Des Weiteren können sich die aufgrund der häufigen Temperaturschwankungen initiierten Lastwechsel und die damit verbundenen

erhöhten Belastungen der Systemkomponenten (Rohrleitungen, Kompensationsbögen, Wärmetauscher, usw.) negativ auf die Lebensdauer der Anlage auswirken. Zusätzlich müssen die technischen Spezifika der Anlagenkomponenten (Rohre, Armaturen, ...) beachtet werden, um festzustellen ob und wieweit eine Temperaturerhöhung durchgeführt werden darf. Der Effekt der Netzüberwärmung funktioniert aber nicht uneingeschränkt, da die einzelnen Verbraucher mit einer Anpassung des Massenstromes auf den Temperatursprung reagieren. Sobald die erhöhte Vorlauftemperatur beim letzten Verbraucher angekommen ist, hat sich der Massenstrom soweit reduziert, dass die eingespeiste Leistung der Summe aller abgenommenen Leistungen entspricht. Die Speicherkapazität des Netzes steht in diesem Fall also nur für ein eingeschränktes Zeitfenster zur Verfügung. Das beschriebene Prinzip wird in Abbildung 3 dargestellt [2].

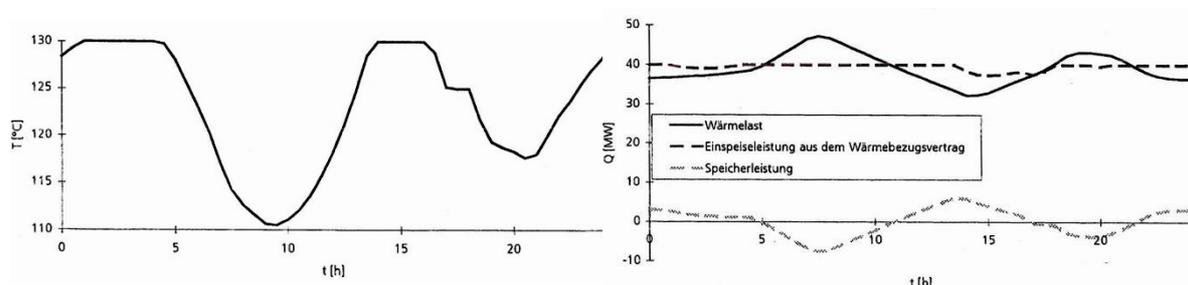


Abbildung 3: links: Variation der Vorlauftemperatur; rechts: zugrundeliegende Heizlast, aus der Variation der Vorlauftemperaturen resultierende Einspeiseleistung und entsprechende Speicherleistung des Netzes [2]

Mithilfe von Simulationen wurden Auswirkungen unterschiedlicher Regelungsstrategien (siehe Abbildung 4) auf die Spitzenlastreduktion eines Wärmenetzes untersucht. Die Ergebnisse zeigen für den spezifischen Fall eine Reduktion der Spitzenlast um ca. 15 %. Bei einer Regelung der Vorlauftemperatur ohne weitere Erhöhung des Massenstroms („No DP Regler“) kann aufgrund der limitierten Speicherkapazität des Netzes nur eine geringere Reduzierung der Spitzenlast (gegenüber „Finaler Regler“) erreicht werden. Zu erwähnen ist, dass sich die Rücklauftemperatur, je nach Fall um bis zu 5 K erhöht hat [2]. Das bedeutet, dass bei dieser Maßnahme unter Umständen mit einer geringfügig erhöhten Rücklauftemperatur gerechnet werden muss. Dies steht im Widerspruch von Niedrigtemperaturnetzen sowie dem generellen Bestreben möglichst geringe Rücklauftemperaturen zu erreichen.

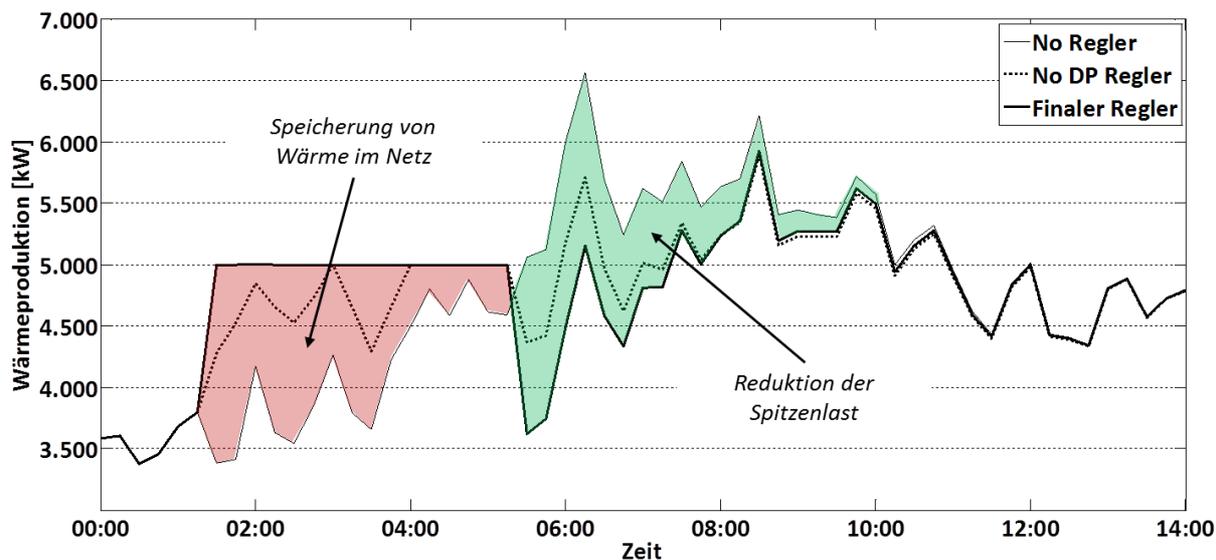


Abbildung 4: Wärmelast für: Referenzszenario (No Regler), kein PD Regler, finaler Regler [2]

Um die Möglichkeiten und Grenzen zur Speicherung von Wärme im Netz bzgl. der Übertragung auf andere Fernwärmenetze zu bestimmen wurden Parametervariationen durchgeführt. Der benutzte Skalierungsfaktor ist die lineare Leistungsdichte, die definiert ist als die maximale Spitzenlast (aufbringungsseitig) bezogen auf die Netzlänge. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Spitzenlastreduktion umgekehrt proportional zur linearen Leistungsdichte verhält. Dieser Umstand liegt in der Tatsache begründet, dass eine Reduktion der Leistungsdichte zu einer Erhöhung der Speicherkapazität des Netzes führt. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Die Kurven repräsentieren unterschiedliche Temperatursprünge (Erwärmung um 5 bzw. 10 K) und Ladezeiträume (Zeitspanne von 2 bis 4 Stunden).

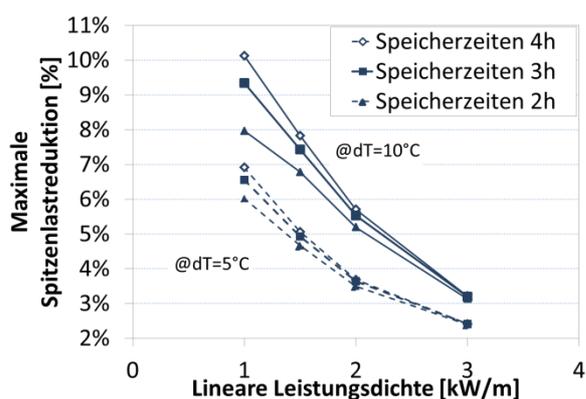


Abbildung 5: Maximale Spitzenlastreduktion in Netzen unterschiedlicher linearer Leistungsdichte [2]

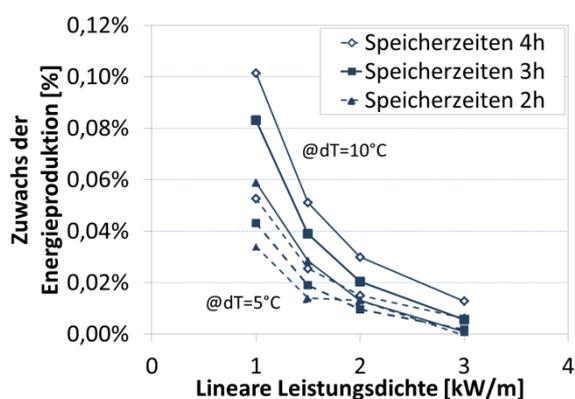


Abbildung 6: Zuwachs der Energieproduktion in Netzen unterschiedlicher linearer Leistungsdichte [2]

Bei einer linearen Leistungsdichte von 1 kW/m, einer Speicherzeit von 3 Stunden und einem Temperatursprung von 10 °C kann die Spitzenlast um ca. 9,5 % reduziert werden. Die Darstellung der erhöhten Energieproduktion (aufgrund höherer Wärmeverteilverluste) zeigt, dass

eine höhere lineare Leistungsdichte in geringeren Wärmeverteilverlusten resultiert. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass eine Erhöhung der Energiedichte bei konstantem Heizlastprofil eine niedrigere Speicherkapazität des Netzes bewirkt und die Verteilverluste im Netz erhöht.

2.4 Einsatz von Speichern

Speicher schaffen zusätzliche Freiheitsgrade und werden zur zeitlichen Entkopplung von Produktion und Verbrauch eingesetzt. Das Potential zur Reduktion von Spitzenlasten in Wärmenetzen durch Speicher wurde bereits in verschiedenen Studien erfolgreich untersucht. Die Funktionsweise der Speicher wird in Abbildung 7 visualisiert: Außerhalb der Spitzenlastzeiten wird dem Speicher Energie zugeführt (Ladephase), gespeichert (Speicherphase) und zu Spitzenlastzeiten dem Speicher entnommen um die Spitzenlasten zu kompensieren (Entladephase). Die verfolgten Einsatzziele von Speicher sind beispielsweise der kontinuierliche Betrieb sowie die kleinere Dimensionierung von Erzeugungseinheiten als auch kurzfristiges Backup für das Netz [2].

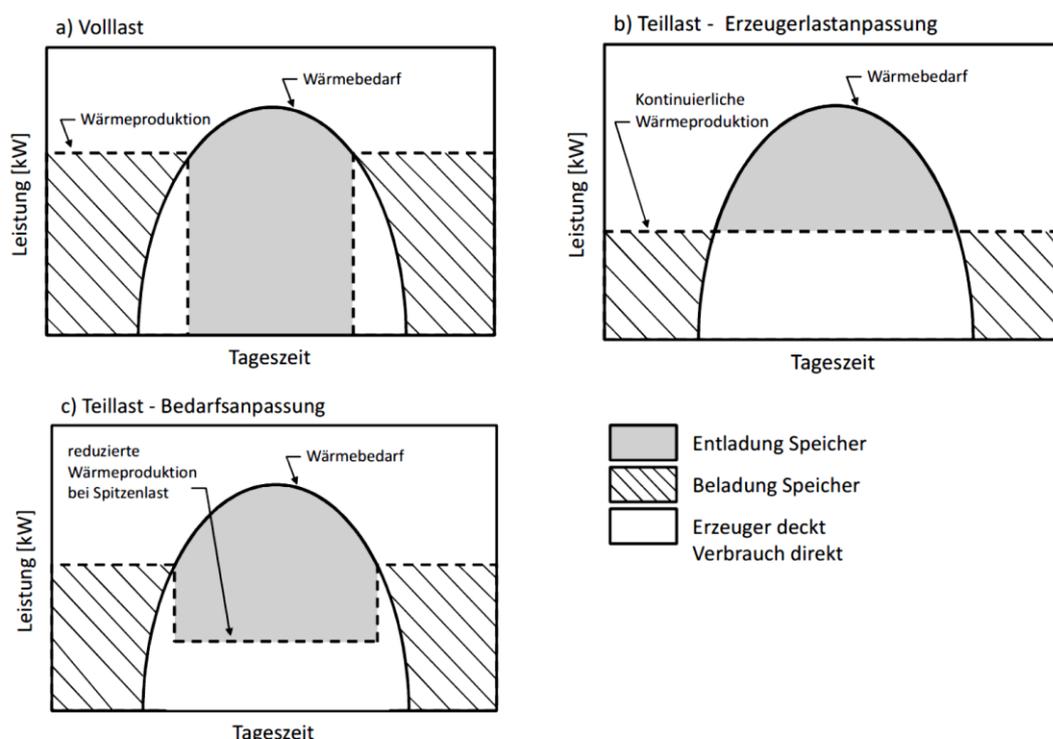


Abbildung 7: Einsatzstrategien von Speichern in Wärmenetzen: a) Volllast- b) Teillastabdeckung für kontinuierliche Wärmeproduktion und c) Teillastabdeckung für Verbrauchsanpassung [2]

In dem Projekt „SmartHeatNet“ wurden Modellrechnungen mit zentralen und verteilten Speichern durchgeführt, um die Auswirkungen auf die Reduzierung der Spitzenlasten zu untersuchen. Die Untersuchungen zeigten, dass mithilfe der Speicher die Spitzenlast reduziert werden kann. Je nach betrachteter Größe, tragen die Speicher unterschiedlich zur Deckung von Spitzenlasten bei. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass verteilte Speicher ein um 30 %

geringeres (Gesamt-)Volumen, im Vergleich zur zentralen Speicherstrategie, benötigen um dieselbe Spitzenlastreduktion zu erreichen. Bei Verwendung von verteilten Speichern im Wärmenetz ergeben sich allerdings sehr hohe Investitionskosten wodurch die Rentabilität gering ist. Verteilte Speicher sind daher meist unwirtschaftlicher als zentrale Speicher, da die Investitionskosten bei einer äquivalenten Spitzenlastreduktion wesentlich höher sind. Der zusätzliche dezentrale Material- und Energieaufwand (z.B.: für Ladepumpen) ist gegenüber einer zentralen Lösung nicht zu vernachlässigen. Verteilte Speicher können allerdings sinnvoll sein, wenn ein bereits ausgereiztes Netz noch erweitert werden soll und der Kunde diese Zusatzinvestitionen mitträgt um Fernwärme beziehen zu können [2].

Vielversprechender ist die Installation eines zentralen Speichers, wodurch bei gegebenen Investitionskosten höhere Reduktionen der Spitzenlasten erreicht werden, als bei verteilten Speichern. Im Vergleich zur beschriebenen Maßnahme „Nutzung des Netzes als Speicher“ (Vorlauftemperaturregelung) sind die Reduktionen der Spitzenlasten durch den Einsatz von Speichern wesentlich höher. Obwohl in [2] Untersuchungen zur Deckung von Spitzenlasten mit verschiedenen Speichergrößen angeführt wurden, wird hier von einer quantitativen Bewertung abgesehen. Zu unterschiedlich sind die Einflussgrößen der Wärmenetzcharakteristik (Profilverlauf, Verhältnis Grund- zu Spitzenlast, Abnehmerstruktur, etc.) als dass einer bestimmten Speichergröße eine bestimmte Spitzenlastreduktion zugeschrieben werden kann. Allerdings wird in [2] erwähnt, dass Tagesspeicher eher nicht in der Lage sind, Heizlastprofile vollständig zu glätten. Hierzu müsste eine mittel bis langfristige Speicherung (wöchentlich / monatlich) berücksichtigt werden. Allerdings ist anzumerken, dass eine geringe Anzahl an Lastzyklen und geringe Kosten fossiler Energieträger die Wirtschaftlichkeit von Speichern reduzieren [2].

2.5 Hydraulische Optimierung

Insbesondere bei Netzerweiterungen sind hydraulische Bedingungen im Wärmenetz zu beachten. Durch Optimierung der Rücklauftemperaturen können die Transportkapazitäten erhöht und mithilfe von hydraulischen Ringschlüssen die Verteilung der Massenströme verbessert und das Netz somit hydraulisch entlastet werden. Anhand des Fallbeispiels Siezenheim (Spezialfall eines städtischen Subnetzes) wurden in dem Projekt „SmartHeatNet“ solche Maßnahmen exemplarisch bewertet. Im Speziellen wurden die Maßnahmen „Durchflussbegrenzung“ und „Netzbau“ untersucht. Das Netz in Siezenheim (PN 16) ist ein Subnetz, welches vom Netz der Stadt Salzburg (PN 25) hydraulisch getrennt ist. Dieses Subnetz wird durch ein Biomasse-Heizkraftwerk und eine Abwärmeauskopplung versorgt. Das Netz wurde laufend optimiert, wodurch der nutzbare Abwärmeanteil aus dem BMHKW Siezenheim und aus der Abwärmeauskopplung Kaindl erhöht werden konnte. Die Hauptaugenmerke lagen hierbei einerseits auf der Senkung der Rücklauf RL-Temperaturen und andererseits auf der einspeiseseitigen Optimierung (Speicherintegration) [2].

Durch den konsequenten Einbau von Differenzdruckmengenbegrenzern und durch den Bau von Verstärkungsleitungen konnten die RL-Temperaturen und die Druckverhältnisse im Netz massiv verbessert werden. Der Trend der verbesserten Netz-Rücklaufemperatur ist in Abbildung 8 ersichtlich. Neben niedrigen Rücklaufemperaturen (unter anderem infolge kundenseitiger Optimierungen) sind auch die Druckverhältnisse im Netz entscheidend, wie viel Wärme von einem Erzeugungsstandort tatsächlich wegtransportiert werden könnte. Es nützt wenig, wenn viel Abwärme vorhanden wäre, aber die spezifischen Druckverluste zu hoch wären und somit die Pumpleistung außerhalb des sinnvollen bzw. möglichen Bereichs liegen würde [2].

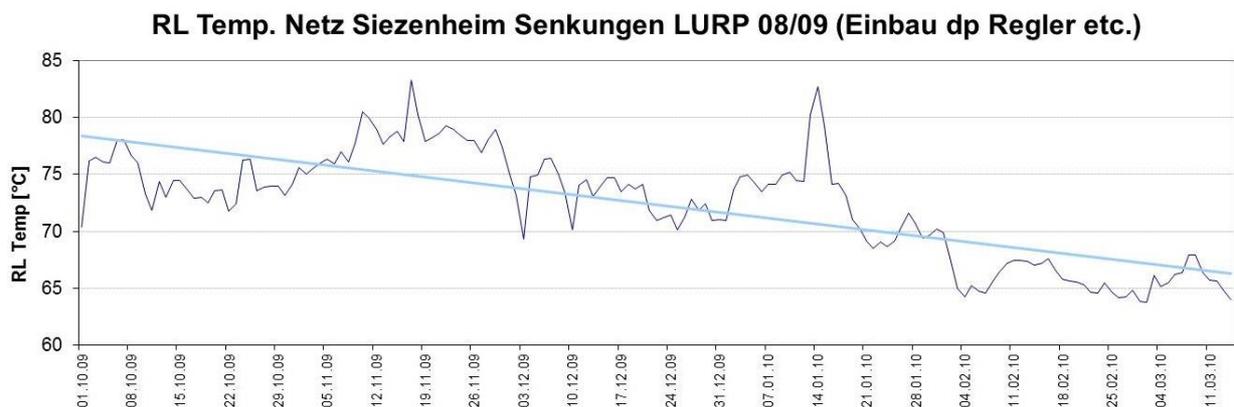


Abbildung 8: Verbesserung der Netz-Rücklaufemperatur nach Optimierungsmaßnahmen am Beispiel des Subnetzes Siezenheim [2]

Zur Evaluierung der Maßnahme Netzbau wurden die Auswirkungen eines Ringschlusses auf die Abwärmeeinspeisung Kaindl und den Speicherbetrieb für verschiedene Lastfälle untersucht und der Situation ohne Ringschluss gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich mit Ringschlüssen im Netz hydraulische Verbesserungen, insbesondere bei Teillast, erreichen lassen. Bei gleichen Einspeise- und Abnahmevoraussetzungen ergaben die netzhdraulischen Berechnungen einen Unterschied in der Förderhöhe der Pumpen am BMHKW Siezenheim von 5,3 bar und bei Kaindl von immerhin 2,5 bar. Die Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, dass mit hydraulischer Optimierung Druckverluste reduziert und in weitere Folge Potenziale für höhere Übertragungsleistungen geschaffen werden können. Denn hohe Druckverluste können zu unzulässigen Versorgungszuständen (zu hohe Vorlaufdrücke oder zu niedrige Rücklaufdrücke → abhängig von der Einstellung der Druckhaltung) führen, die die möglichen Übertragungsleistungen in Wärmenetze einschränken [2].

2.6 Bewertung von Maßnahmen zur Reduktion / Verschiebung von Spitzenlasten

In Tabelle 2 ist ein Bewertungsansatz ersichtlich, der auf die zuvor vorgestellten Maßnahmen zur Reduzierung / Verschiebung von Spitzenlasten beruht. Das größte Potenzial wird in der Lastverschiebung durch Nachtabsenkung gesehen. Hierbei werden hohe Reduktionen bei gleichzeitig geringen Investitionskosten erwartet. Allerdings gestaltet sich die Umsetzung schwierig, da Eingriffe in Kundenanlagen vorgenommen werden müssen. Die Nutzung von Speichern hat ebenfalls eine wichtige Bedeutung. Das Potenzial von zentralen Speichern wird gegenüber verteilten Speichern etwas besser bewertet. Der Grund dafür liegt in der Schwierigkeit der Umsetzung, da eine solche Nutzung einen massiven Eingriff in die Kundenanlagen darstellt. Dazu sind rechtliche Rahmenbedingungen wie Wartung und Haftungen (z.B. wer kommt für einen frühzeitig beschädigten Speicher auf und wie wird dies festgestellt?) zu klären. Am geringsten wird das Potenzial bei der Nutzung von sekundärseitigen Warmwasserspeichern betrachtet. Neben den erwähnten rechtlichen Rahmenbedingungen werden die vorhandenen Abnehmer-Warmwasserspeicher als zu klein betrachtet, um eine nennenswerte Reduzierung / Verschiebung von Spitzenlasten zu bewirken. Die Potenziale für hydraulische Optimierung sind für jedes Netz, aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika (z.B. Topologie, Einspeiser, Abnehmer, ...), unterschiedlich und fallspezifisch dezidiert zu bewerten. Da der Aufwand entsprechend hoch ist, werden Netzsimulationen empfohlen um das jeweilige Potenzial abschätzen und entsprechende Netzumbaumaßnahmen zielgerichtet vornehmen zu können.

Tabelle 2: Bewertungsansatz von Maßnahmen zur Reduzierung / Verschiebung von Spitzenlasten

Maßnahme	Aufwand ⁽¹⁾	Potenzial ⁽²⁾	Effekt ⁽³⁾	Quelle ⁽⁴⁾
Sekundärseitige Warmwasserspeicher	- -	-	k.A.	
Lastverschiebung (Nachtabsenkung)	-	+ +	bis 30 %	[2] - [9]
Netz als Speicher	○	○	bis 15 %	[2]
Zentrale Speicher	-	+ +	k.A.	[2]
Verteilte Speicher	- -	+	k.A.	[2]
Hydraulische Optimierung	-	○	k.A.	[2]

Legende
Punktevergabe von + + (≙ sehr gut) bis - - (≙ sehr schlecht)
(1) Zu erwartender Aufwand (z.B. Investitionen)
(2) Zu erwartendes Potenzial
(3) Recherchierte Einsparungseffekte
(4) Quelle zu den recherchierten Einsparungseffekten

3 Maßnahmen zur Reduktion von Rücklauf- und Vorlauf-temperaturen

3.1 Einleitung

Niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen sind der wichtigste “enabler“ für die Integration alternativer Wärmequellen, die hauptsächlich auf niedrigem Temperaturniveau vorliegen bzw. deren volles Potential erst bei geringen Temperaturniveaus entfaltet werden kann. Weitere Vorteile niedriger Systemtemperaturen im Wärmenetz sind die Reduktion der Wärmeverteilungsverluste und der Pumpstromkosten. Auch können in Neubaugebieten kostengünstige Rohrleitungssysteme gewählt werden.

Die Temperaturen in Wärmenetzen werden im Wesentlichen von den angeschlossenen Gebäuden bestimmt. Die Vorlauftemperaturen ergeben sich einerseits aus der Warmwasserbereitung (insbesondere im Sommer) und der Auslegung der Heizsysteme, andererseits aus der zu transportierenden Wärmemenge (insbesondere im Winter), welche wiederum aus dem kumulierten Wärmebedarf aller Verbraucher resultiert. Um den Wärmetransport wirtschaftlich zu gestalten, hängen die Vorlauftemperaturen (zu den meisten Zeiten im Jahr) direkt von den Rücklauftemperaturen ab. Dementsprechend ist eine Absenkung der Rücklauftemperaturen eine wesentliche Maßnahme zur Reduktion der Vorlauftemperaturen. Hohe Systemtemperaturen in Wärmenetzen stellen außerdem eine Hürde für die Integration alternativer Energieträger dar (siehe beispielhafte Darstellung in Abbildung 9). Eine signifikante Reduktion der Systemtemperaturen ist eine Schlüsselmaßnahme um einen Übergang zur nächsten, der sogenannten 4ten Generation der Fernwärme einzuleiten.

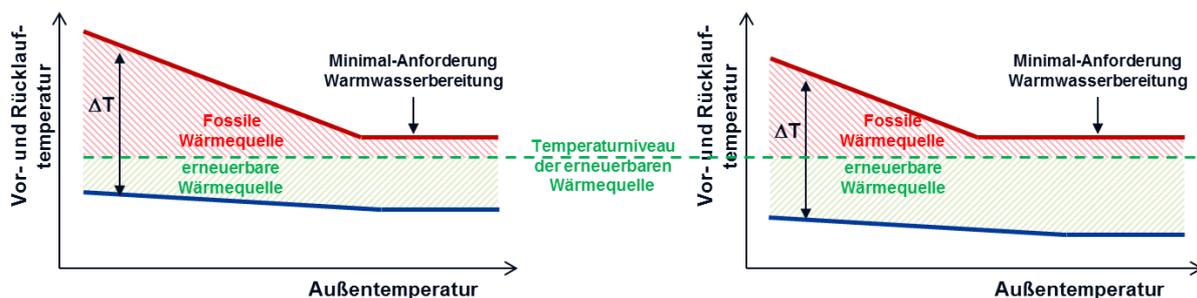


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Einflusses sinkender Rücklauftemperaturen auf das Potential erneuerbarer Energieträger mit niedrigem Temperaturniveau [1], links: Ausgangszustand mit hohen Rücklauftemperaturen, rechts: Möglichkeit zur Senkung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen

Vorteile reduzierter Systemtemperaturen sind Effizienzsteigerungen, bessere Integration alternativer Wärmequellen und wirtschaftliche Aspekte. So wird in einer schwedischen Studie der wirtschaftliche Einsparungseffekt von reduzierten Rücklauftemperaturen mit $0,05 - 0,5 \text{ €} / (\text{MWh} \cdot \text{K})$, bezogen auf die verkaufte Wärmeenergie, bewertet [2]. Ein Vergleich von typischen Werten von 27 untersuchten Wärmenetzen in Schweden führt zu einem Einsparungseffekt von ungefähr $0,15 \text{ €} / (\text{MWh} \cdot \text{K})$. Bei einem Wärmenetz mit einem jährlichen Wärmeverkauf von 1 TWh und einer um 10 K reduzierten Rücklauftemperatur bedeutet dies eine mögliche Einsparung von 1,5 Millionen Euro [3].

Im Folgenden werden Projektergebnisse aus „URBANcascade“ und „NextGenerationHeat“ vorgestellt. In diesen Projekten wurden mögliche Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduktion des notwendigen Temperaturniveaus sowie zur Erhöhung der Temperaturspreizung in Mustergebäuden untersucht. Die Projekte zeigen dabei Maßnahmen und Konzepte zur Senkung der RL-Temperaturen Wärmenetzen auf. Durch die Integration von Konzepten zur kaskadischen Wärmeenergienutzung sowie durch Maßnahmen zur Senkung der Temperaturen in den mit Fernwärme versorgten Gebäuden, kommt es zur Steigerung des Nutzungspotential von Abwärme und erneuerbarer Energieträger sowie der Gesamteffizienz von Wärmenetzsystemen. Die Resultate der Projekte werden im Folgenden zusammengefasst. Des Weiteren erfolgt eine Darstellung von möglichen Ursachen auf der Sekundärseite die zu erhöhten Rücklauftemperaturen führen können. Dabei wird insbesondere auf den hydraulischen Abgleich näher eingegangen. Anhand von den erhobenen sekundärseitigen Ursachen erhöhter RLT wird am Ende des Kapitels eine Handlungsempfehlung zur Fehlerdetektion vorgeschlagen.

3.2 Reduktion des Wärmebedarfs durch Sanierung

Durch Sanierungsmaßnahmen lässt sich die Heizlast von Gebäuden reduzieren. Nach erfolgter Sanierung ist darauf zu achten, auch das Heizsystem und die Systemmitteltemperaturen an die veränderte Heizlast anzupassen. Wird die Gebäudehülle saniert, jedoch das Heizsystem nicht angepasst herrscht folgende Situation: Das Gebäude und alle Räume des Gebäudes haben aufgrund von Sanierungsmaßnahmen eine geringere Heizlast. Wird das Heizsystem nicht angepasst werden die Heizkörper mit den gleichen Temperaturen versorgt. Die benötigte Heizlast der Räume ist nun kleiner als zuvor und somit kleiner als die Heizleistung der Heizkörper. Eingebaute Thermostatventile an den Heizkörpern können die abgegebene Leistung durch automatisches Schließen reduzieren. Es besteht jedoch die Gefahr der unbemerkten Energieverschwendung durch den Nutzer. Obwohl das Gebäude saniert wurde und somit weniger Energie benötigt als zuvor, kann das Heizsystem immer noch die „alte“ Energiemenge liefern, da die Heizflächen, die hydraulischen Einstellungen und die Vorlauftemperaturen gleich geblieben sind [1].

Um die Auswirkungen von sanierten Gebäuden auf die Rücklauftemperaturen im Netz zu betrachten, wurden im Projekt „URBANcascade“ Simulationsrechnungen für die Fernwärmenetze Wien und Klagenfurt durchgeführt. Die Simulationen basieren auf unterschiedlichen Szenarien für eine Woche im Winter mit verschiedenen Sanierungsmaßnahmen. Je nach Sanierungsrate zeigen die Berechnungen eine Reduktion der mittleren RL-Temperaturen im gesamten Netz zwischen 0,3 – 0,6 K für Klagenfurt bzw. zwischen 0,2 – 1,0 K für Wien. Die Wärmeverluste werden dadurch zwischen 10 MWh und 80 MWh (Wien) bzw. zwischen 5 MWh und 14 MWh (Klagenfurt) pro Woche reduziert. Die Szenarien mit sehr ambitionierten Sanierungsmaßnahmen führen zu einer maximalen Reduktion der RL-Temperatur von 1 K für Klagenfurt und 2 K für Wien. Die Wärmeverluste können dadurch pro Woche maximal um rund 200 MWh (Wien) bzw. 21 MWh (Klagenfurt) gesenkt werden. Die Sanierungsmaßnahmen führen zu einem sinken der gesamt benötigten Wärmemenge in den Fallbeispielstädten. In Wien können dadurch pro Woche rund 18 GWh Wärme eingespart werden. In Klagenfurt liegt dieser Wert bei rund 1,5 GWh. Das bedeutet, dass Sanierungsmaßnahmen bei gleichbleibender Wärmeproduktion Potenziale für Neuanschlüsse (Netzverdichtung bzw. –ausbau) schaffen [1].

3.3 Heizkörpertausch

Bei vergrößerten Heizflächen kann bei gleichen Systemtemperaturen mehr Leistung abgegeben werden. Umgekehrt kann bei vergrößerten Heizflächen und bei gleichbleibenden Leistungsbedarf die Systemtemperatur reduziert werden. Bei anstehenden Sanierungen ist es daher ratsam, über eine Umstellung auf ein Niedertemperatursystem, trotz hoher Investitionskosten, nachzudenken. Die Effekte eines Heizkörpertausches wurden in [1] für unterschiedliche Szenarien betrachtet. Die Ergebnisse zeigen auf, dass durch eine alleinige thermische Sanierung der Außenhülle eines Gebäudes, ohne weitergehende Anpassung des Heizsystems, die individuellen Rücklauftemperaturen nicht gesenkt werden können. Werden keine Systemänderungen (z.B.: Reduktion des Massenstroms, Änderung der Systemtemperatur, ...) vorgenommen, können lediglich die Heizstunden pro Jahr gesenkt werden. Die Berechnungen zeigen, dass durch die Sanierung z.B. eines Mehrfamilienhauses aus den 60er Jahren auf Passivhausstandard, die Heizstunden pro Jahr um rund 35 % gesenkt werden. Bei gleichzeitiger Anpassung des Massenstromes konnte in der Simulation eine maximale Reduktion der Rücklauftemperatur (Sekundärseitig) von rund 11 K erreicht werden [1].

Alternativ dazu, wird an dieser Stelle auf das Projekt „LowEx Fernwärme: Multilevel District Heating“ verwiesen. Demnach konnte bei Vergrößerung der Heizfläche um 15 % eine Senkung der Rücklauftemperatur von 55 °C auf 48 °C beobachtet werden [4].

3.4 Kaskadische Verschaltung innerhalb eines Heizungssystems

Als weitere Maßnahme zur Reduzierung der Rücklauftemperatur wurde im Projekt „URBAN-cascade“ eine kaskadische Verschaltung innerhalb eines Heizungssystems untersucht. Um die Auswirkungen zu demonstrieren, wurden zwei Übergabestationen miteinander verglichen. Einer herkömmlichen Übergabestation, mit Fußbodenheizung und Radiatoren, wurde eine Übergabestation mit kaskadischer Nutzung gegenübergestellt. Bei der kaskadischen Nutzung wird ein Teilmassenstrom des Radiatorenkreises dem Vorlaufmassenstrom des Fußbodenheizungskreises beigemischt. Die schematische Darstellung in Abbildung 10 ersichtlich.



Abbildung 10: Vereinfachtes Hydraulikschema einer Übergabestation (links) und mit kaskadischer Nutzung (rechts) [1]

Für die Simulationen wurden eine konstante Vorlauftemperatur seitens des Wärmenetzes von 65 °C sowie das Verbrauchsprofil eines Einfamilienhauses (150 m²) angenommen. Die Aufteilung der Wärmelastabdeckung zwischen Radiator und Fußbodenheizung wurde zu je 50 % festgelegt. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die kaskadische Verschaltung von verschiedenen Heizsystemen innerhalb eines Gebäudes eine sinnvolle und wirksame Maßnahme zur Reduktion der Rücklauftemperaturen ist. Die Ergebnisse führten zu Reduktionen hinsichtlich der Rücklauftemperatur von ca. 3 K sowie des Primärwasserverbrauches von ca. 9 m³ [1]. Der Effekt der kaskadischen Verschaltung wurde unter anderem auch im Projekt „NextGenerationHeat“ mit Simulationen bewertet – die Ergebnisse zeigten ca. 20 % geringere primärseitige Spitzen im Volumenstrom, sowie durchschnittlich um ca. 5 K geringere Rücklauftemperaturen [5].

3.5 Synergien zwischen unterschiedlichen Gebäudetypen (kaskadische Verschaltung)

Im weiteren Rahmen des Projektes „URBANcascade“ wurden Synergieeffekte durch kaskadische Verschaltung einzelner Gebäude bzw. innerhalb von Gebäudeclustern untersucht. Dabei ist die energetische Nutzung des Rücklaufes von Hochtemperatur-Verbrauchern als Vorlauf für Niedertemperaturverbraucher zu verstehen. Dies kann entweder indirekt über den Rücklauf des Netzes oder direkt erfolgen. Optionen und Randbedingungen der direkten bzw. indirekten kaskadischen Verschaltung von Hoch- und Niedertemperaturverbrauchern zeigt Abbildung 11. Damit Gebäude, Gebäudecluster bzw. Stadtteile und Straßenzüge in einer

Wärmekaskade genutzt werden können, müssen die jeweiligen Objekte anhand ihrer Verbrauchsprofile analysiert werden. Dies muss individuell vorgenommen werden, da laut [1] keine allgemein gültigen Aussagen über einen Zusammenhang des Gebäudetyps und dem benötigten Temperaturniveau getroffen werden können. Weitere zu berücksichtigenden Aspekte für die Realisierung von kaskadischen Verschaltungen werden durch die Autoren im Endbericht wie folgt angeführt (siehe auch Kommentare in Abbildung 11) [1]:

- Ausreichender Massenstrom in der Rücklaufleitung aufgrund der stromaufwärts liegenden Verbraucher ist sicherzustellen; dadurch sollte der Niedertemperaturverbraucher an der Wurzel des jeweiligen Netzabschnittes liegen.
- Eventuell vorhandene Asynchronitäten zwischen den Bedarfsprofilen von Nieder- und Hochtemperaturverbrauchern sind zu kompensieren.
- Potentielle Rücklauf- oder Massenstromreduzierende Maßnahmen bei dem Hochtemperaturverbraucher sind zu berücksichtigen.
- Die direkte kaskadische Verschaltung funktioniert auch bei wechselnden Strömungsrichtungen des Netzurücklaufes; hingegen muss bei einer indirekten kaskadischen Verschaltung die Strömungsrichtung in der Rücklaufleitung konstant bleiben.
- Die Verbraucher einer direkten kaskadischen Verschaltung sind voneinander abhängig, daher sind Punkte wie Durchleitungsrechte und im Falle von Gebrechen auch Zugangsrechte (Dienstbarkeiten) zu klären.

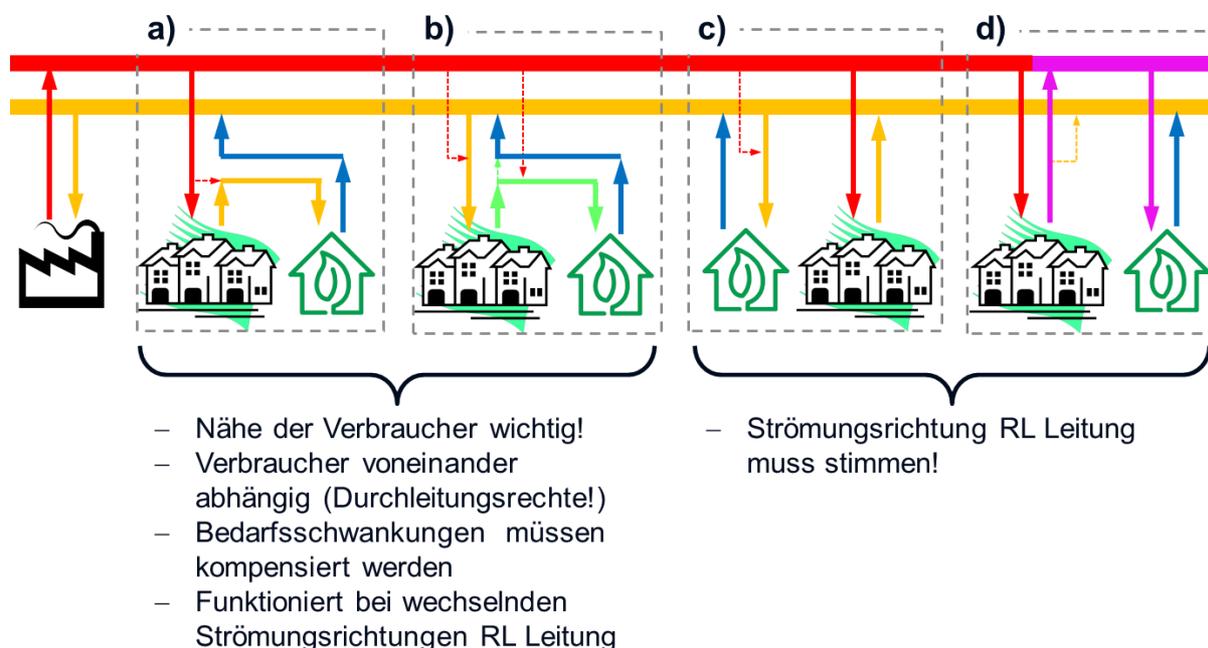


Abbildung 11: Optionen zur direkten oder indirekten kaskadischen Verschaltung von Hoch- und Niedertemperaturverbrauchern, a) direkte Nutzung eines HT-Rücklaufes, b) doppelte Kaskade: indirekte Nutzung eines HT Verbrauchers und direkte Nutzung mit Beimischung, c) indirekte Nutzung des HT Rücklaufes über den RL des Wärmenetzes, d) indirekte Nutzung über den VL des Wärmenetzes [1]

Im Projekt wurden ferner die Auswirkungen kaskadischer Verschaltungen anhand von verschiedenen Szenarien für die beiden Wärmenetze Wien und Klagenfurt betrachtet. Die Annahmen sowie Detailergebnisse für die einzelnen Szenarien sind dem Endbericht von „URBANcascade“ zu entnehmen. Die Ergebnisse der Szenarien sind folgend zusammengefasst [1]:

- In Wien kann durch die kaskadische Einbindung eines NT-Gebäudes in den RL eines Sekundärnetzes die Temperatur des RL im Jahresdurchschnitt zwischen 0,7 K und 1,5 K gesenkt werden. Die maximale Temperaturreduktion liegt zwischen 6,9 K und 11,6 K je nach betrachtetem Szenario.
- In Klagenfurt kann durch die kaskadische Einbindung mehrerer NT-Gebäude in den RL die Temperatur des RL im betrachteten Strang im Jahresdurchschnitt um rund 1,2 K gesenkt werden. Die maximale Temperaturreduktion liegt bei 9,6 K.

Die erreichten Temperaturreduktionen, in Folge der kaskadischen Verschaltung, bewirken, dass neue bislang nicht an das Netz angeschlossene Verbraucher auf niedrigerem Temperaturniveau mit Wärme versorgt werden können. Gleichzeitig muss der Massenstrom im Netz nur geringfügig erhöht werden [1].

3.6 Sekundärseitige Maßnahmen

In bestehenden Wärmesystemen liegen die Rücklauftemperaturen meist über dem geplanten / theoretisch möglichen Niveaus. Großes Optimierungspotenzial wird dabei der Sekundärseite (entspricht den Abnehmeranlagen) zugeschrieben. Die Umsetzung notwendiger Maßnahmen liegt vielfach im Verantwortungsbereich der Kunden bzw. über Wärmenetzbetreiber (noch) kaum unmittelbaren Einfluss auf die Kunden aus. Daher sind Methoden gefordert um den Kunden Anreize zur Einhaltung von niedrigen Rücklauftemperaturen anzubieten. Dabei sollte die Eigenmotivation der Kunden gegenüber Zwangsmaßnahmen, und damit verbundener höherer Akzeptanz, im Vordergrund stehen. Dazu müssen Vorteile von reduzierten Rücklauftemperaturen, die in erster Linie den Wärmeversorgungsunternehmen dienen, auch weitergegeben werden, um eine Win-win-Situation zu schaffen.

Hohe Rücklauftemperaturen können vielfältige Ursachen haben. Im Folgenden wird ein Überblick über mögliche Gründe für zu hohe Rücklauftemperaturen auf der Sekundärseite, basierend auf den Kategorien „Hausanschlussstation“, „Hausanlage“ und „Trinkwassererwärmungsanlage“, beschrieben. Auf den hydraulischen Abgleich wird dezidiert eingegangen, da er für alle hydraulischen Anlagen durchgeführt werden sollte und ihm somit eine besondere Gewichtung zufällt.

Im Zuge des gegenständlichen Projektes wurden Informationen aus Literaturrecherchen, Projektergebnissen, Fachworkshops, Expertenmeinungen und Stakeholder Inputs zusammengetragen und daraus ein Bewertungskatalog (siehe Anhang bzw. in Abbildung 12 dargestellter Auszug) entwickelt. Die aufgezeigten möglichen Ursachen sollen eine Grundlage bilden, um Fehler in Systemen zu erkennen und um entsprechende Gegenmaßnahmen zu

identifizieren und umsetzen zu können. Die angeführten Ursachen sollen einen Überblick über „typische und häufige“ Fehler auf der Sekundärseite darstellen.

Für weitere detaillierte Hintergrundinformationen werden auf die vom AGFW organisierten Seminare "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauftemperaturen" sowie auf den, im Rahmen des Projektes STRATEGO durchgeführten, Praxisworkshop „Bedeutung der Sekundärseite zur Reduktion von Wärmeverlusten“ im Jahr 2016 als auch auf die angeführten Quellenangaben im Dokument verwiesen. Weiterführende Informationen zu hydraulischen Schaltungen und zur Optimierung von Heizungsanlagen sind in Planungshilfen von diversen Herstellern, unter anderem in [6], [7], [8] und [9], zu finden.

Kategorie	Fehlerquelle	Problem / Auswirkung	Mögliche Maßnahme	Fehlerortung	Aufwand	...
 Hausanschlussstation	Falsche Lage des Wärmeübertragers	Bei horizontaler Lage Anschlüsse oben: Schmutzpartikel setzen sich ab; Anschlüsse unten: Luft sammelt sich	Plattenwärmetauscher immer senkrecht montieren	Sichtkontrolle	Mittel - Hoch	
	Regelung	Überfahren der primärseitigen Fahrkurve kann instabiles Reglerverhalten in der Hausanschlussstation bewirken	Anpassen der Fahrkurve laut Herstellerangaben und Adaptierung nach durchgeführtem hydraulischem Abgleich	häufiges Takten von Anlagenkomponenten	Niedrig	
 Hausanlage	Fehlender hydraulischer Abgleich	Über- bzw. Unterversorgung von Heizflächen; Komforteinbußen "Wohnraumklima"; erhöhte Heiz- und Pumpstromkosten	Hydraulischen Abgleich durchführen	Ungleiche Wärmeverteilungen in den einzelnen Räumen; störende Betriebsgeräusche an Heizkörpern; "Diskomfort"	Niedrig	
	Nutzerverhalten	falsches Lüften; verstellen der Heizkörper durch Möbel; falsche Benützung der Heizkörper (ein Heizkörper zum Heizen für die ganze Wohnung); etc.	Stoßlüften statt Fenster dauerhaft gekippt; auf freistehende Heizkörper achten; Nutzen aller Heizkörper in jedem Raum und Verwendung der Thermostatventile	Aufklärungsmaßnahmen und Bewusstseinsbildung bei den Nutzern	Niedrig - Mittel	
 Trinkwassererwärmungsanlage	Anlage / System selbst	niedrige RLT nur möglich, wenn sich das Heizungswasser an der Sekundärseite abkühlen kann	Wassermengen kontrollieren → Einregulieren der Verbraucher; Fühlerpositionen optimieren; drehzahleregelte Pumpen	Anlageninspektion / Überprüfen der hydr. Schemata	Niedrig - Hoch	
	Zirkulationssystem	Speicherlose Durchflusssysteme liefern in zapffreier Zeit systembedingt RLT über der minimal erforderlichen Zirkulations-RLT von 55 °C	stufenweise / kaskadische TW-Erwärmung; Einsatz von Speicher (Zwischenspeicherung der Restwärme möglich)	Anlageninspektion / Überprüfen der hydr. Schemata	Niedrig - Hoch	
...						

Abbildung 12: Auszug aus dem entwickelten Bewertungskatalog zu hohen Rücklauftemperaturen in Wärmenetzen¹

3.6.1 Hausanschlussstation

Hausstationen stellen das Bindeglied zwischen einem Wärmenetz und einer Hausanlage (siehe Abbildung 13) dar. Sie bestehen aus der Übergabestation (meist Eigentum des Wärmelieferanten) und der Hauszentrale (meist Eigentum des Kunden). Die Übergabestation übernimmt die Funktion der vertragsmäßigen Wärmeübergabe hinsichtlich Temperatur und Druck. In der Hauszentrale wird die Wärmelieferung an die jeweiligen thermischen und hydraulischen Anforderungen der Hausanlage angepasst. Übergabestationen und Hauszentrale können baulich getrennt oder in einer Einheit zusammengefasst sein [10].

¹ Im eigentlichen Bewertungskatalog werden noch weitere Abschätzungen zu Kosten, Einsparungspotenzial, etc. sowie detailliertere Fehlerquellen aufgelistet. Diese können aufgrund des Umfangs an dieser Stelle nicht sinnvoll dargestellt werden. Weitere Informationen sind auf Anfrage erhältlich bzw. im Anhang ersichtlich.

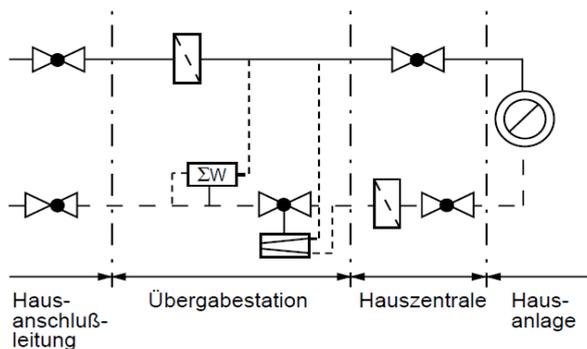


Abbildung 13: Schematische Darstellung eines (direkten) Hausanschlusses [10]

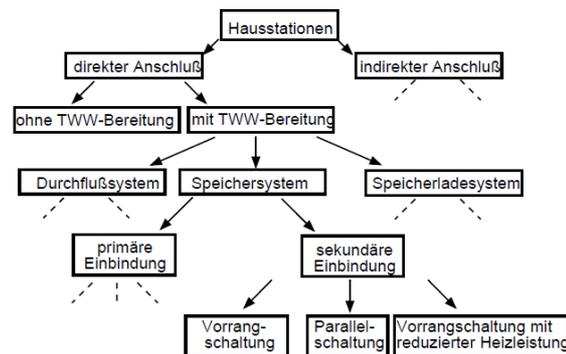


Abbildung 14: Übersicht verschiedener Ausführungsmöglichkeiten von Hausstationen [10]

Bei der Anbindung von Kundenanlagen an ein Wärmenetz wird zwischen direkter und indirekter Anbindung unterschieden (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Zur Erreichung niedrigerer Systemtemperaturen wäre prinzipiell eine direkte Anbindung anzustreben. Laut [11] ist bei der direkten Wärmeübergabe, durch Wegfall von Grädigkeiten von Wärmeübertragern, mit einer um 3 – 5 K niedrigerer Rücklauftemperatur gegenüber der indirekten Wärmeübergabe zu rechnen. Allerdings wird in der Regel die indirekte Anbindung (getrennte Kreisläufe) bevorzugt. Vor allem die Unabhängigkeit von den Druckverhältnissen und der Wasserbeschaffenheit im Netz sprechen für diese Form der Anbindung [10].

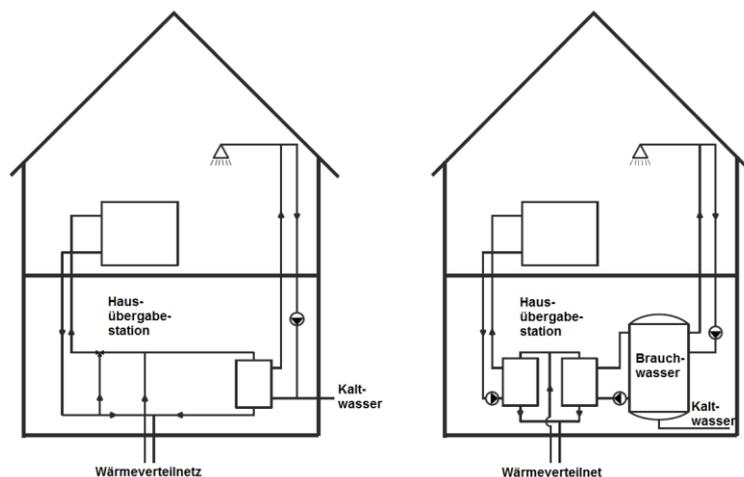


Abbildung 15: Unterschiedliche Anbindungsvarianten (Darstellung adaptiert nach [12]): links - direkte Heizungseinbindung mit Brauchwassererwärmung im Durchflussverfahren; rechts - indirekte Heizungseinbindung mit Speicherladesystem

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen (Quellen: [6], [10], [13], [14])

- Wärmeübertrager
 - Falscher Anschluss (Gleichstrom statt Gegenstrom)
 - Ablagerungen (Fouling-Widerstand)
 - Falsche Lage (horizontal statt senkrecht)
- Undichte Kurzschlussleitungen zwischen Vor- und Rücklauf (Bypass)

- Ventile: falsche Dimensionierung bzw. Auswahl (Absperr- statt Regelventil); schlechter Ventilabschluss (durchströmen ohne Anforderung) durch Leckagen und andere Defekte
- Regelung
 - fehlende Regelgüte der eingebauten Regler (schwingende Regler) oder defekte Regelventile
 - Temperatursensoren fehlerhaft oder falsch platziert
 - zu hohe sekundärseitige Sollwerte eingestellt
 - Fehleinstellungen von Regelmöglichkeiten der Anlage (Absenkungen, Heizzeiten, ...)
- Ineffektive bzw. fehlerhaft eingestellte witterungsgeführte Regelung bzw. der sekundärseitigen Fahrkurve (Heizkurve an Außentemperatur anpassen; richtige Situierung des Außenfühlers)
- Überfahren der primärseitigen Fahrkurve kann instabiles Reglerverhalten in der Hausanschlussstation bewirken

3.6.2 Hausanlage

Die Wahl der richtigen hydraulischen Schaltung ist in der Projektierung gebäudetechnischer Anlagen ein entscheidendes Kriterium zur Erreichung niedriger Rücklauftemperaturen. Hydraulische Schaltungen sind so zu wählen, dass in keinem Betriebsfall Vorlaufwasser unabgekühlt in den Rücklauf strömen kann. Es gilt daher offenkundige Kurzschlüsse, differenzdruckarme Verteiler und hydraulische Weichen² zu vermeiden. Zusätzlich müssen versteckte Überströmungen sowie Leckraten bei Mischern und Ventilen in allen Anlagen beachtet werden. Nur durch die Wahl von geeigneten hydraulischen Schaltungen können in der Nah- und Fernwärme, Brennwerttechnologie und Wärmepumpentechnik niedrige Rücklauftemperaturen erzielt werden [15]. Beispielsweise verursachen Umlenk- oder Verteilschaltungen sowie Einspritzschaltungen mit 3-Wegeventil hohe Rücklauftemperaturen und sind somit nicht für solche Systeme geeignet [16]. Fehler im Anlagenbau werden auch als systemische Fehler bezeichnet.

Die Auswirkung eines fehlenden hydraulischen Abgleiches auf die Rücklauftemperatur ist im Allgemeinen schwer zu beurteilen, da die Netzstruktur des Hausnetzes und die Voreinstellung der Regelventile von Bedeutung sind. In einer Studie der TU Dresden wird angeführt, dass die Rücklauftemperatur während der Heizperiode durchschnittlich bis zu 4 K höher (je nach Systembetrachtung), als eine hydraulisch abgeglichene Anlage sein kann [6]. Da der

² Exkurs zur hydraulischen Weiche: Eine hydraulische Weiche ist ein Behälter mit je zwei Anschlüssen pro Volumenstrom, wodurch unterschiedlich große Volumenströme verknüpft werden können. Bei Kesselanlagen mit geringem Wasserinhalt werden sie eingesetzt um ein häufiges „Brenner-Takten“ zu verhindern. Ist der Volumenstrom des Primärkreises größer als der des Sekundärkreises, so steigt die Rücklauftemperatur an. Aus diesem Grund sind hydraulische Weichen beim Fernwärmeanschluss zu entfernen. Sollte dies aufgrund von hydraulischen Verhältnissen der Sekundärseite nicht möglich sein, so ist zumindest ein Umbau zum Pufferspeicher erforderlich.

hydraulische Abgleich einen wesentlichen Einfluss auf die Rücklauftemperatur hat, wird im Kapitel 3.7 näher darauf eingegangen.

Zufällige Fehler sind sehr fallspezifisch und daher schwer bzw. von der Ferne kaum diagnostizierbar. Solche Ursachen werden „zufällige Fehler“ genannt, da ihre Ursachen und deren Wirkung nicht unmittelbar investigativ nachweis- bzw. bewertbar sind und meist nur durch Zufall bei Anlageninspektionen aufgedeckt werden. Ein Beispiel für einen solchen zufälligen Fehler kann eine falsche Parametrierung (Soll- und Grenzwerten) sein. So kann es vorkommen, dass bei Neubauten Heizungen vor Fertigstellung des Baus auf andere Parameter (z.B. Baustellenbetrieb wie „Ausheizen“ des Estrichs) eingestellt werden, die aber für einen funktionstüchtigen Betrieb nach Fertigstellung nicht geeignet sind. Oftmals wird nach Fertigstellung des Baus darauf vergessen, die Parametereinstellungen anzupassen. Sind die technischen Anlagen korrekt geplant und richtig ausgeführt, so bleibt nach betriebsbereiter Fertigstellung eine unberechenbare und schwer kontrollierbare Variable übrig: das Nutzerverhalten.

Typisches Nutzerfehlerverhalten sind falsches Lüften (Fenster gekippt; Thermostatventil aufgedreht), verstellen der Heizkörper mit Möbeln, falsche Anwendung der Heizkörper und Thermostatventile (ein Heizkörper wird zum Beheizen der ganzen Wohnung benutzt, statt Nutzung der Heizkörper in den jeweiligen Räumen), usw.

Der Einfluss des Nutzerverhaltens ist jedoch schwer bewertbar. Um jedoch einen Eindruck von den Auswirkungen individueller Nutzergewohnheiten auf die Rücklauftemperatur zu gewinnen, wurden im Projekt „LowEx Fernwärme: Multilevel District Heating“ Jahresgebäudesimulationen (Heizperiode) auf Basis von Testreferenzjahren mit vorgegebenem Nutzerverhalten durchgeführt. Das Nutzerverhalten wurde durch Störfunktionen charakterisiert. Die Resultate wurden mit der Simulation bei Norminnentemperaturen verglichen. Die Simulationen zeigen, dass je nach Gebäudestandard und simuliertem Nutzerverhalten (unterschiedliche Störfunktionen), die mittleren Rücklauftemperaturen zwischen 2,3 K und 7,6 K höher gegenüber dem idealen Nutzer liegen. Für detailliertere Beschreibungen und Simulationsannahmen wird an dieser Stelle auf die Projektergebnisse der Studie verwiesen [4] & [6].

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen (Quellen: [6], [9], [10], [13], [14], [17], [18], [19], [20])

- Mangelhafter hydraulischer Abgleich und mangelhafte regelungstechnische Einregulierung (insbesondere der jeweiligen Verbraucher)
- Nutzerverhalten (falsches Lüften, falsche Benützung der Heizkörper, ...)
- Falsche Anwendung der Regelung (z.B. Schalter auf „Manuell“ statt auf „Auto“)
- Fehler in der Anlagenplanung bzw. Ausführung (Art der Hausanlage)
- Überflüssige / Fehlerhafte Bypässe und Überströmventile
- Fehlzirkulation über abgeschaltete Regelgruppen
- Hydraulische Weichen bzw. differenzdruckarme Verteiler (diese sollten umgehend ersetzt werden)
- Einspritz-Unterverteiler mit 3-Wegeventilen oder –hähnen

- 4-Wegeventile (stellen im Prinzip Wärmeübertrager dar)
- Wassererwärmer mit innenliegendem Wärmeübertrager
- Nicht einregulierte Einrohr-Ringe
- Schnellaufheizung im intermittierenden Betrieb
- Lüftungsanlage (Heizmittel fließt obwohl der Lüfter ausgeschaltet ist; d.h. der Vorlauf fließt ohne Abkühlung in den Rücklauf)

3.6.3 Trinkwassererwärmungsanlage

Für die Aufbereitung von Trinkwasser wird zwischen den drei Systemen Durchfluss-, Speicherlade- und Speichersystem unterschieden. Bei kleinen Leistungen werden vorwiegend Durchfluss- sowie Speichersysteme und bei größeren Leistungen hauptsächlich Speicherladesysteme verwendet. Die drei Systeme sind in Abbildung 16 schematisch dargestellt [10]. Um Trinkwasser vor mikrobieller Belastung durch Legionellen oder Pseudomonaden zu schützen, gibt es spezielle Richtlinien für zentrale Warmwasser-Versorgungsanlagen. In Österreich definieren die ÖNORMEN B 5019 und EN 806 Hygiene-Standards bei Planung, Ausführung und Betrieb solcher Trinkwassererwärmungsanlagen. Die Ausführungen in der ÖNORM B 5019 gelten besonders für Kranken- und Kuranstalten, Pflegeeinrichtungen, Badeeinrichtungen, Beherbergungsbetriebe, Gemeinschaftseinrichtung, sowie öffentliche Gebäude. Nicht behandelt werden Trinkwassererwärmungsanlagen (TWE-Anlagen), welche nur eine Wohnung versorgen (z.B. Durchlauferhitzer, Fernwärmespeicher) oder TWE-Anlagen in Ein- oder Zweifamilienhäusern. Eine zentrale TWE-Anlage im Sinne dieser ÖNORM, versorgt mehrere, örtlich getrennte Warmwasser-Entnahmestellen, wobei die Länge der Leitung von der Abzweigung der Zirkulationsleitung zur am weitest entfernten Entnahmestelle 6 m nicht überschreiten darf. Für die Dimensionierung der TW-Installation gelten ÖNORM B 2531-1 [4] und ÖNORM EN 806-3 [5]. Für die Zirkulationsleitung gilt die DVGW W 553 [6]. Des Weiteren ist hier auch noch die DVGW W551 zu erwähnen, die ebenfalls Regeln für die Trinkwassererwärmung („3-Liter-Regel“) definiert [7].

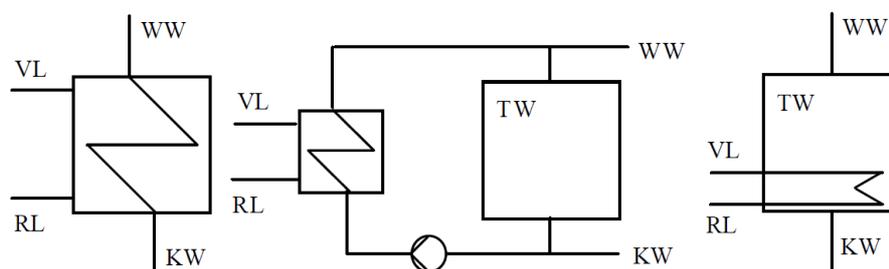


Abbildung 16: Schaltungsvarianten der Trinkwassererwärmung [10]: links – Durchflusssystem; mittig: Speicherladesystem; rechts: Speichersystem

Zu beachten ist, dass bei Hausübergabestationen mit Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip die Netztemperatur ganzjährig auf hohem Temperaturniveau (65 – 70 °C) zur Verfügung gestellt werden muss. Speicherladesysteme lassen auch einen intermittierenden Betrieb zu, bei denen der Speicher in bestimmten Zeitperioden geladen

und die Netztemperatur nur in dieser Zeit erhöht wird. Bei der Trinkwassererwärmung sind die jeweiligen Verordnungen zur Vermeidung von Trinkwasser zu beachten. Dabei sind gewisse Mindesttemperaturen ($> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) im Trinkwasserkreis gefordert. Diese Anforderungen stellen Hürden bei der Nutzung von Niedertemperaturnetzen dar. An dieser Stelle wird auf das Projekt „NextGenerationHeat“ verwiesen, indem Varianten von hydraulischen Schaltungen, zur abnehmerseitigen Einbindung für Niedertemperaturnetze, entwickelt wurden. Hierzu wurde ein Entscheidungsbaum lt. Abbildung 17 ausgearbeitet. Die Aufteilung erfolgt zunächst nach dem Temperaturniveau ($>50\text{ }^{\circ}\text{C}$, TWW Bereitung mit Frischwassermodul möglich) und danach nach der Art der Trinkwarmwasseraufbereitung [5].

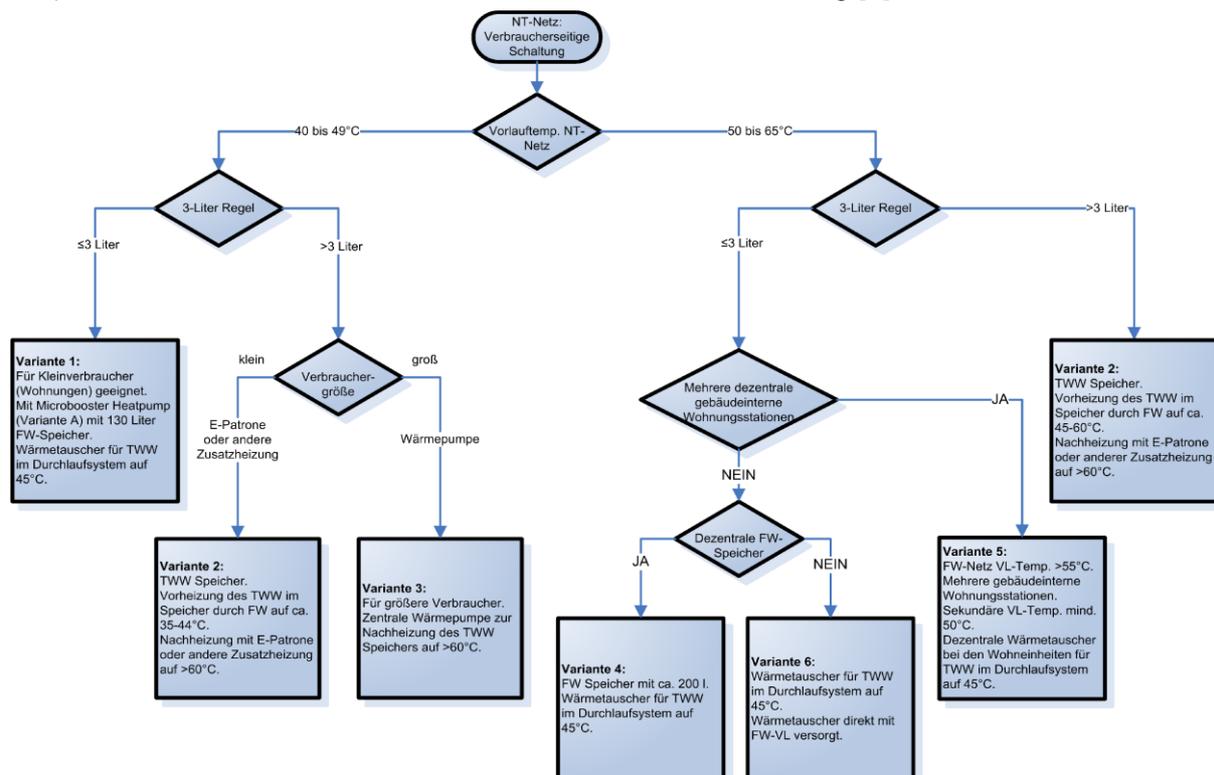


Abbildung 17: Entscheidungsbaum der entwickelten verbraucherseitigen Schaltungen [5]

3.6.3.1 Durchflusssystem

Beim Durchflusssystem wird das Trinkwasser zum Bedarfszeitpunkt mittels Wärmeübertrager erwärmt. Vorteile sind die hygienisch gute Trinkwasserbereitung, geringer Platzbedarf, geringe Investitionskosten und gute Auskühlung des Heizwassers. Nachteilig wirken sich die benötigten relativ hohen Leistungen, sowie der höhere Aufwand für gute Regelung (Warmwassertemperatur ist abhängig von der Zapfmenge) aus [10].

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen (Quellen: [6], [10], [13])

- Geringe Wärmeübertragungsfläche (thermische Strecke)
- Falscher Anschluss der Wärmeübertrager (Gleichstrom statt Gegenstrom)
- einstufiges Durchflussprinzip (zu empfehlen ist eine zweistufige Erwärmung)

3.6.3.2 Speicher- und Speicherladesystem

Vorteile von Speicherwassersystemen sind die relativ kleinen benötigten Heizleistungen, wobei die Entnahme von großen Mengen in kurzer Zeit möglich ist. Belastungsspitzen können durch gespeicherte Reserven gepuffert werden. Nachteilig wirken sich der größere Platzbedarf, höhere Mehrkosten sowie eine schlechtere Auskühlung des Fernheizwassers, insbesondere gegen Ende des Ladevorganges, wo die Fernwärmerücklaufemperatur bis auf die Speichertemperatur angehoben wird, aus. Weitere Nachteile resultieren in hygienischen Problemen mit Legionellenbildung, Kalkablagerungen und Korrosionsanfälligkeit (Stichwort Opferanode) [10].

Speicherladesysteme stellen eine Kombination der beiden zuvor beschriebenen Systeme dar. Sie bestehen aus einer Zusammenschaltung einer Durchfluss-Trinkwassererwärmung, eines Speichers mit Regelschaltung und Ladepumpe. Während der Wärmeübertrager den durchschnittlichen Trinkwarmwasserbedarf deckt, werden Verbrauchsspitzen durch den Speicher ausgeglichen. Das Zusammenspiel von Wärmeübertrager und Speicher erfordert eine optimale Auslegung und erhöhten regelungstechnischen Mehraufwand gegenüber dem Durchflusssystem [10].

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen (Quellen: [6], [10], [13], [14], [20])

- Geringe Wärmeübertragungsfläche (thermische Strecke)
- Falscher Anschluss der Wärmeübertrager (Gleichstrom statt Gegenstrom)
- Starke Vermischung bei Speichersystemen (z.B. durch Einbindung des Zirkulationsrücklaufes und hohen Zirkulationsvolumenstrom)
- Einfaches Speichersystem (besser ist Speicher-Ladesystem bzw. mehrstufige Erwärmung)
- Wärmeverluste an Speicheroberfläche und Anschlussleitungen (Gegenstromzirkulation) führt zu häufigem Speichernachwärmen auf Solltemperatur, obwohl der Speicher kaum entladen ist

3.6.3.3 Zirkulationssystem

Zirkulationsleitungen sind ein wichtiger Bestandteil einer Trinkwassererwärmungsanlage, zur Sicherstellung der Hygiene. Zirkulationssysteme (Leitungen, Regelarmaturen, Zirkulationspumpe) sind in Trinkwarmwasseranlagen (außer „Kleinanlagen“) einzubauen, um die, für die Bekämpfung von schädlichen Mikroorganismen, benötigte Soll-Wassertemperatur von 60 °C im Leitungssystem (einschließlich Auslaufarmaturen) einzuhalten.

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen (Quellen: [6], [10], [13])

- Unzureichende Wärmedämmung der Rohrleitungen
- Ungenügender bzw. fehlender hydraulischer Abgleich im Zirkulationssystem

- Einsatz von P-Reglern, die auf erhöhte Vorlauftemperaturen mit dem Anstieg der Trinkwarmwassertemperatur und damit der Rücklaufemperatur reagieren und einen zu großen P-Bereich haben

3.7 Hydraulischer Abgleich

Der hydraulische Abgleich gilt als wesentliche Maßnahme zur Effizienzoptimierung von Heizsystemen. Ein fehlender oder unzureichend durchgeführter hydraulischer Abgleich bei Bau, Erweiterung oder Sanierung von Gebäuden bzw. bei einer Änderung des Heizsystems ist eine weitere Hauptursache für hohe Rücklaufemperaturen. Laut einer deutschen Studie (Projekt OPTIMUS) [21] kann durch den hydraulischen Abgleich von Heizungssystemen bis zu 10 % des Heizwärmeverbrauches eingespart werden. Obwohl die ÖNORM EN 14336 [22] einen hydraulischen Abgleich bei der Installation und Abnahme von Warmwasserheizungsanlagen vorschreibt, sind Erfahrungsgemäß bis zu 95% aller Gebäude in Österreich und Deutschland nicht richtig hydraulisch abgeglichen. Wesentliche Ursachen hierfür sind neben dem oftmals fehlenden Bewusstsein der Installateure die nicht durchgeführten Kontrollen. Dementsprechend werden hohe Effizienzpotentiale durch einen hydraulischen Abgleich erwartet.

3.7.1.1 Prinzipielle Beschreibung des hydraulischen Abgleichs

Der hydraulische Abgleich beschreibt ein Verfahren, mit dem innerhalb einer Heizungsanlage jeder Heizkörper oder Heizkreis einer Flächenheizung auf einen bestimmten Durchfluss eingestellt wird. Damit kann erreicht werden, dass jeder Raum genau mit der Wärmemenge versorgt wird, die benötigt wird, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen und der Rücklauf jedes Heizkörpers die gleiche Temperatur aufweist. Dabei werden die vielen unterschiedlichen hydraulischen Widerstände in der gesamten Anlage, zur richtigen Versorgung aller Heizflächen, abgeglichen. Hierfür gibt es je nach Anbieter unterschiedliche Methoden. Bei einer davon erfolgt der Abgleich durch die gleichzeitige Messung der Vor- und Rücklaufemperatur von jedem Heizkörper bei konstanter Vorlaufemperatur im Strang. Danach werden die korrekten Einstellwerte für jeden Heizkörper errechnet und dementsprechend eingestellt [23]. Eine vereinfachte Möglichkeit besteht darin, mittels Drehscheiben (Berechnungshilfen [24]) für die jeweiligen Thermostatventile, an den Heizkörpern die optimale Voreinstellung zu ermitteln. Überdies gibt es diverse Softwareprogramme unterschiedlicher Hersteller zur Rohrnetzrechnung sowie eine Vielzahl an Unternehmen, die Dienstleistungen hierfür anbieten. In [22] (Anhang G) werden weitere Methoden detaillierter beschrieben. Alle Methoden zielen auf die Optimierung der hydraulischen Widerstände im Heizungssystem ab. In nicht abgeglichenen Systemen werden die einzelnen Heizkörper nicht mit dem jeweils benötigten Massenstrom versorgt. Dies ist in Abbildung 18 schematisch dargestellt – die Temperaturen sind lediglich als Richtwerte anzusehen. Heizkörper die näher am Verteilpunkt liegen, werden stärker durchströmt als weiter entfernte. In der Folge überhitzen die näher am

Verteilungspunkt gelegenen Räume, während die entfernteren Räume auskühlen, da nicht genügend warmes Heizungswasser zu diesen Räumen gelangt. Um diese Räume dennoch ausreichend mit Wärme zu versorgen, werden in vielen Fällen die Heizkurve des Systems sowie die Leistung der Umwälzpumpe erhöht. Eine falsche Lösung – denn dadurch werden die Probleme der Überhitzung einzelner Räume und der erhöhten Rücklauftemperaturen weiter verstärkt, was zu unnötig hohen Systemtemperaturen und erhöhtem Energiebedarf führt. Zielführende Lösung ist die hydraulische Einregulierung des Heizungssystems. Damit sollen definierte Wärmeverteilungen zwischen den einzelnen Räumen eingehalten, Unterversorgungen vermieden und niedrige Rücklauftemperaturen erreicht werden.

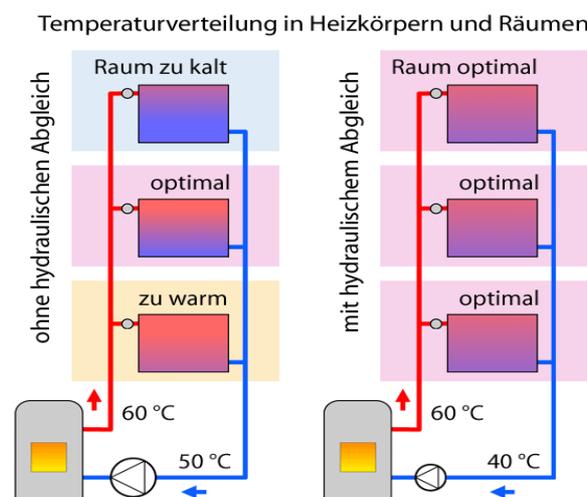


Abbildung 18: Prinzipielle Darstellung zur Notwendigkeit des hydraulischen Abgleiches³ (die reduzierte Rücklauftemperatur dient lediglich zur beispielhaften Erläuterung des Optimierungspotenzials)

[25]

3.7.1.2 Allgemeine Einsparungsabschätzungen anhand von Verlustfaktoren

In [26] werden mögliche Energieeinsparungspotenzial anhand von verschiedenen Temperaturniveaus erläutert. Mithilfe von Verlustfaktoren (gemäß VDI 3808) laut Tabelle 3 können allgemeine theoretische Energieverbrauchsänderungen abgeschätzt werden.

Dem hydraulischen Abgleich wird ein Energieeinsparpotential von ca. 5 – 15 %, bezogen auf die gesamte Wärmeerzeugungs- und –Verteilungsanlage, unter Berücksichtigung der angeführten Verlustfaktoren, zugeschrieben [26].

³ Anmerkung: Wenn kein hydraulischer Abgleich vorhanden ist, dann bedeutet dies nicht unmittelbar Energieverluste, sondern vielmehr ungleichmäßige Wärmeverteilungen, Komforteinbußen und erhöhte Rücklauftemperaturen. Die Verluste ergeben sich zumeist erst dann, wenn Maßnahmen ergriffen werden wie z.B.: stärkere Pumpe wird eingebaut → zusätzliche Überwärmung führt zum Öffnen von Fenstern in überhitzten Räumen.

Tabelle 3: Verlustfaktoren und theoretisch mögliche Energieverbrauchsänderungen (VDI 3808) [26]

Kategorie	Veränderung	Abhängigkeit
Heizwärmebedarf	$\pm 6 \text{ %/K}$	Raumtemperatur
Verteilungsverluste	$\pm 0,15 \text{ %/K}$	Mittlere Heizwassertemperatur im Rohrnetz
Abgasverluste	$\pm 0,06 \text{ %/K}$	Abgastemperatur
Strahlungsverluste	$\pm 0,025 \text{ %/K}$	Kesseltemperatur
Nutzerabhängig	Individuell (z.B. „Fensterregelung“, Nutzung der Heizung, ...)	

3.7.1.3 Ergebnisse aus dem Projekt OPTIMUS

Das Projekt OPTIMUS beschäftigt sich intensiv mit dem hydraulischen Abgleich und Einsparungspotenzialen. Im Zuge des Projektes wurde eine Vielzahl von Gebäuden einem hydraulischen Abgleich unterzogen und die Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf gemessen. Es wurde ein Monitoring an 92 Gebäuden in den Regionen Wilhelmshaven, Bremen, Hannover, Wolfenbüttel, Braunschweig und Wolfsburg über zwei Jahre durchgeführt. Im ersten Jahr wurde der Status quo aller Gebäude aufgezeichnet. Im zweiten Jahr wurde die Situation nach dem hydraulischen Abgleich bei 31 Gebäuden (restliche Gebäude wurden als Referenzwerte im Status quo belassen und weiter vermessen) aufgezeichnet. Die Ergebnisse des Projektes zeigen große Energieeinsparpotentiale auf. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Heizungsanlagenoptimierung, bezogen auf die Heizenergieeinsparung, nach Gebäudetyp dargestellt. Die Optimierung der Heizungsanlage bewirkt im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ bezogen auf die beheizte Fläche [21].

Tabelle 4: Ergebnisse Projektes OPTIMUS⁴. Die Heizenergieeinsparungen repräsentieren die gemittelten Resultate (basierend auf der Heizungsanlagenoptimierung) bezogen auf den untersuchten Gebäudetypen und auf die beheizte Fläche [21].

Gebäudetyp	Heizenergieeinsparung*
EFH	$4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
MFH	$11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Gebäuden mit Kessel	$11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
Gebäuden mit Fernwärmeanschluss	$5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
neuesten Baualtersklasse (ab 1994)	$19 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
mittleren Baualtersklasse (1978 - 1994)	$14 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
ältesten Baualtersklasse (bis 1978)	$1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

⁴ Der Fokus des Projektes OPTIMUS beruhte auf der Identifikation von Energieeinsparungspotenzialen durch hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen. Jedoch konnten bislang keine validen Projekt- bzw. Studienergebnisse recherchiert werden, in denen exakte Temperaturmessungen vor und nach einem hydraulischen Abgleich dokumentiert wurden, um die Auswirkungen eines Abgleichs auf die Temperaturen verschiedener Systeme (Heizsysteme, Gebäudetypen und -klassen, etc.) zu analysieren.

* Unter Heizenergie ist die Energiemenge zu Heizzwecken einschließlich der Wärmerzeugerverluste (Schnittstelle Gebäudegrenze) zu verstehen (siehe [21])

Des Weiteren zeigen die Projektergebnisse, dass die Optimierung den Heizenergieverbrauch von Gebäuden die auf einem baulich hohen Standard sind (neue Baualterklasse bzw. geringer Heizwärmeverbrauch) stärker beeinflusst, als von Gebäuden mit schlechtem Standard. Dies folgt daher, da wegen des guten Baustandards ohnehin eine geringere Wärmeanforderung besteht, führt jedes zusätzlich (ungeregelt) auftretende Wärmepotential in diesem Gebäudetyp sehr schnell zum Mehrverbrauch. In alten Gebäuden bzw. Gebäuden mit ohnehin hohem Verbrauch ist es umgekehrt. Wegen der baulich bedingten hohen Wärmeanforderung können Überschüsse besser genutzt werden und die mangelnde Qualität führt zu geringen Verschwendungspotentialen. Folglich ergeben sich dann auch geringere Einsparpotentiale [21].

Im Folgenden werden mögliche Auswirkungen eines fehlenden hydraulischen Abgleiches beschrieben und wie ein solch fehlender identifiziert werden kann. Im Anschluss werden Maßnahmenvorschläge aufgezählt.

Mögliche Fehlerquellen / -ursachen

- Keine bzw. unzureichende Rohrnetz- / Heizlastberechnung
- Hydraulischer Abgleich nicht durchgeführt (obwohl es zumeist in Übernahmeprotokollen verlangt wird; daher Bewusstsein für Notwendigkeit seitens Abnehmer und Installateure stärken)
- Fehlende (apparativen) Möglichkeiten in der Anlage (wie z.B. Thermostat- und Strangreguliertventile, drehzahlgeregelte Pumpen, etc.)

Wirkung / vorkommende Mängel

- **Ungleiche Wärmeabgabe (Fühler)**
Der Durchfluss bestimmt wesentlich die Wärmeabgabe an Heizflächen. Wenn die Durchflüsse nicht stimmen, kommt es stellenweise zur Überwärmung, während anderswo eine Unterversorgung herrscht. Fälschlicherweise wird zur Behebung der Unterversorgung die Vorlauftemperatur bzw. der Durchfluss (stärkere Pumpe) erhöht. Dadurch kommt es zu einer weiteren Überwärmung in den ohnehin bereits warmen Räumen, wodurch das typische Nutzerverhalten, Öffnen der Fenster, resultiert. Das bedeutet, dass der hydraulische Abgleich sowohl Energie spart als auch einen Beitrag zur Behaglichkeit liefern kann [27].
- **Geräuschprobleme**
Bauteile wie Thermostatventile weisen enge Querschnitte und damit verbundene relativ hohe Durchflussgeschwindigkeiten auf. Bei zu hohen Durchflüssen, kann ein „Rauschen“ bzw. „Pfeifen“ wahrzunehmen sein. Gründe hierfür können überdimensionierte Pumpen und/oder ein fehlender hydraulischer Abgleich sein [27].
- **Zu hohe Rücklauftemperatur**

Bei der Wahl der hydraulischen Schaltung gilt es zu vermeiden, dass warmes Vorlaufwasser in den Rücklauf gelangen kann. Zentrales Drosseln könnte zwar die geforderte (hohe) Temperaturdifferenz ermöglichen, jedoch besteht dabei die Gefahr, dass entferntere Anlagenteile „absterben“. Der Abgleich muss somit für alle Anlagenteile durchgeführt werden um niedrige Temperaturen zu erreichen, welche sich unmittelbar auf das gesamte System auswirken (z.B. Kondensationsbetrieb, nutzbare Speicherkapazitäten, ...) [27].

- **Mess- und regeltechnische Probleme**

Überdimensionierte Regelventile arbeiten nur in einem kleinen Teilbereich ihres Maximalhubes, wodurch das Regelverhalten negativ beeinflusst wird. Bei richtiger Ventildimensionierung ist die einwandfreie Funktion eine Sache des Durchflusses [27].

Thermostatventile ohne hydraulischen Abgleich laufen Gefahr, einen gewünschten Absenkbetrieb zu unterlaufen. Dies liegt daran, dass sie sich im Absenkbetrieb ganz öffnen, da ihr Sollwert von der Raumtemperatur abweicht. Ohne Voreinstellung (an der Rücklaufverschraubung bzw. im Ventil selbst) kann der Durchfluss unter Umständen weit über den gewünschten Maximaldurchfluss ansteigen. Die Messgenauigkeit von Wärmehählern hängt von der Temperaturdifferenz ab. Die Genauigkeit kann im Teillastfall, bei zu hohen Durchflüssen, unzureichend werden [27].

Maßnahmenvorschläge (Quellen: [21], [27], [28], [29])

- **Betriebstechnische Maßnahme**
 - Einregulieren der einzelnen Heizkreise und der einzelnen Verbraucher (Heizkörper). Die erste Stufe des Abgleichs erfolgt durch *Voreinstellungen* nach Planungswerten. Vor allem bei komplexeren Systemen sollte in einer zweiten Stufe ein Abgleich mithilfe von *Messtechnik* durchgeführt werden.
- **Anlagenerüchtigung**
 - Einbau von Strangreguliertventilen und voreinstellbaren Thermostatventilen
- **Neukonzeptionierung** (bedeutet massive Eingriffe)
 - Umbau hydraulisch ungünstiger Schaltungen
- **Neubau und Modernisierung**
 - Wärmebedarfsberechnung (Ermittlung der tatsächlich benötigten Wärmemengen)
 - Rohrnetzdimensionierung (Grundlage zur Dimensionierung von Bauteilen, insbesondere von Massenströmen und Druckverlusten)

Die Effekte durch hydraulisch abgeglichenen Anlagen resultieren in: Reduzierung der Pumpstromkosten, Gleichmäßige Verteilung der Wärme und Senkung der Rücklaufemperatur. Möglichkeiten zur Einregulierung sind unter anderem: voreinstellbare Heizkörperverschraubungen, Strangreguliertventile, TacoSetter, Automatische Durchflussregler, etc.

Da der hydraulische Abgleich eine zentrale Rolle bei der Senkung der Rücklaufemperatur spielt, sollte dieser in den technischen Anschlussbedingungen den Wärmekunden vorgeschrieben werden. In der Studie „NextGenerationHeat“ wurde dazu ein Ablauf zur einfacheren Umsetzung entwickelt, der für Neu- und Altanlagen angewendet werden kann [5].

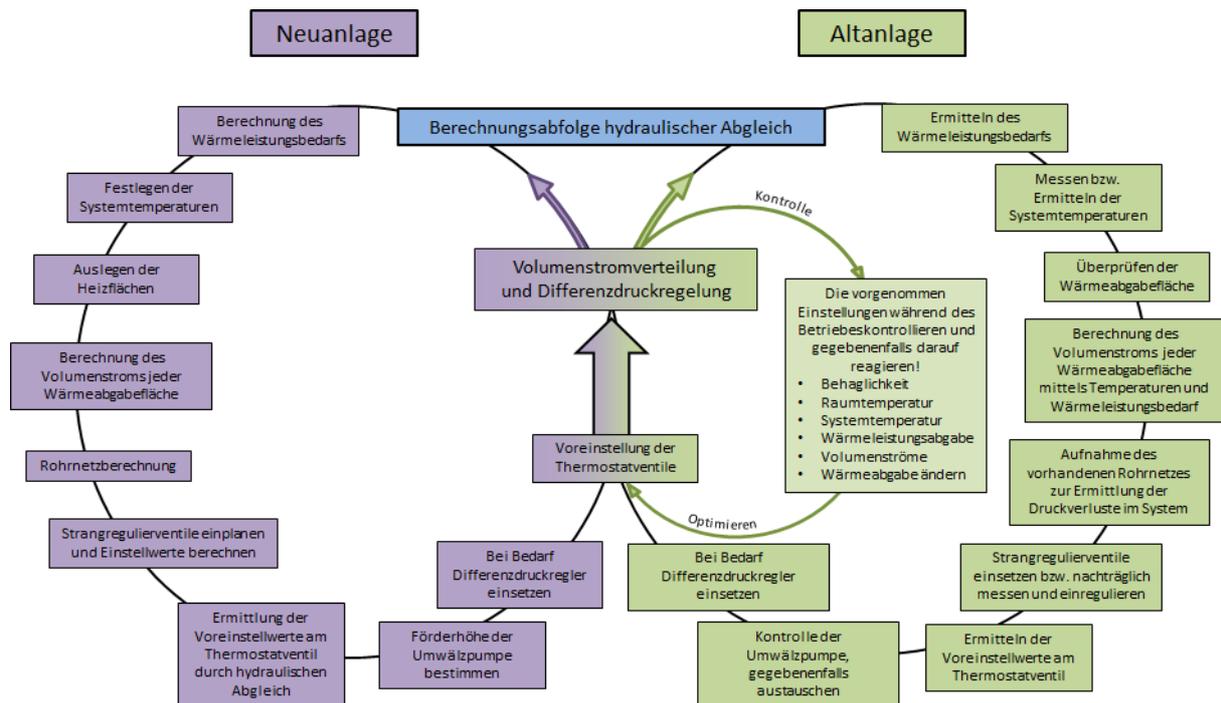


Abbildung 19: Ablauf für einen hydraulischen Abgleich bei Heizkörpern für Neuanlagen bzw. Altanlagen [5]

Kosten der Maßnahmen

Im Zuge des Projektes OPTIMUS wurden Gesamtkosten von hydraulischer Optimierung, für vier definierte Maßnahmenpakete, berechnet. Die Gesamtkosten setzen sich aus Aufwendungen von Vorort-Aufnahme, Berechnungen, Komponenten, Optimierung (Einbau, Einregulierung) sowie Dokumentation zusammen. Die Maßnahmenpakete sind wie folgt definiert:

- Maßnahmenpaket 1: Die vorhandenen Komponenten müssen nur eingestellt werden (kein Komponententausch).
- Maßnahmenpaket 2: Es müssen voreinstellbare Thermostatische Heizkörperventile (THKV) eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 3: Es muss eine neue Pumpe/neuer Differenzdruckregler (DDR) eingebaut werden.
- Maßnahmenpaket 4: Pumpe/DDR und THKV müssen eingebaut werden.

Die detaillierten Kostenannahmen für die verschiedensten Positionen der einzelnen Maßnahmenpakete sind dem Endbericht des Projektes OPTIMUS zu entnehmen. Auf Basis der getroffenen Kostenansätze resultieren die in Abbildung 20 zusammengestellten Kostenfunktionen, je nach Maßnahmenpaket, für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Für ein nach statistischem Jahrbuch typisches deutsches Einfamilienhaus von 130 m² beheizter Fläche schwanken die Werte von 1,8 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 5,5 €/m² für

das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR). Für ein typisches Mehrfamilienhaus mit 450 m² beheizter Fläche ergeben sich Werte von 1,3 €/m² für das Maßnahmenpaket 1 (kein Komponententausch) bis 4,2 €/m² für das Maßnahmenpaket 4 (Einbau von THKV/Pumpe/DDR) [21].

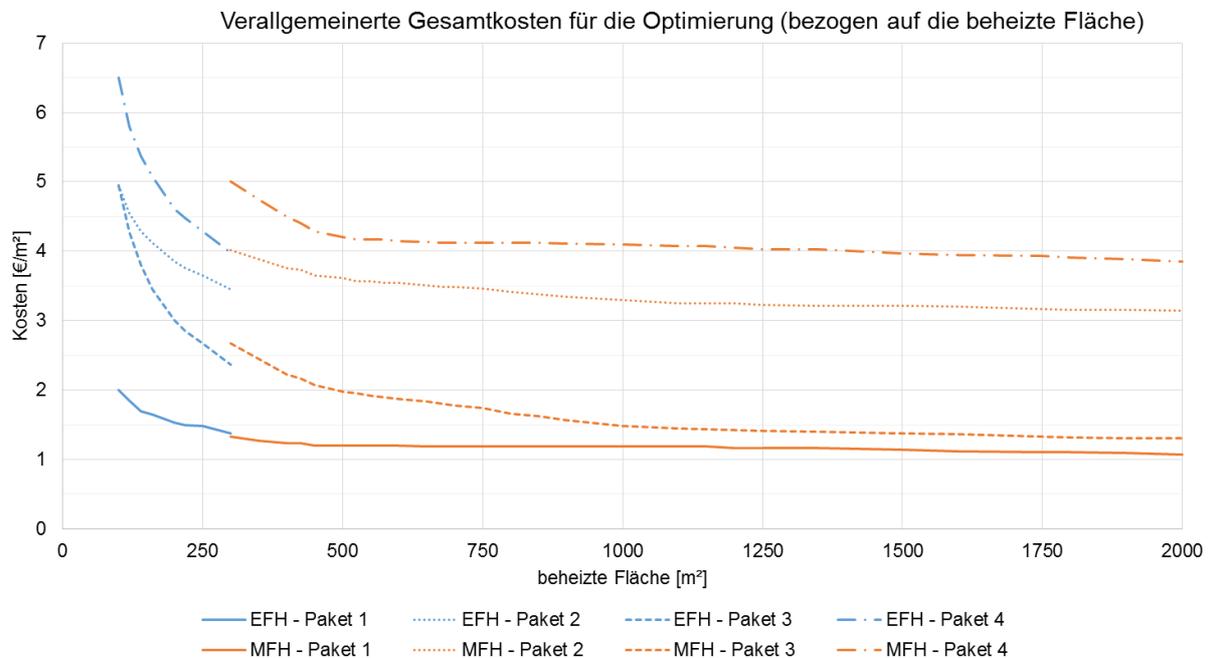


Abbildung 20: Durchschnittskosten für die Optimierung je nach Maßnahmenpaket für EFH und MFH [21]

Mithilfe der verallgemeinerten Gesamtkosten für die Optimierung aus Abbildung 20 und den gemittelten Heizenergieeinsparungen pro Gebäudetyp kann die Wirtschaftlichkeit bzw. die Amortisationszeit pro Betrachtungsfall ermittelt werden. Da dies von mehreren Faktoren (Energiekosten, Preissteigerungen, etc.) abhängt, wird an dieser Stelle auf Wirtschaftlichkeitsbewertungen verzichtet. Allerdings ist zu erwähnen, dass sich alle im Projekt OPTIMUS definierten Szenarien (mit den jeweiligen Annahmen), als wirtschaftlich umsetzbar herausgestellt haben.

Im Bericht wird der zusätzliche Aufwand für Planung und Ausführung einer qualitativ hochwertigen Anlagentechnik im Neubau - gegenüber einem heute üblichen „planungslosen“ Standard - mit 5 bis 8 €/m² als realistisch angesehen. Dabei ergeben sich rund 1,5 €/m² im MFH und 2,0 €/m² im EFH für die Planung und Umsetzung der reinen Optimierung (Heizlastberechnung, Rohrnetzberechnung, Heizflächen-, THKV- und Wärmezeugerauswahl, Einstellung von THKV, Pumpen und ggf. Differenzdruckreglern sowie zentralen Reglern und eine nachvollziehbare Dokumentation), inkl. Qualifizierung des Personals. Die restlichen Kosten werden für höherwertige Komponenten und Dämmungen angesetzt.

Eine hydraulische Planung vermindert die Investitionskosten für Pumpen. Bei Kompaktgeräten für das EFH hat der Planer i.d.R. keinen Einfluss auf die Leistung der integrierten

Pumpe. Geräte, die eine beliebige externe Pumpe zulassen, sind derzeit noch teurer als Normalgeräte. Gleiches gilt für Hocheffizienzpumpen. Die Kosten für die korrekte Planung und Einstellung sind im angegebenen Summenpreis enthalten. Muss ein Differenzdruckregler eingebaut werden, erhöhen sich die Investitionskosten um 0,5 bis 1 €/m² [21].

Optimierungsempfehlung aufgrund von Indikatoren

Laut der OPTIMUS Studie können Erfolgsquoten für die Optimierung, wenn vorab keine weiteren Untersuchungen zum Gebäude sowie zur Anlage und Nutzung getätigt werden, wie folgt angesetzt werden [21]:

- „Bei **Wohngebäuden mit Baujahren vor 1978** ohne weitere bauliche Maßnahmen ist davon auszugehen, dass im Mittel **keine Energieeinsparung** durch die Optimierung erreicht werden kann.“
- „Bei **Gebäuden mit Baujahren nach 1978** sowie bei baulich auf diesen Standard modernisierten Gebäuden ist im Mittel von einer **äquivalenten Energieeinsparung** zwischen **–7 kWh/(m²a) in EFH** und **–14 kWh/(m²a) in MFH** zu rechnen.“

Tabelle 5 veranschaulicht, dass Gebäude der Baujahre ab 1978, auch nachträglich mit Investitionen in Anlagen und Komponenten, uneingeschränkt optimiert werden können. Hingegen sollten aus den Gebäudegruppen mit Baujahren vor 1977 vorwiegend MFH und Gebäude mit Kesseln optimiert werden, da bei diesen die größeren Einsparungen zu erwarten sind. Im jeden Fall sollte eine Optimierung vorgenommen werden, wenn voreinstellbare Komponenten vorhanden sind. Unbedingt sollten Optimierungsmaßnahmen bei anstehenden Anlageninvestitionen bzw. Sanierungen bedacht und umgesetzt werden. Dies gilt vor allem bei Neubau und im Zuge einer bevorstehenden Modernisierung einer Heizungsanlage, denn der Aufwand der Datenerhebung wird nie wieder so gering – bei gleichzeitig verhältnismäßig hohen erreichbaren Energieeinsparungen – sein.

Anzumerken ist, dass überdimensionierte Technik (Pumpen, Heizflächen, Wärmeerzeuger, etc.) nicht als Nachweis für später erreichbare Energieeinsparungen bewertet werden kann [21].

Tabelle 5: Optimierungsempfehlung anhand Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit [21]

	EFH		MFH	
	mit Kessel	mit Fernwärme	mit Kessel	mit Fernwärme
Baujahr bis 1977 – nicht baulich modernisiert	O	O	O	O
Baujahr bis 1977 – größtenteils baulich modernisiert	+	+	++	+
Baujahr 1978 bis 1994	+	+	++	+
Baujahr ab 1995	++	++	++	++

Beschreibung: Die hier klassifizierten Gebäudegruppen sind prädestiniert für eine Optimierung, wobei „++“ als am erfolgversprechendsten gilt. Die Bewertung in der OPTIMUS Studie erfolgte anhand von Energieeinsparung und Wirtschaftlichkeit.

Die Projekt-Studie OPTIMUS befasste sich intensiv mit dem hydraulischen Abgleich und den Auswirkungen auf verschiedenste Gebäudetypen in Deutschland. Eine solch detaillierte und umfassende Studie konnte für Österreich nicht recherchiert werden. Da allerdings die Gegebenheiten als vergleichbar anzusehen sind, können die Ergebnisse der deutschen Studie als belastbare Referenz für österreichische Betrachtungen herangezogen werden.

3.8 Handlungsempfehlung bei der Fehlerdetektion

Um bei der Fehlersuche erfolgreich zu sein benötigt es eine gewisse Systematik. Hohe Rücklauftemperaturen in Hauszentralen und Hausanlagen können auf Fehler in der Anlagenkonfiguration (*systematische Fehler*) sowie auf einen Defekt einzelner Anlagenkomponenten (*zufällige Fehler*) zurückzuführen sein. Zu systematischen Fehlern zählen:

- Falsche / ungeeignete hydraulische Schaltungen bzw. Anlagenaufbau
- ungeeignete Bauteile / Regelorgane

Diese lassen sich oft nur mit erhöhtem Mehraufwand bzw. teilweise nur bei Modernisierung / Sanierung beheben bzw. rechtfertigen. Hingegen lassen sich zufällige Fehler eher einfach und oftmals ohne großen Investitionsbedarf beseitigen. Folgende Fehlerquellen können hierfür vorliegen:

- Fehler / Defekt in der Anlagen- und Regelungstechnik (Versagen von Messeinrichtungen wie z.B. Temperaturfühler entfernt bzw. falsch platziert, Mechanische Arretierung von Stellantrieben, etc.)
- Nutzerfehlerverhalten (Lüften, Verstellen von Heizkörpern, etc.)

Um den jeweiligen Ursachen auf den Grund gehen zu können, ist es wichtig, Zugang zu Kundenanlagen zu haben. Denn im Zuge von Betriebstätigkeiten (Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Entstörung) steigt die Wahrscheinlichkeit, Verursacher zu hoher Rücklauftemperaturen zu erkennen [17].

In Anlehnung an [6] ist in Abbildung 21 ein systemischer Ansatz, zur Identifikation von Kundenanlagen mit erhöhter Rücklauftemperatur und größtem Optimierungspotenzial, dargestellt.

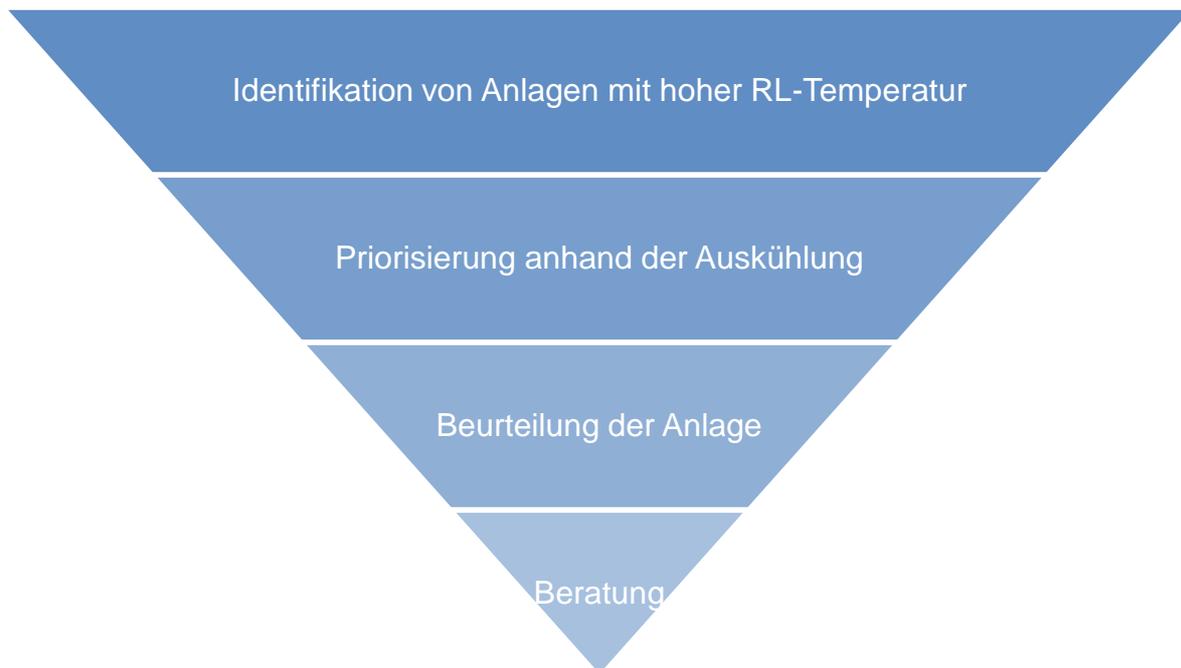


Abbildung 21: Systemischer Ansatz zur Identifikation von fehlerhaften Anlagen mit größtem Optimierungspotenzial [6]

Identifikation und Beurteilung von Kundenanlagen mit erhöhter Rücklauftemperatur

Durch das Auswerten von Wärmemengenzählern ist es Wärmeversorgungsunternehmen (WVUs) möglich, Kundenanlagen mit hohen Rücklauftemperaturen identifizieren. Allerdings müssen die Wärmemengenzähler in der Lage sein, die Temperaturniveaus als auch die Menge (Massenstrom) dezidiert zu erfassen. Ist dies nicht der Fall, gestaltet sich die Identifikation als schwierig, da Temperatur und Wärmemenge meist nur an der Bilanzgrenze Erzeugung / Verteilung bzw. ansonsten nur punktuell in einzelnen Netzabschnitten von den WVUs erfasst werden. Die Auswertung selbst kann im Zuge der turnusmäßigen Zählerwechsel, bzw. bei intelligenten Zählern (sogenannte Smart Heat Meter) durch Fernzugriff kontinuierlich, durchgeführt werden. Werden die benötigten Daten erfasst, besteht die grundsätzliche Möglichkeit Anlagen, durch Ermittlung der mittleren jährlichen Temperaturspreizung / Auskühlung, zu bewerten. Diese kann mit folgender Gleichung berechnet werden [6]:

Formel 1: Berechnung der mittleren jährlichen Auskühlung [6]

$$\Delta T = \frac{Q}{V \times \rho \times c_p}$$

ΔT ... mittlere jährliche Auskühlung [K]

Q ... Jahresarbeit [kJ/a] (1 GWh/a $\hat{=}$ 3.600.000.000 kJ)

V ... jährlich erfasste Wassermenge [m³/a]

ρ ... Dichte Wasser [kg/m³]

c_p ... spez. Wärmespeicherkapazität Wasser [kJ/(kg*K)]

Priorisierung anhand der Auskühlung

Nach Auswertung der Wärmemengenzähler sollte eine Kategorisierung der Kundenanlagen anhand der Jahresarbeit und der mittleren jährlichen Auskühlung erfolgen. Eine Visualisierung der Datenpunkte (Eintragen der einzelnen Anlagen in Abbildung 22) soll dazu beitragen, die Kundenanlagen nach deren Optimierungspotenzial zu priorisieren.

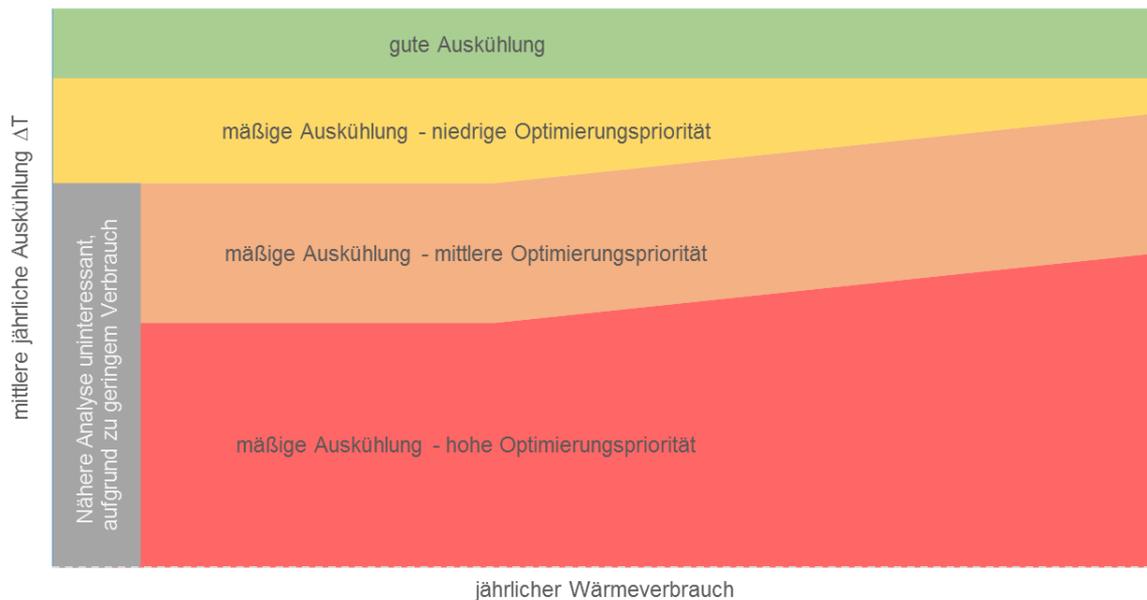


Abbildung 22: Beispielhafte Darstellung (in Anlehnung an [20]) zur Kategorisierung und Priorisierung von Optimierungspotenzialen anhand von ausgewerteten Wärmemengenzählern

Neben der mittleren jährlichen Auskühlung spielen der Massenstrom, die Entfernung zum Einspeisepunkt sowie die Netztopologie eine Rolle. Laut [6] haben Anlagen mit großen Massenströmen bzw. räumlicher Nähe zur Wärmeerzeugung üblicherweise größere Einsparpotenziale und sollten daher vorrangig überprüft werden.

Beurteilung der Anlage

Nach Identifikation und Priorisierung der entsprechenden Anlagen, sind diese hinsichtlich möglicher Ursachen zu hoher Rücklauftemperatur zu überprüfen. Zur Fehlerortung sollte methodisch vorgegangen werden. Zuerst sollte überprüft werden, ob die Anlage ordnungsgemäß funktioniert. Dies kann mithilfe von Checklisten systematisch eruiert werden, wie zum Beispiel:

- 1) Liegen Fehler im Anlagenaufbau vor?
- 2) Sind die richtigen Parameter hinterlegt?
- 3) Welche Werte liefern Temperaturfühler bzw. sind diese plausibel?
- 4) Können Stellsignale auch auf den Regelkreis einwirken?

Wichtig ist, dass die Checklisten von den WVUs, mittels Dokumentenmanagementsystems, auf aktuellem Stand gehalten und entsprechend gepflegt werden. Ein Beispiel hierfür kann sein, dass Auffälligkeiten bei Einsatz einer bestimmten Komponente auftreten. Dies muss entsprechend dokumentiert werden um bei der Fehlerortung von anderen Anlagen effizient

vorgehen zu können. Einen Anhaltspunkt zur Erstellung von Checklisten, bieten die, in diesem Kapitel angeführten, möglichen Ursachen hoher Rücklauftemperaturen (siehe Beschreibungen zuvor bzw. Bewertungskatalog in Abbildung 12).

Beratung

Um niedrige Rücklauftemperaturen zu erzielen, steht es Wärmeversorgungsunternehmen zu, Rücklauftemperaturenbegrenzer bei Übergabestationen vorzusehen und bei Bedarf entsprechend rigoros einzusetzen. Obwohl WVUs berechtigt sind, diese zu verwenden, wird meist auf diese „Kundenerziehungsmaßnahme“ verzichtet. Zum einen bringen sie nur selten den gewünschten Erfolg und zum anderen werden bestehende Begrenzer wieder außer Betrieb genommen, um Kundenbeschwerden zu vermeiden. Ein pragmatischerer Ansatz wäre die Verwendung von intelligenten Rücklauftemperaturenbegrenzern. Beispielsweise könnte der Primärmassenstrom in Abhängigkeit einer definierten Rücklaufgrädigkeit geregelt werden. Das bedeutet, dass bei Annäherung an den Begrenzungswert der Primärmassenstrom gedrosselt wird [6], [20]. Der idealere Weg ist natürlich, wenn die Kundenanlagen die vereinbarten Rücklauftemperaturen einhalten können, ohne dass die Begrenzung aktiv werden muss. Die Prämisse dafür ist richtiger Aufbau und Betrieb der Hausanlagen. Ein Ansprechen bzw. Eingreifen der Rücklauftemperaturenbegrenzung ist Indiz für eine Störung. Im Allgemeinen sollte bei Hauszentralen mit mehreren Heizkreisen ein Rücklauffühler pro Regelkreis installiert werden. Dadurch soll ein Ausfall der Gesamtanlage verhindert und die Ortung von auftretenden Fehlern erleichtert werden [17].

Um ohne den Einsatz von Rücklauftemperaturenbegrenzern niedrige Temperaturen bei haustechnischen Anlagen zu erreichen, sollten WVUs um beratende Unterstützung konsolidiert werden. Dies reicht von Planung und Ausführung (Neubau, Sanierung) bis zur Inbetriebnahme und Anbieten von zusätzlichen Services, wie richtiges Anwenden, für einen optimalen Anlagenbetrieb. Denn eine haustechnische Anlage kann nur dann bestimmungsgemäß funktionieren, wenn Anlagentechnik und Nutzerverhalten aufeinander abgestimmt sind. Um gewünschte niedrige Energieverbräuche und Energieeinsparungen zu erzielen, ist zusätzlich Aufklärungsarbeit bei den Nutzern durchzuführen. Denn Nutzer, die die Grundregeln zum energiesparenden Heizen und Lüften nicht kennen, können mit ihrem (unbewussten) Fehlverhalten den effizienten Betrieb von technischen Anlagen kontraproduktiv beeinflussen. Möglichkeiten zur Aufklärung von Nutzern können:

- Kundeninformationen (z.B. energiesparendes und richtiges Heizen und Lüften)
- Verbraucherhinweise (z.B. Umgang von technischen Komponenten wie Thermostatventilen)
- Einweisungen des Nutzers und des Bedienpersonals in die Anlagentechnik
- Vorträge und Schulungen (Bedienungspersonal)
- Anlagenbegehungen (WVU, Anlagen-/Heizungsbauer, Nutzer)
- Energieberatungen für Kunden und Anlagenbetreiber

sein [18].

Neben den zuvor beschriebenen Tätigkeiten, könnten WVUs ihren Kunden finanzielle Anreize anbieten. Dies könnten neue Tarifsysteme wie „Bonus-Malus“ oder „Pay-per-use“ sein. Die Bemühungen der Kunden zur Einhaltung der vereinbarten Rücklauftemperaturen wären unmittelbar „spürbar“, womit wiederum deren Motivation steigen würde.

4 Literaturverzeichnis

- [1] S. Teubner, „Informationsveranstaltung Fernwärme Grundlagen Rücklaufemperatur,“ SWM Infrsatruktur GmbH, München, 04 Dezember 2013.
- [2] R.-R. Schmidt, D. Basciotti, F. Judex, O. Pol, G. Siegel, T. Brandhuber, N. Dorfinger und D. Reiter, „SmartHeatNetworks - Intelligente Fernwärmenetze,“ Austrian Institute of Technology (AIT) und Salzburg AG, Wien / Salzburg, 2013.
- [3] M. M. Manning, M. C. Swinton, F. Szadkowski, J. Gusdorf und K. Ruest, „The effects of thermostat set-back and set-up on seasonal energy consumption, surface temperatures and recovery times at the CCHT Twin House Facility,“ *ASHRAE Transactions*, Bd. 1, Nr. 113, pp. 1-12, 2007.
- [4] J. Ingersoll und J. Huang, „Heating energy use management in residential buildings by temperature control,“ *Energy and Buildings*, Bd. 1, Nr. Vol. 8, pp. 27-35, 1985.
- [5] T. Beckey und L. W. Nelson, „Field test of energy savings with thermostat setback,“ *ASHRAE Journal*, Bd. 1, p. 67–70, 1981.
- [6] L. Nelson und J. MacArthur, „Energy savings through thermostat setback,“ *ASHRAE Transactions*, Nr. 9, pp. 49-54, 1978.
- [7] J. W. Moon und S.-H. Han, „Thermostat strategies impact on energy consumption in residential buildings,“ *Energy and Buildings*, Bde. %1 von %22-3, Nr. Vol. 43, p. 338–346, 2011.
- [8] C. Haiad, J. Peterson, P. Reeves und J. Hirsch, „Programmable Thermostats Installed into Residential Buildings: Predicting Energy Saving Using Occupant Behavior & Simulation,“ Southern California Edison, Rosemead, 2004.
- [9] R. F. Szydlowski, L. E. Wrench, P. J. O'Neill und J. B. Paton, „Measured Energy Savings from Using Night Temperature Setback,“ Pacific Northwest Laboratory, Richland, 1993.
- [10] M. Köfinger, R.-R. Schmidt, D. Basciotti, K. Eder, W. Bogner, H. Koch und H. Ondra,
] „URBANcascade - Optimierung der Energie-Kaskaden in städtischen Energiesys-temen zur Maximierung der Gesamtsystemeffizienz und des Anteils erneuerbarer Energieträger und Abwärme,“ AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, 2016.
- [11] S. Frederiksen und S. Werner, „District Heating and Cooling,“ Studentlitteratur, Lund,
] 2013.
- [12] R. Wiltshire, *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, Cambridge:
] Elsevier, 2016.
- [13] C. Felsmann, A. Dittmann, W. Richter, K. Rühling, S. Gnüchtel, T. Sander, M. Rhein, A.
] Wirths, S. Robbi, D. Haas, E. Eckstädt, M. Knorr, A. Meinzenbach, S. Groß und R.

- Rothmann, „LowEx Fernwärme: Multilevel District Heating,“ TU Dresden - Institut für Energietechnik, Dresden, 2011.
- [14 M. Köfinger, R.-R. Schmidt, D. Basciotti, S. Hauer, C. Doczekal, A. Giovannini, L. Konstantinoff, M. Hofmann, V. Andreeff, E. Meißner, H. Ondra, P. Teuschel und O. Frühauf, „NextGenerationHeat - Niedertemperaturfernwärme am Beispiel unterschiedlicher Regionen Österreichs mit niedriger Wärmebedarfsdichte,“ Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Wien, 2015.
- [15 A. Wirths, „Einfluss der Netzrücklauf­temperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen,“ in *13. Dresdner Fernwärmekolloquium*, Dresden, 23.-24. September 2008.
- [16 aqotec GmbH, „Ratgeber zur Optimierung der Sekundäranlage beim Fernwärmeabnehmer,“ aqotec GmbH, Weißenkirchen, 2011.
- [17 Wilo-Brain, „Optimierung von Heizungsanlagen - Planungshilfe,“ WILLO SE, Dortmund, 2014.
- [18 F. Palli, „Fernwärme - Einfluss auf hohe RL-Temperaturen,“ in *Praxisworkshop: Bedeutung der Sekundärseite zur Reduktion von Wärmeverlusten*, St. Pölten, 15 September 2016.
- [19 C. Dötsch, J. Taschenberger und I. Schönberg, „Leitfaden Nahwärme,“ Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998.
- [20 S. Teubner, „Trinkwassererwärmung,“ in *AGFW Seminar "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauf­temperaturen"*, Essen, 04 November 2014.
- [21 A. Müller, R. Büchele, L. Kranzl, G. Totschnig, F. Mauthner, R. Heimrath und C. Halmdienst, „Solarenergie und Wärmenetze: Optionen und Barrieren in einer langfristigen, integrativen Sichtweise (Solargrids),“ TU Wien (EEG), Wien, 2014.
- [22 A. Wirths, „Zur Bewertung der Energieeffizienz von Fernwärmesystemen unter Berücksichtigung des Fernwärmemeterniveaus,“ Dissertation an der Fakultät Maschinenwesen TU Dresden, Dresden, 2014.
- [23 R. Knierim, „Rücklauf­temperatur: Ungehobener Schatz für Versorger und Kunden,“ *EuroHeat&Power 36. Jg (2007), Heft 3*, pp. 56-65, 2007.
- [24 O. Zaitschek, „Hydraulische Schaltungen für statische Heizflächen und RLT-Anlagen,“ in *AGFW Seminar "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauf­temperaturen"*, Essen, 04 November 2014.
- [25 R. Hochwarter und H. Seyfert, „Effiziente hydraulische Lösungen,“ in *Biowärme-Seminare 2008*, Wieselburg, 2008.
- [26 T. Kreisel, „Fehleranalyse - Woraus resultieren hohe Rücklauf­temperaturen?,“ in *AGFW Seminar "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauf­temperaturen"*, Essen, 04 November 2014.

- [27 A. Overhage, „Einflussmöglichkeiten von Nutzern und
] Energieversorgungsunternehmen,“ in *AGFW Seminar "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauftemperaturen"*, Essen, 04 November 2014.
- [28 QM Holzheizwerke, „www.qmholzheizwerke.at,“ [Online]. Available:
] http://www.qmholzheizwerke.de/fileadmin/sites/qm/files/06_FAQ/FAQ_Gesamtuebersicht.pdf. [Zugriff am 05 Januar 2017].
- [29 K. Zepf, S. Richter, R. Ziegler, M. Zieher und A. Floß, „Fernwärmemodellstadt Ulm -
] Exergetische Optimierung der Fernwärmeversorgung Ulm,“ Fernwärme Ulm GmbH, Ulm, 2012.
- [30 K. Jagnow und D. Wolff, „OPTIMUS - Umweltkommunikation in der mittelständischen
] Wirtschaft am Beispiel der OPTimierung von Heizungssystemen durch InforMation und Qualifikation zur nachhaltigen NutzUng von EnergieeinSparpotenzialen,“ Innung für Sanitär- und Heizungstechnik Wilhelmshaven, Wilhelmshaven, 2008.
- [31 Austrian Standard Institute, „ÖNORM EN 14336 - Heizungsanlagen in Gebäuden -
] Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen,“ Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2004.
- [32 myWarm gmbh, „myWarm Wärme + Hydraulik Management,“ [Online]. Available:
] <http://www.mywarm.at/hydraulischer-abgleich-planer>. [Zugriff am 22 Dezember 2016].
- [33 Danfoss GmbH, „Wärmeautomatik & Fernwärme,“ [Online]. Available:
] <http://heating.danfoss.de/tools/datenschieber/#/>. [Zugriff am 22 Dezember 2016].
- [34 vPRESS. GmbH, „energiesparen-im-haushalt.de,“ [Online]. Available:
] <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/modernisierung-haus/heizung-modernisieren/heizungscheck/hydraulischer-abgleich-heizung.html>. [Zugriff am 22 Dezember 2016].
- [35 ZVSHK, „Fachinformation: Hydraulischer Abgleich von Heizungs- und Kühlanlagen,“
] Zentralverband Sanitär Heizung Klima, St. Augustin, 2013.
- [36 C. Zürcher, C. Schmid, J. Nipkow und C. Vogt, „Heizung, Lüftung, Elektrizität -
] Energietechnik im Gebäude,“ vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich und B. G. Teubner Stuttgart , Zürich, 1999.
- [37 S. Bechtoldt, „Niedrige Rücklauftemperaturen - Grundlagen,“ in *AGFW Seminar
] "Maßnahmen zur Erreichung niedriger Rücklauftemperaturen"*, Essen, 04. November 2014.
- [38 S. Teubner, „Hydraulischer Abgleich,“ in *AGFW Seminar "Maßnahmen zur Erreichung
] niedriger Rücklauftemperaturen"*, Essen, 04 November 2014.

5 Anhang: Bewertungskatalog

Kategorie	Fehlerquelle ⁽¹⁾	Problembeschreibung / Auswirkung ⁽²⁾		Mögliche Maßnahme ⁽³⁾	Fehlerortung / -erkennung ⁽⁴⁾	Aufwand ⁽⁵⁾	Kosten der Maßnahme ⁽⁶⁾	Einsparungspotenzial (Temp., Energie, ...)			Erkennungsmerkmale am Lastprofil ⁽⁸⁾			Schwierigkeit ⁽⁹⁾	Priorität ⁽¹⁰⁾	Entdeckungswahrscheinlichkeit des Fehlers ⁽¹¹⁾	Austrittswahrscheinlichkeit des Fehlers ⁽¹²⁾	Bedeutung des resultierenden Schadens ⁽¹³⁾	Prioritätszahl (RPZ; ExAxB) ⁽¹⁴⁾	
		Temp., Energie, ...	Temp., Energie, ...					Temp., Energie, ...	Temp., Energie, ...	Temp., Energie, ...	Temp., Energie, ...	Temp., Energie, ...								
Hausanschlussstation	Wärmeübertrager	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	1) Mittel	der Größe unterschiedlich ca. 1...	70 - 80%	Übertragene Leist...	Undichtheiter	Hoch	3	2	8	36					
	Falscher Anschluss (Gleichstrom statt Gegenstrom)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	2) Mittel	der Größe unterschiedlich ca. 1...	70 - 80%	Übertragene Leist...	Undichtheiter	Hoch	6	4	7	156					
	Ablagerungen (Fouling-Widerstand)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	3) Mittel - Hoch	Sanierung	30%	hinterlegter Vergleich mit Simul...	Bauseitig	Mittel	3	1	5	15					
	Falsche Lage (horizontal statt senkrecht)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	1) Mittel	50 - 350 €	20 - 40%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	3	3	5	45				
	Undichte Kurzschlussleitungen zwischen Vor- und Rücklauf	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	1) Niedrig	300 €	20 - 40%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	2	7	10	93				
	Ventile	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	2) Mittel	keine	30%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	8	2	5	68				
	Regelung	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Mittel	ca. 300 €	30%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	8	5	8	281				
	Einsatz qualitativ schlechter Regelung	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Mittel	keine (bei möglicher Einstellung)	30%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	8	3	3	68				
	fehlende Regelgüte der eingebauten Regler (schwingende Temperatursensoren)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Niedrig	40 €	20%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	8	5	3	101				
	Falsche Sollwertvorgaben	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Niedrig	keine	30 - 40%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	9	5	4	134				
Fehleinstellungen von Regelmöglichkeiten der Anlage	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Niedrig	keine	30 - 40%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	8	5	4	150					
Änderung der Fahrkurve	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Niedrig	keine	30 - 40%	Temperaturvergleich	Geforderte Leistu...	Bauseitig	Mittel	9	5	4	191					
Hausanlage	Mangelhafter hydraulischer Abgleich und mangelhafte Regelung	Über- bzw. Unterversorgung vor...		Ungleiche Wärmeverteilungen in...	den einzelnen Räumen (zu warm bzw. zu kalt); störende Betrieb...	1) Niedrig	keine	70%	keine oder wenig Hohe Kosten	Hoch	Hoch	9	5	5	19					
	Keine bzw. unzureichende Rohrnetz- / Heizlastberechnung	fehlende Berechnungen zur Anl...		Aufklärungsmaßnahmen und Be...	1) Niedrig	je nach Größe ca. 1000 - 3000 €	70%	keine oder wenig Hohe Kosten	Hoch	Hoch	4	2	8	56						
	Hydraulischer Abgleich nicht durchgeführt	Obwohl der hydraulische Abglei...		Einstellen von vorhandenen Kor...	"Pfeifen" mancher Thermostatv...	Niedrig	keine	20%	mindere Heizleist...	Undichtheiter	Mittel	1	4	5	20					
	Fehlende (apparative) Einstellmöglichkeiten an der Anlage	essentielle Komponenten wie TI 1)		Einbau von voreinstellbaren T...	Aufklärungsmaßnahmen und Be...	1) Mittel	100 - 300 €	30%	Temp - RL; z.B. wi...	Undichtheiter	Mittel	6	3	4	66					
	Nutzerverhalten	falsches Lüften; verstellen der H...		Stoßlüften statt Fenster dauerh...	Aufklärungsmaßnahmen und Be...	Niedrig	200 - 400 €	40%	Temp - RL; z.B. wi...	Undichtheiter	Mittel	6	3	4	66					
	Falsche Anwendung der Regelung (z.B. Schalter auf „Manu“)	Provisorische Einstellungen vor...		Überprüfung der Schaltstellun...	Kontrolle der Schaltstellun...	Niedrig	keine	Überheizung verhindern	mehr Wärmevert...	Überforderun...	Mittel	5	4	6	99					
	Fehler in der Anlagenplanung bzw. Ausführung (Art der Hausanlage)	Allgemein: Ventile sollten gegen...		Fehlfunktionen, keine Fehlerbe...	möglich ohne Umbauarbeiten	7	3	2	8	56										
	ungeeignete hydraulische Schaltungen und Verwendung	3-Wege-Mischhähne sind oftma...		Generell: Beachten der gültigen...	Anlageninspektion; Expertenbe...	Hoch	je nach Größe ca. 1000 - 3000 €	70%	keine oder wenig Hohe Kosten	Hoch	Hoch	4	2	8	56					
	Luft in der Heizungsanlage	Reduzierte Heizleistung		Entlüften der Anlage / Heizkörp...	Glücksende, blubbernde und ra...	Niedrig	keine	20%	mindere Heizleist...	Undichtheiter	Mittel	1	4	5	20					
	Überflüssige / Fehlerhafte Bypässe und Überströmventile	VLT kann ohne Abkühlung in der...		Bypässe entfernen (bzw. Einbau...	Oftmals sind Geräusche (bedingt...	200 - 400 €	40%	Temp - RL; z.B. wi...	Undichtheiter	Mittel	6	3	4	66						
	Fehlzirkulation über abgeschaltete Regelgruppen	Vorlaufwasser strömt bei nicht I...		Sanierung: Ausbau von Zubringe...	Anlageninspektion, Temperatur...	Mittel	100 - 300 €	30%	Temp - RL	Undichtheiter	Mittel	6	4	5	110					
	"fehlerhafte" hydraulische Weichen	Ist der Volumenstrom auf der Pr...		umgehendes ersetzen, da für FV...	Anlageninspektion	Hoch	100 - 300 €	30%	Vergleiche Primär- mit Sekundär...	hoch	hoch	5	4	6	105					
	drucklose bzw. differenzdruckarme Verteiler	Kurzschlussleitung zwischen VL-		Drucklose Verteiler druckfest m...	Anlageninspektion	Hoch	Verteiler - Tausch	60%	Leistung nicht mög...	geringe	Mittel	6	2	6	66					
	defekte Rückflussverhinderer (sollen Fehlzirkulationen verhindern)	Rückflussverhinderer sind eines...		Kontrolle auf: funktionsrichtiger...	Beachten der Durchflussrichtun...	Mittel	80 - 150 €	40%	Leistung nicht mög...	geringe	Mittel	5	6	5	150					
	4-Wegeventile (stellen Wärmeübertrager dar)	4-Wege-Mischer erhöhen die RL...		Sollten prinzipiell vermieden bz...	Anlageninspektion	Hoch	je nach Größe	30%	Leistung nicht mög...	geringe	Mittel	3	2	8	45					
Doppelmantelspeicher (sind zu ersetzen)	kleine Wärmeübertragungsob...		Austausch gegen andere Speich...	Anlageninspektion	Hoch	keine	30%	Leistung nicht mög...	geringe	Mittel	8	3	7	168						
Einrohrheizungen /-ringe (nicht einreguliert)	Allgemein: Temperatur- und Hy...		Installation temperaturgesteu...	Anlageninspektion und vorliege...	Hoch	je nach Größe	40%	Abnahme	Ausbau	Hoch	7	3	5	98						
Schnellaufheizung im intermittierenden Betrieb	Kurzfristig hohe Leistungsspitze...		Regelung bzw. Verhalten anpas...	Beobachtung / Analyse des Auf...	Niedrig	keine	60%	Lastspitzen wenn kaum auffind...	Mittel	Mittel	7	5	5	163						
Lufterhitzer	Heizmittel fließt obwohl der Lüf...		Für FW ungeeignet; Bei allen He...	Testbetrieb / Anlageninspektio...	Mittel	120 - 450 €	60%	Lastspitzen wenn Einstellen verl...	Hoch	Hoch	3	4	8	90						
Trinkwassererwärmungsanlage	Trinkwassererwärmungsanlage (generell)	niedrige RLT nur möglich, wenn...		Zeitversetztes Zwangsladen der...																
	Durchflusssystem	Für FW ungeeignet aufgrund extre...		mer Lastspitzen;Allgemein: z...	weistufige / kaskadische Trink...															
	Geringe Wärmeübertragungsfläche	schlechte Auskühlung des Heizw...		bedarfsgerechte Leistungsausl...	Ist- / Soll-Vergleich der Fläche...	Hoch	400 - 1500 €	mehr Leistung	Extreme Lastspitzen wenn mehrere...	Verbrauch	Hoch	7	4	10	280					
	Falscher Anschluss der Wärmeübertrager (Gleichstrom statt Gegenstrom)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Mittel	100 - 200 €	60%	hinterlegter Vergleich mit Fehle...	mittel	Mittel	5	4	4	70					
	Speicher- und Speicherladesystem	Nur Boiler mit Heizregister, Staf...		Allgemein: RLT des Heizwassers...	ist von der Temperatur des TW...	im Speicher abhängig; RLT steigt...	mit steigender Speichertemperatur...	Aufheizleistung sinkt wodurch...	der Ladevorgang lange andauert...	→ daher e...		7	5	7	245					
	Geringe Wärmeübertragungsfläche	schlechte Auskühlung des Heizw...		bedarfsgerechte Leistungsausl...	Ist- / Soll-Vergleich der Fläche...	Hoch	600 - 2000 €	30%	schlechte Leistun...	Bauseitig / Pla...	Mittel	5	4	6	105					
	Falscher Anschluss der Wärmeübertrager (Gleichstrom statt Gegenstrom)	Schlechtere Auskühlung des Hei...		Richtiger Anschluss der Wärme...	Anlageninspektion / Überprüf...	Mittel	100 - 200 €	60%	hinterlegter Vergleich mit Fehle...	mittel	Mittel	8	3	7	156					
	Starke Vermischung im Speicher	Liegende statt stehende Boiler;		Beladung über externen Wärme...	übertrager (Frischwassermodul)	Hoch	je nach Größe	25%	Mehr Wärmebedarf	Mittel	Mittel	3	4	5	53					
	Einfaches Speichersystem	hohe RLT gegen Ende des Speic...		zweistufige (kaskadische) Trink...	wassererwärmung (zwei Speicher)	Hoch (Umbau der Anlage)	je nach Größe	10%	Mehr Wärmebedarf	Mittel	Mittel	1	1	1	1					
	Wärmeverluste an Speicheroberfläche und Anschlussleitungen	Gegenstromzirkulation führt zu...		Adaptierung der Regelung bzw. P...	ositionsänderung der Tempera...	Mittel	keine	20%	Mehr Wärmebedarf	Mittel	Mittel	2	5	5	45					
	Zirkulationssystem	Sinnhaftigkeit genau prüfen!		Allgemein: bei Nacherwärmung...	von Zirkulationswasser mit 55 °C...	werden keine niedrigen RLT erre...	icht; Einregulieren des Zirkulat...	ionsystems (hyd. Abgleich); F...	orderung Zirkulation			5	5	3	75					
	Unzureichende Wärmedämmung der Rohrleitungen	Unzureichende Wärmedämmun...		Reduzierung unnötiger Wärme...	Aufheiz- und Auskühlungsverha...	Mittel	unter 2 €/l/m	30%	Mehr Wärmebed...	Bauseitig	Hoch	1	6	7	42					
Einbindung	Falsche Einbindung gibt der Reg...		Einbindung der Zirkulationsleit...	Überprüfen der Einbindung (Anl...	inspektion / Schemata)	Umbau je nachdem	20%	Mehr Wärmebedarf	Mittel	Mittel	3	4	5	50						
reines Durchflusssystem	Für FW ungeeignet da extreme I...		stufenweise / kaskadische TW-E...	Anlageninspektion / Überprüf...	Hoch	je nach Größe	80 - 90 %	Mehr Wärmebedarf	Hoch	Hoch	4	3	10	120						

- (1) Wo/Wodurch tritt der Fehler auf?
- (2) Wie wirkt sich der Fehler aus?
- (3) Welche Maßnahmen zur Fehlerbehebung können getätigt werden?
- (4) Wie kann der Fehler entdeckt / identifiziert werden?
- (5) "Qualitative" Bewertung des Aufwandes zur Behebung / Beseitigung des Fehlers (Beschreibung siehe Kommentar)
- (6) Abschätzung der Kosten zur Behebung der Fehlerquelle (Anhand von Erfahrungen; z.B. Pumpentausch kostet XY €)
- (7) Welches Potenzial hat die Maßnahme (Reduzierung der RLT, Energie, ...)?
- (8) Gibt es typische Merkmale wie sich der Fehler auf das Lastprofil auswirkt?
- (9) Welche Schwierigkeiten können bei der Behebung des Fehlers auftreten (z.B. Wechselwirkungen, etc.)?
- (10) Wie wird die Priorität des Fehlers und dessen Behebung eingeschätzt (Niedrig, Mittel, Hoch)?
- (11) Wahrscheinlichkeit des Entdeckens der Ursache oder des Fehlers (gering = „10“ bis hoch = „1“)
- (12) Auftretenswahrscheinlichkeit der Ursache (gering = „1“ bis hoch = „10“)
- (13) Bedeutung oder Schweregrad bei Eintreten des Fehlers (gering = „1“ bis hoch = „10“)
- (14) Die Risikoprioritätszahl RPZ wird aus den vorigen drei Indikatoren berechnet und kann Werte zwischen 0 und 1000 annehmen.

Kontakt

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Österreich

www.ait.ac.at
Fax +43 50550- 6679

Ing. Roman Geyer, MSc.
Research Engineer
Center for Energy
Sustainable Thermal Energy Systems
+43 50550-6350
roman.geyer@ait.ac.at