

WÄRME | KÄLTE | KWK



DIGIHEAT

Digitalisiertes Wärmekraftwerk
für eine effizientere urbane Fernwärmeversorgung

AP3 Praktische Umsetzung und Monitoring
Steckbriefe für Anwendungsfälle der SW Gießen



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1	DigiHeat.....	3
1.1	Das Forschungsvorhaben DigiHeat.....	3
1.2	Das „Digitalisierte Wärmekraftwerk“ (DWK).....	3
1.3	Die Anwendungsfälle.....	5
2	Anwendungsfall „Steuerung der VL-Temperatur über LeanHeat“	7
2.1	Problemstellung	7
2.2	Lösungsansatz	8
2.3	Erwarteter Nutzen	9
2.4	Umsetzung	9
2.5	Nachweislicher Nutzen	9
2.6	Lessons Learned.....	11
2.7	Ausblick.....	11

1 DigiHeat

1.1 Das Forschungsvorhaben DigiHeat

Das Vorhaben „N5GEH-DigiHeat - Digitalisiertes Wärmekraftwerk für eine effizientere urbane Fernwärmeversorgung“ fokussiert auf Ansätze zum zielgerichteten und effizienzsteigernden Einsatz von Technologien zur Datenübertragung und -verarbeitung im Fernwärmesektor. Es kombiniert hierbei konkrete Digitalisierungsmaßnahmen der drei beteiligten Stadtwerke Gießen, Marburg und Hanau mit der Entwicklung und Praxiserprobung des innovativen Konzepts eines 'Digitalisierten Wärmekraftwerks'. Bei diesem wird die IKT-Systemarchitektur des virtuellen Kraftwerks, wie sie im Stromsektor bereits vielfach Anwendung findet, auf den Anwendungsfall Fernwärme vorgenommen.

1.2 Das „Digitalisierte Wärmekraftwerk“ (DWK)

Das **Digitalisierte Wärmekraftwerk** (DWK) beschreibt die datengetriebene und softwaregestützte Vernetzung von Wärmeerzeugung, -verteilung und -verbrauch innerhalb eines Fernwärmesystems mit dem Fokus auf eine betriebliche Optimierung dezentraler und verteilter Erzeuger als übergeordnete Zielstellung.

Der Umstieg auf erneuerbare Energien bei der Wärmebereitstellung erfordert die digitale Vernetzung aller Erzeugungs-, Verteil- und Verbrauchseinheiten, um das volle Flexibilitäts- und Effizienzpotenzial erneuerbarer Wärmequellen zu erschließen. So kann eine optimale Nutzung der Energie, die Steigerung der Betriebseffizienz sowie die Reduktion von CO₂-Emissionen erreicht werden. Durch die umfassende Digitalisierung und Integration aller Systemkomponenten entlang der Wärmelieferkette kann nicht nur an einzelnen Punkten eine Optimierung stattfinden, sondern das Wärmeversorgungssystem ganzheitlich optimiert werden.

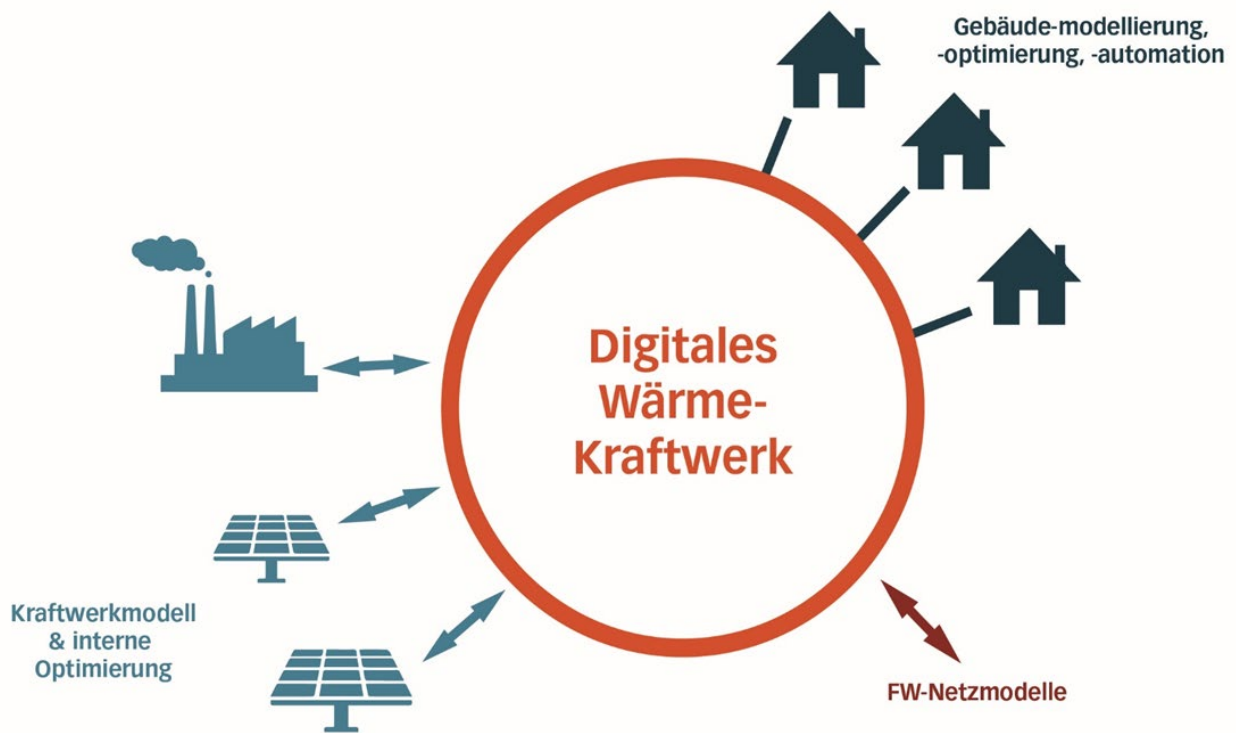


Abbildung 1: Digitales Wärmekraftwerk mit vernetzten Erzeugungs-, Netz- und Gebäudemodellen

Die Basis des DWK bildet die Erhebung und Verarbeitung der relevanten Betriebsdaten der eingebundenen dezentralen Wärmeerzeuger und Verbraucher, die kontinuierlich, im für eine Optimierung notwendigen Rahmen erfolgen muss. Hier gilt es zunächst die relevanten Betriebsdaten wie Temperatur- und Druckverläufe, Volumenströme für einen optimalen, kosteneffiziente Datenerhebung zu ermitteln. Die interne Optimierung von Erzeugereinheiten/Kraftwerken oder auch von den Verbrauchern, z.B. im Rahmen der Gebäudeautomation, werden vom DWK nicht berührt (siehe Abbildung 1).

Durch die Analyse des aktuellen Betriebszustands und historischer Daten lassen sich mit dem Digitalen Wärmekraftwerk (DWK) präzise Vorhersagen über den künftigen Energiebedarf erstellen (Lastprognosen) und alternative Betriebsstrategien simulieren. Im konservativsten Ansatz bildet eine regelbasierte Steuerung die Grundlage der Systemführung.

Das DWK ermöglicht darüber hinaus eine dynamische Anpassung auf Basis aktueller Messwerte, prognostizierter Lastverläufe sowie definierter Zielparameter – beispielsweise zur Optimierung der Rücklauftemperatur oder zur Verschiebung von Lastspitzen.

Mithilfe künstlicher Intelligenz lassen sich diese Regelungen weiter verfeinern: Lernende Algorithmen erkennen Muster im Nutzerverhalten, reagieren auf externe Einflussfaktoren wie

Wetter- oder Preisdaten und optimieren die Steuerung kontinuierlich im laufenden Betrieb. So wird eine adaptive, selbstoptimierende Betriebsweise möglich.

Diese adaptive Betriebsweise des DWK eröffnet eine Reihe zentraler Funktionalitäten entlang der gesamten Wärmeversorgungskette. Dazu zählt insbesondere die Optimierung des Wärmenetzbetriebes und des Betriebs der Netzpumpen bei Einbeziehung von Schlechtpunktmessungen. Gleichzeitig ermöglicht das DWK durch die Steuerung der Vorlauftemperaturen einen angepassten Niedertemperaturbetrieb für eine höhere Netz- und Erzeugungseffizienz bei gleichbleibender Versorgungssicherheit. Die kontinuierliche Optimierung der Rücklauftemperaturen verringert Netzverluste und erhöht den Wirkungsgrad des Gesamtsystems. Diese Funktionalitäten lassen sich sowohl in der Optimierung der Betriebsführung als auch für eine datenunterstützte Ausbauplanung einsetzen.

Durch die Einbindung dezentraler Wärmeerzeuger und ggf. auch Speichersysteme sowie die Fähigkeit, flexibel auf volatile Einspeisungen aus erneuerbaren Energien zu reagieren, entwickelt sich das Fernwärmenetz durch das DWK zu einem aktiven, steuerbaren Element der Energiewende.

Diese technische und systemische Flexibilität ermöglicht perspektivisch die erfolgreiche Integration von Solarthermie, Wärmepumpen oder industrieller Abwärme in bestehende Versorgungsinfrastrukturen.

Voraussetzung für den Aufbau und der Verzahnung dieser Funktionen hin zu einem DWK ist jedoch eine standardisierte, sichere und verlustfreie Datenkommunikation zwischen den beteiligten Systemkomponenten – von der Erzeugung bis hin zur Gebäudeautomation. Im Projekt *DigiHeat* werden hierzu gezielt Ansätze für den effizienten Einsatz von Technologien zur Datenübertragung und -verarbeitung im Fernwärmesektor untersucht. Zunächst werden im Rahmen einzelner Modell- und Pilotvorhaben konkrete Digitalisierungsmaßnahmen und die Umsetzung von Einzelmaßnahmen bei den drei beteiligten Stadtwerken Gießen, Marburg und Hanau in unterschiedlichen Anwendungsfällen umgesetzt. Diese dienen als Grundlage für die Entwicklung und praxisnahe Erprobung eines innovativen, übertragbaren Gesamtkonzepts.

1.3 Die Anwendungsfälle

Aus dem Forschungsvorhabens DigiHeat heraus werden Steckbriefe zu Anwendungsfällen veröffentlicht, die konkrete Digitalisierungsmaßnahmen der drei beteiligten Stadtwerke Gießen, Marburg und Hanau beschreiben und dabei Teilschritte auf dem Weg zu einem perspektivischen DWK darstellen. Die Stadtwerke und Projektpartner haben die Maßnahmen im Vorhaben weiterentwickelt und praktisch erprobt. Das Wissen um einen möglichen Zielzustand ist bereits bei der detaillierten Ausgestaltung der einzelnen Anwendungsfälle

notwendig, da beispielsweise schon die ausgewählte Kommunikationstechnologie beeinflusst, welche Einsatzmöglichkeiten aktuell, aber auch perspektivische möglich sind und welche nicht. Detaillierte Informationen zu Kommunikationstechnologien in der Fernwärme sind in der [„Entscheidungshilfe für die anwendungsfallspezifische Auswahl geeigneter Kommunikationstechnologien im Fernwärmekontext“](#) zu finden.

Nachfolgend sind ausgewählte Umsetzungsbeispiele von Teilschritten zum DWK aufgeführt, inklusive der individuellen Motivation, Herausforderungen, Details zur Umsetzung und dem erreichten Nutzen sowie dem weiteren Ausblick.

2 Anwendungsfall „Steuerung der VL-Temperatur über LeanHeat“

2.1 Problemstellung

Die Stadtwerke Gießen haben sich zum Ziel gesetzt, das von Ihnen betriebene Fernwärmesystem in Lollar weiter zu optimieren. Während des laufenden Betriebs wurden immer wieder Situationen identifiziert, in denen die eingespeiste Wärmemenge den Bedarf übersteigt, was man zukünftig vermeiden möchte. Eine Reduzierung der Wärmeeinspeisung lässt sich erreichen, indem man die Temperatur des Vorlaufs oder den Volumenstrom reduziert.

Die verfügbaren Erzeugungsanlage (zwei Gasbetriebenen Kessel mit jeweils 800 kW_{th} und zwei BHKW mit 70 kW_{el}) können nur innerhalb bestimmter Temperaturbereiche effizient betrieben werden, was die Reduzierung der Vorlauftemperatur limitiert und bereits im Betrieb berücksichtigt wird. Die Reduzierung des ins Netz eingespeisten Volumenstroms ist ebenfalls schon bis zum Minimum ausgereizt und kann zur Beibehaltung der Versorgungssicherheit, während der betroffenen Betriebszeiten, nicht weiter reduziert werden. In der aktuellen Anlagenkonfiguration sind die Optimierungsoptionen deshalb ausgeschöpft und dennoch möchten die SWG weiteres Optimierungspotenzial heben, um die hohen Vorlauftemperaturen, die daraus resultierenden Rücklauftemperaturen und die damit einhergehenden Wärmeverluste im Netz zu reduzieren.

2.2 Lösungsansatz

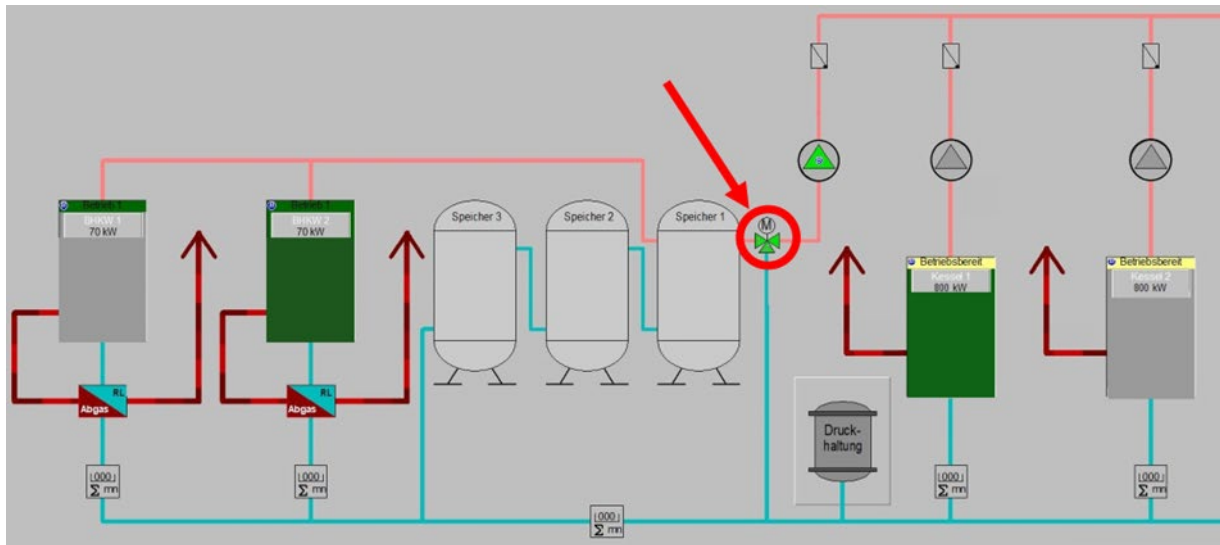


Abbildung 2: Schema der Anlagenkonfiguration mit neuem Mischer (in Rot eingekreist)

Als Lösung ist geplant, die bereits vorhandenen Pufferspeicher so einzubinden, dass diese es ermöglichen die optimierten Betriebspunkte der BHKW von den Betriebsparametern des Fernwärmenetzes zu entkoppeln. Ein zusätzliches Mischventil nach den Pufferspeichern kann anschließend aus den Pufferspeichern, den direkt aussteuerbaren Kesseln und dem Netzzrücklauf einen gemischten Vorlauf mit reduzierter Vorlauftemperatur bereitstellen (siehe Abbildung 2). Für den optimalen Betriebspunkt des Fernwärmenetzes ist zur Deckung des Wärmebedarfs anschließend der optimale Kompromiss aus geringen Wärmeverlusten (durch niedrige Vorlauftemperaturen) und benötigtem Pumpstrombedarf (möglichst geringer Volumenstrom) zu identifizieren. Dabei müssen technische und wirtschaftliche Randbedingungen berücksichtigt und eine passende Steuerung der Anlagen und des Mischventils umgesetzt werden.

Der steigenden Komplexität durch diesen neuen Freiheitsgrad im Fernwärmesystem Lollar soll mit dem Einsatz der Software „LeanHeat“ begegnet werden. Diese soll nicht nur kontinuierlich der optimale Betriebspunkt im Zusammenspiel von Erzeugungsanlagen, Mischventil, Netzpumpen und aktuellem Wärmebedarf ermitteln, sondern diesen auch mit einem hohen Automatisierungsgrad ansteuern.

Für das Zielbild des DWK ist diese Ergänzung ein entscheidender Schritt, um Informationen aus dem Wärmebedarf und dem aktuellen Netzbetriebszustand, für eine weitere Optimierung der Erzeugung nutzbar zu machen. Dabei steht nicht die Optimierung der einzelnen Erzeugungsanlage im Vordergrund, sondern deren Einsatz, über die individuellen Anlagengrenzen hinaus, zur Optimierung des Gesamtsystems.

2.3 Erwarteter Nutzen

Durch die Optimierungsmaßnahme wird erwartet, dass sich die Transportverluste im Wärmenetz deutlich reduzieren und gleichzeitig keine signifikante Zunahme der erforderlichen Pumpenergie eintritt. Insgesamt soll die Optimierungsmaßnahmen eine Reduzierung des Primärenergieeinsatzes erreichen, was zur Kostenreduktion und entsprechenden CO₂-Einsparungen führt.

2.4 Umsetzung



Abbildung 3: Umsetzungsprozess „Einbau und Inbetriebnahme Mischventil Lollar“

Bis September 2023 wurde in Lollar das Mischventil „Danfoss VL3 50/40 3-Wege-Ventil GG25“ mit dem Stellantrieb „Danfoss AME425“ von der ausführenden Firma, nach den Vorgaben der SWG, beschafft und eingebaut. Für eine passende Regelung des Mischventils ist es erforderlich die Temperatur nach dem Mischventil zu kennen, weshalb ein Temperatursensor (PT100) nach dem Mischventil installiert wurde. Im Oktober 2023 musste für den Anschluss des Regelventils eine neue Verbindungsleitung, zwischen der Vorlauf- und der Rücklaufleitung, ergänzt werden. Die anschließende Softwareintegration startete im November 2023, nachdem die kabelgebundene Kommunikationsverbindung zwischen Mischventil und Leitsystem der SWG hergestellt werden konnte.

Ein erster Funktionstest, mit Inbetriebnahme der Steuerung von Danfoss, erfolgte zum Jahreswechsel 2023/2024. Seit Januar 2024 optimiert und steuert LeanHeat die Vorlauftemperatur und den Differenzdruck im Fernwärmesystem Lollar.

2.5 Nachweislicher Nutzen

Erste Betriebserfahrungen zeigen, dass die Vorlauftemperatur von vorher 84°C auf aktuell 77°C herabgesetzt werden konnte (siehe Abbildung 4). In Abbildung 5 ist zu sehen, wie sich die Sollwertvorgabe und der tatsächlicher Differenzdruck verhalten. Wenngleich hier leichte Abweichungen auftreten, ließ sich der durchschnittliche Differenzdruck bereits um rund 0,3 bar absenken. Die bereits sehr positiven Ergebnisse spornten das Team der SWG an, gemeinsam mit Danfoss, nach weiteren Optimierungspotentialen zu suchen und diese umzusetzen.

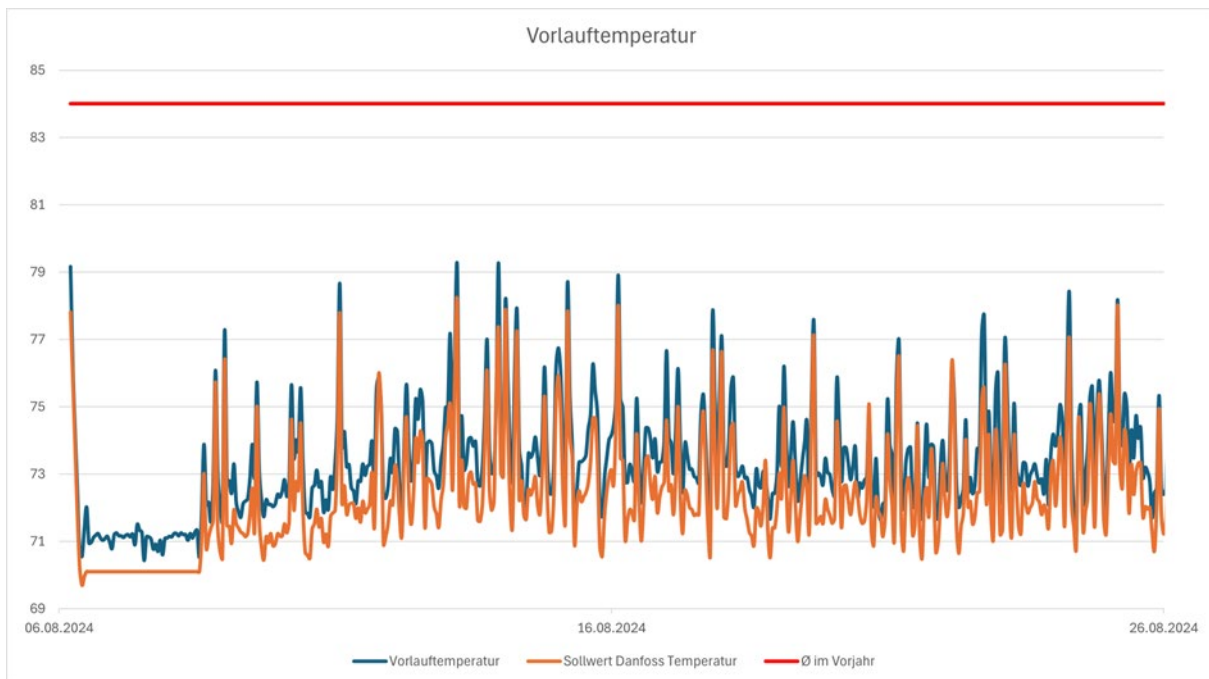


Abbildung 4: Beispielhafter Temperaturverlauf im Sommerbetrieb

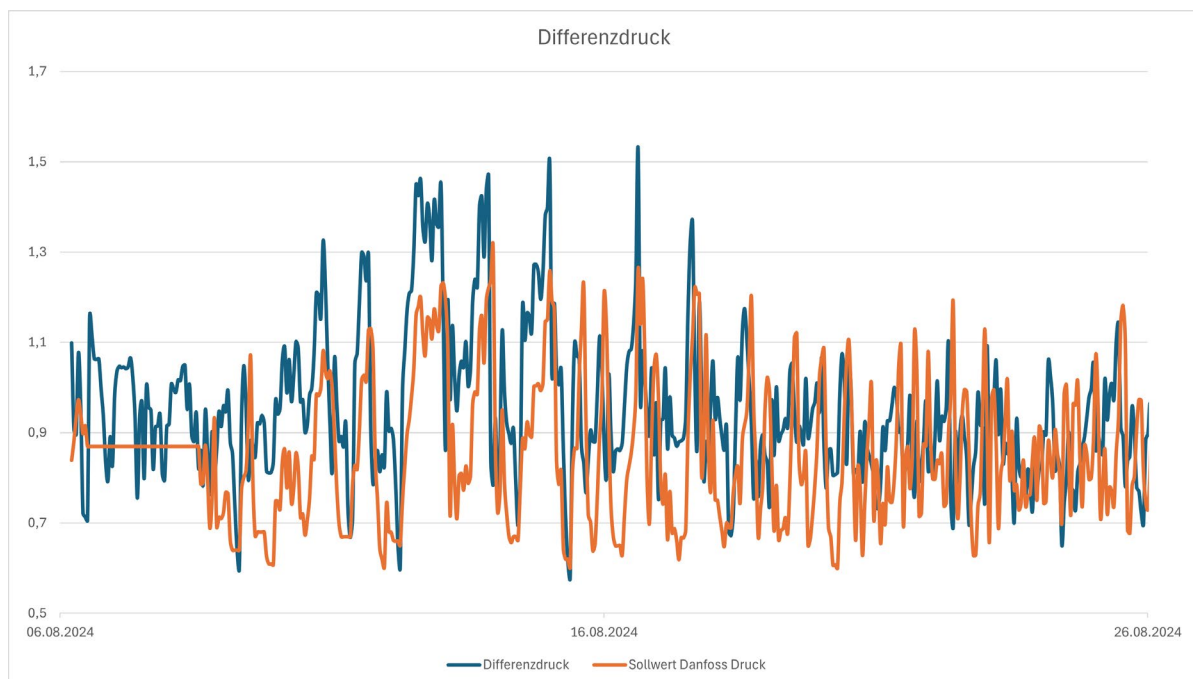


Abbildung 5: Beispielhafter Differenzdruck am Netzschlechtputz im Sommerbetrieb

2.6 Lessons Learned

Für einen optimalen Betrieb des Fernwärmesystems Lollar wird stündlich das Simulationsmodell durch reale Messdaten validiert. Dabei ist es wichtig Messwerte herauszufiltern die, beispielsweise aufgrund von Trägheit oder Anfahrvorgängen, kurzzeitige Abweichungen von Soll- und Ist-Werten erzeugen. Werden diese Momentanwerte ungefiltert als Initialwerte für die anschließende Iterationsschleife zur Berechnung des Betriebsoptimums herangezogen, wirkt sich dies negativ auf die Performance aus.

Die erwarteten Veränderungen durch die Umsetzung der Maßnahme sind bislang so eingetreten, wie man es geplant hatte. Gerade bei Anwendungen, die einen hohen Digitalisierungsgrad erfordern, stellt sich der Aufwand oder der Nutzen in der Praxis oft anders dar als vorab in der Theorie angenommen.

Durch die Einbindung des Anwendungsfalls in das Forschungsvorhaben DigiHeat konnte diese, auf dem Papier sinnvolle Maßnahme, auch durch die Begleitung des Projektkonsortiums schneller praktisch umgesetzt und begleitet werden.

2.7 Ausblick

Nach der erfolgreichen Umsetzung und den bisher positiven Erfahrungen soll der Anwendungsfall weiter begleitet und optimiert werden, sodass daraus bei den SWG eine Referenz für künftige vergleichbare Projekte entsteht. Außerdem sind mögliche aufbauende Schritte auf dem Weg zum DWK der SWG angestoßen.

Durch das Vorhaben DigiHeat erfolgt darüber hinaus eine verallgemeinerte Betrachtung und Analyse der Anwendungsfälle, um deren Übertragbarkeit und Umsetzung durch weitere Branchenunternehmen zu fördern.